



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Erzurum istasyonunun standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi ve bütünleşik kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık analizi

Drought analysis Of Erzurum station by using standardized precipitation evapotranspiration index and aggregated drought index

Yazar(lar) (Author(s)): Emre TOPÇU¹, Fatih KARAÇOR²

ORCID¹: 0000-0003-0728-7035

ORCID²: 0000-0003-1201-7857

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Topçu E., Karaçor F., “Erzurum istasyonunun standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi ve bütünleşik kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık analizi”, *Politeknik Dergisi*, 24(2): 565-574, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.682168

Erzurum İstasyonunun Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi Ve Bütünleşik Kuraklık İndeksi Kullanılarak Kuraklık Analizi

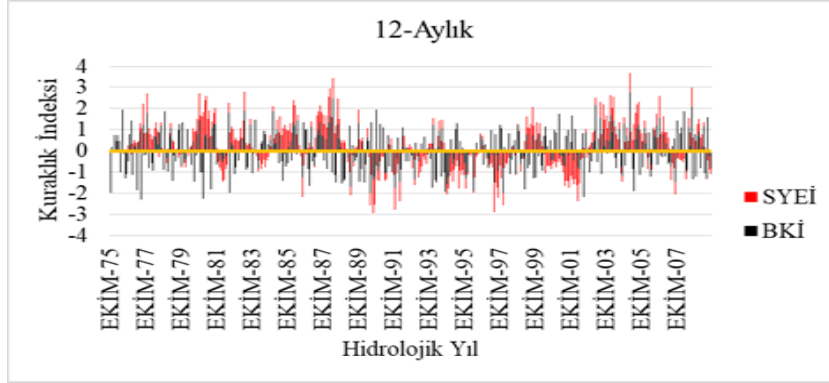
Drought Analysis Of Erzurum Station By Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index And Aggregated Drought Index

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kuraklık/Drought
- ❖ Erzurum
- ❖ Yağış/Precipitation
- ❖ Evapotranspirasyon/Evapotranspiration
- ❖ Hidroloji/Hydrology

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada Erzurum istasyonunda Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi ve Bütünleşik Kuraklık indeksi yardımıyla kuraklık analizi yapılmıştır./ In this study, drought analysis conducted by using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Aggregated Drought Index at Erzurum station.



Şekil. Kuraklık indekslerinin karşılaştırılması /Figure. Comparison of drought indexes

Amaç (Aim)

Geçmişteki kurak periyotları belirlemek./To determine the past drought periods.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi ve Bütünleşik Kuraklık İndeksi./ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Aggregated Drought.

Özgünlük (Originality)

Erzurum istasyonunda daha önce bu yöntemlerle kuraklık analizi yapılmamıştır./The drought analysis has never been conducted before by using these methods in Erzurum station.

Bulgular (Findings)

Bazı dönemlerde kuraklık tespit edilmiştir./Drought has been detected in some periods.

Sonuç (Conclusion)

Kurak dönemleri sulak dönemler takip etmektedir./Wet periods follow drought periods.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Erzurum İstasyonunun Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi ve Bütünleşik Kuraklık İndeksi Kullanılarak Kuraklık Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Emre TOPÇU^{1*}, Fatih KARAÇOR²

¹Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Kafkas Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 30.01.2020 ; Kabul/Accepted : 04.05.2020)

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye'nin Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzurum istasyonunda kuraklık analizi yapılması amaçlanmıştır. Kuraklık analizi yöntemi olarak Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEİ) ve Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) kullanılmıştır. 1975-2008 hidrolojik yılları arasında analiz gerçekleştirilmiştir. Veri olarak aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama nispi nem, aylık toplam buharlaşma ve aylık toplam güneşlenme süresi kullanılmıştır. Analizler neticesinde istasyon ve çevresinde hem sulaklığın hem de kuraklığın görüldüğü ortaya çıkmıştır. 1, 3, 6, 12 ve 24-Aylık periyotlarda kuraklık incelenmiştir. Her periyot için kuraklık frekansı değerleri bulunmuştur. SYEİ ve BKİ değerleri grafik haline getirilmiştir. Mann-Kendall ve Sen'in eğim metodu, trend analizi yöntemleri olarak tercih edilmiştir. SYEİ değerlerinde istatistiksel anlamda kuraklığın arttığına dair kanıt bulunamazken, BKİ değerlerinde %99 önemlilik seviyesinde kuraklıkta artış tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, hidroloji, Erzurum, yağış, evapotranspirasyon.

Drought Analysis Of Erzurum Station By Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index And Aggregated Drought Index

ABSTRACT

In this study, it is aimed to conduct the drought analysis at Erzurum station located in the Northeastern Anatolia Region of Turkey. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Aggregated Drought Index (ADI) were used as drought analysis methods. Analysis was carried out between 1975-2008 hydrological years. As a data, monthly total precipitation, monthly average temperature, monthly average relative humidity, monthly total evaporation and monthly total sunshine duration were used. As a result of the analysis, it was revealed that both wetness and drought were observed in the station and its surroundings. Drought was examined in 1, 3, 6, 12 and 24-month periods. Drought frequency values were found for each period. SPEI and ADI values were plotted. The Mann-Kendall and Sen's slope method are preferred as trend analysis methods. While there is no evidence of statistically increased drought in SPEI values, an increase of 99% significance in drought was determined in ADI values.

Keywords: Drought, hydrology, Erzurum, precipitation, evapotranspiration.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kuraklık insanların ve canlıların yaşama özgürlüklerini kısıtlayan, ekonomi, tarım, su kaynakları, turizm ve ekosistem gibi çeşitli hayati faktörler üzerinde olumsuz etkiler yapan doğal bir afet ve ekstrem bir iklim olayıdır. Kuraklık konusu çevre bilimciler, hidrolojistler, meteorolojistler, jeolojiciler ve tarımla ilgilenen bilim adamları tarafından dikkatle incelenmektedir [1].

Kuraklığın takibi ve tahmini, yağışın oluşum modelinin karmaşık olması sebebiyle oldukça komplekstir. Bir bölgeye yağışın, uzun dönem ortalamasına göre az düşmesi ya da hiç meydana gelmemesi kuraklığın temel işaretlerindedir. Kuraklığın başlangıcı basitçe

tanımlanabilirken süresi, şiddeti ve bitiş zamanını belirleyebilmek kolay bir işlem değildir. Kuraklık genel olarak 4 kısımda incelenmektedir. Bunlar, meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve ilk üçünün toplumun bütün kesimlerine etkisini hissettiren sosyoekonomik kuraklıktır [2-3]. Meteorolojik kuraklık yağışın oluşmadığı ya da uzun dönem ortalamasına göre az olduğu durumda bahsedilebilir. Hemen ardından oluşan tarımsal kuraklık bitkilerin özellikle köklerinin gelişmesini olumsuz yönde etkileyen toprak neminin azlığı ile etkisini gösterir. Tarımsal ihtiyaçtan dolayı su rezervuarlarından talep edilen suyun artması ve devam eden kuraklık yüzünden su kaynaklarının tazelenebilmesi nedeniyle hidrolojik kuraklık meydana geliyor denilebilir. Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık yeteri kadar yağış birikimi olması durumunda

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : emretopcu01@gmail.com

kısa ya da uzun vadede etkisini kaybedebilir. Ancak kuraklığın gerçek bir felaket olduğunu gösteren sosyoekonomik kuraklığın oluşması coğrafi bir bölgede geri dönülemez zararlara yol açar.

Hükümetler arası İklim Değişimi 5. Panelinde (IPCC), 1880 yılından bu yana küresel sıcaklığın 0.85 derece arttığı ve 1983-2012 yılları arasındaki periyodun Kuzey Yarımkürede geçmiş 1400 yıla göre en sıcak 30 yıl olduğundan bahsedilmiştir [4]. Kuraklığın tarımsal üretimi ve sosyoekonomik kalkınmayı kısaca bir ülkenin var oluşunu geriletmesi sebebiyle bilim adamları tarafından kuraklığı tespit edebilmek için çok çeşitli kuraklık indeksleri geliştirilmiştir. Bütün yöntemlerin ortak amacı bir bölgedeki kuraklığı tam olarak belirleyebilmek ve nerede ne zaman oluşacağı belli olmayan kuraklığı tahmin edebilmektir. Günümüzde en çok kullanılan kuraklık indeksi sadece yağış parametresine dayanan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi'dir (SYİ) [5]. Bu yöntemin dışında Keşif Kuraklık İndeksi [6], Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) [7], Ondalık Kuraklık İndeksi [8], Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi [9] gibi yöntemler oldukça sık olarak literatürde rastlanmaktadır. Ancak her yöntemin kendine göre güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Kuraklık genelde 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık periyotlarda incelenmektedir. Bunun sebebi kısa dönemde (1, 3, 6 aylık periyot) meteorolojik kuraklıklar, uzun dönemde (12, 24, ... aylık periyot) ise hidrolojik kuraklıklar tespit edilebilmektedir.

Hidrolojik çevrimin parametrelerini optimum düzeyde içeren, kuraklığı kesin olarak tanımlayabilen bir yöntem henüz bulunmasa da, bazı iklimsel parametreler ve kullanılan matematiksel yöntemlerle mümkün mertebe kuraklık kanaatine varılabilmektedir. Son yıllarda SYİ'nin yanında evapotranspirasyonu da kuraklığı etkileyen bir parametre olarak işleme katan Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi'nin (SYEİ) [10] kullanımı yaygınlaşmaktadır. Çünkü yağış ve sıcaklık hidrolojik çevrimin parametrelerini etkileyen en önemli iki faktördür. SYEİ yöntemi bitki evapotranspirasyonu ve meteorolojik kuraklığı göz önünde bulundurarak tarımsal kuraklığın şiddetini değerlendirir [11]. Evapotranspirasyon farklı yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Bunlar literatürde sık karşılaşılan Hargreaves [12], Blaney-Cridle [13], FAO Penman-Monteith [14] ve Thornthwaite [15] yöntemleridir.

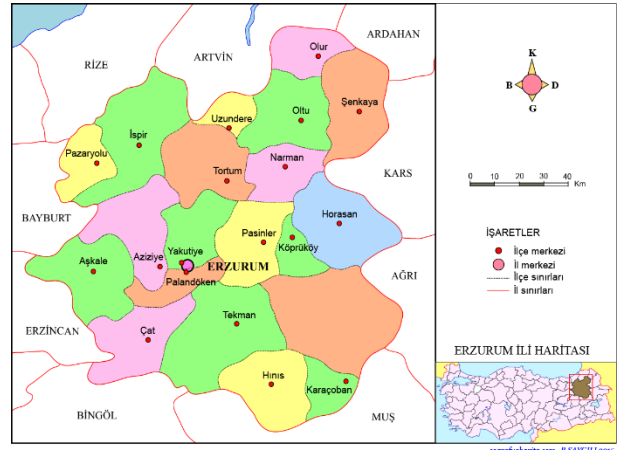
Bu çalışmada 17096 nolu Erzurum istasyonunda daha önce bu istasyonda kullanılmayan SYEİ ve BKİ ile kuraklık analizi yapılması amaçlanmıştır. Bir kuraklık analizinde önemli olan eksiksiz iklimsel parametre ve seri uzunluğudur. Bu nedenle yağış ve sıcaklık yanında evapotranspirasyonu hesaplamaya yarayan güneşlenme saati parametresi de kullanılmıştır. Bütünleşik kuraklık indeksinde ise bu parametrelere buharlaşma verisi ve nispi nem verileri de eklenmiştir. Tüm parametrelerin eksiksiz olduğu 1975-2008 yılları arasında kuraklık analizi yapılmıştır. Çalışmanın hidrolojik yıl anlamında ifade edilebilmesi için bütün iklimsel parametre serileri

hidrolojik yıl şeklinde yani 1 Ekim 30 Eylül arasında düzenlenip analiz edilmiştir. 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık periyotlarda kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Evapotranspirasyon Thornthwaite [15] yöntemi ile hesap edilmiştir. SYEİ ve BKİ değerleri karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan 1758 m rakımına sahip, 39.9529 Kuzey enlemi ve 41.1897 Doğu boylamı koordinatlarında bulunan 17096 nolu Erzurum havalimanı istasyonunda 1975-2008 hidrolojik yılları arasında bulunan yağış, sıcaklık, buharlaşma, nispi nem ve güneşlenme süresi kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır. Veriler meteoroloji genel müdürlüğü MEVBİS [16] sistemi üzerinden elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında Erzurum istasyonu için elde edilen meteorolojik parametreler 2008 hidrolojik yılına kadar eksiksizdir. Ancak 2008 yılından sonra çok sayıda eksik veri bulunduğu için 2008 hidrolojik yılına kadar analiz yapılabilmektedir. Erzurum ili ve konumu haritası Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Erzurum ili haritası (Map of Erzurum province) [17]

2.2. Metot (Method)

2.2.1. Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SYEİ) (standardized precipitation evapotranspiration index) (SPEI)

Vicente-Serrano ve arkadaşları [10], tarafından elde edilen SYEİ yöntemi, yaygın olarak kullanılan SYİ [5] yöntemine nazaran daha kapsamlı bir kuraklık analizi yöntemidir. Çünkü SYİ sadece yağış parametresini göz önünde bulundururken, SYEİ yağış parametresine ek olarak sıcaklık parametresini de hesaba katmaktadır. SYEİ'nin hesaplaması oldukça kolay olmakla beraber SYİ hesap prosedürlerine dayanmaktadır. SYEİ aylık yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki farkı kullanmaktadır. Bu da basit iklimsel su bütçesini temsil etmektedir. SYEİ'deki ilk hesap PET'in hesaplanmasıdır. PET'i hesaplamak kolay değildir. Çünkü veri olmadığı zaman bazı kabuller yapılmakta ve çok sayıda parametre kullanılmaktadır. Bu

parametrelerden bazıları yüzey sıcaklığı, hava nemi, su buhar basıncı, güneş radyasyonu gibi parametreleri gerektirmektedir [18]. [19], çalışmada herhangi bir kuraklık indeksi hesap edilirken, basit ya da kompleks bir PET yönteminin benzer sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu çalışmada kolay PET hesaplama yöntemi olan Thornthwaite [15] yöntemi tercih edilmiştir.

Thornthwaite tarafından önerilen Thornthwaite metodu yaygın olarak kullanılmaktadır [15]. Evapotranspirasyonun sıcaklığın 0 °C ve altında oluşmadığını kabul eder. Çalışma istasyonu da kış aylarında 0 °C ve altında sıcaklığa sahip olduğundan dolayı bu aylardaki PET değerleri 0 olarak kabul edilmiştir. Bu metot potansiyel evapotranspirasyonu Denklem 1'deki gibi tahmin eder.

$$PET = 16. \left(\frac{N}{12}\right) \cdot \left(\frac{m}{30}\right) \cdot \left(10. \frac{T_{\text{mean}}}{1}\right)^a \quad (1)$$

T_{mean} aylık ortalama sıcaklığı (°C), N aylık ortalama günışığı saati (saat/gün), m her bir aydaki gün sayısı, I ısı indeksi, a katsayısı ise aşağıdaki Denklem 2 yardımı ile bulunur.

$$a = 6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \times I + .049 \quad (2)$$

Son olarak I ısı indeksi 12 aylık değerlerin toplamı olarak Denklem 3'teki gibi bulunur.

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{\text{mean}}}{5}\right)^{1.514} \quad (3)$$

Kümülatif aylık yağış (P) ve aylık evapotranspirasyon (PET) arasındaki fark Denklem 4 yardımıyla hesaplanır.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (4)$$

Farklı zaman aralıklarındaki meteorolojik anlamdaki kümülatif su kazancı ya da kaybı Denklem 5 yardımıyla elde edilir.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-i} - PET_{n-i}), \quad n \geq k \quad (5)$$

Burada k zaman aralığı (ay) ve n hesap frekansdır (calculation frequency).

SYI'den farklı olarak, SYEI hesabı için 3 parametrelilik dağılım gerekmektedir. Vicente-Serrano, Pearson III, lognormal ve genelleştirilmiş ekstrem değerler gibi seçilen 3 parametrelilik dağılımlardan daha ziyade D serilerine 3 parametrelilik Log-Lojistik dağılımının uyduğunu belirlemiştir. Bu nedenle log-lojistik olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Denklem 6 yardımıyla bulunur.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (6)$$

α , β ve γ sırasıyla ölçek, şekil ve orijin parametreleridir. Ayrı olarak L-momentler yardımıyla elde edilirler

(Denklem 7, 8 ve 9). L-momentlerle ilgili ayrıntılı bilgi için [20] ve [21] nolu çalışmalara bakılabilir.

$$\beta = \frac{2\omega_1 - \omega_0}{6\omega_1 - \omega_0 - 6\omega_2} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{(\omega_0 - 2\omega_1)\beta}{\Gamma(1+\frac{1}{\beta})\Gamma(1-\frac{1}{\beta})} \quad (8)$$

$$\gamma = \omega_0 - \alpha\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 - \frac{1}{\beta}) \quad (9)$$

Burada $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$, $(1 + \frac{1}{\beta})$ 'nin gama fonksiyonu, ω_s ise s sıralı olasılık yoğunluk fonksiyonudur Denklem 10'daki gibi hesaplanır, s= 0, 1, 2 değerlerini alır.

$$\omega_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{j-0.35}{n}\right)^s D_i \quad (10)$$

Burada n data noktalarının sayısı, j ise artan sıradaki gözlem aralığıdır.

Denklem 11, D serileri için log-lojistik dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonunu vermektedir.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^\beta\right]^{-1} \quad (11)$$

SYEI değeri $F(x)$ 'in standartlaştırılmış değeri olarak Denklem 12'deki gibi hesaplanır.

$$SYEI = W - \frac{c_0 + c_1 W + c_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (12)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{for } P \leq 0.5 \quad (13)$$

Denklem 13'teki P belirlenen bir D değerini aşma olasılığını göstermektedir.

$P = 1 - F(x)$; $P > 0.5$ iken, $P = 1 - P$ ve sabitler de aşağıda gösterildiği gibi olurlar;

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517, \\ c_1 &= 0.802853, \\ c_2 &= 0.010328, \\ d_1 &= 1.432788, \\ d_2 &= 0.189269, \\ d_3 &= 0.001308 \quad [22] \end{aligned}$$

Bu şekilde yıllık ölçek kuraklık seviyesi 5 tip olarak tanımlanmış olur ve Çizelge 1'deki gibi kategorize edilebilir.

Çizelge 1. SYEI kuraklık kategorileri (Drought categories for SPEI) [22]

Kuraklık Yok	Hafif Kuraklık	Orta Dereceli Kuraklık	Şiddetli Kuraklık	Aşırı Kuraklık
$-0.5 < SYEI$	$-1 < SYEI \leq -0.5$	$-1.5 < SYEI \leq -1$	$-2 < SYEI \leq -1.5$	$SYEI \leq -2$

2.2.2. Bütünleşik kuraklık indeksi (BKİ) (Aggregated Drought Index) (ADI)

Bütünleşik Kuraklık İndeksi Keyantash ve Dracup [7] tarafından geliştirilmiştir. Meteorolojik bir parametrenin diğer bir meteorolojik parametrenin oluşumunu etkileyebileceği, özellikle de hidrolojik çevrim düşünüldüğünde, bunun da bölgedeki kuraklığa yansıtılabileceğini söyleyebiliriz. Örneğin güneş radyasyonu (şiddeti) ve ışınımı arttıkça bölgedeki evapotranspirasyon, sıcaklığın artması nedeniyle artmaktadır. Buharlaşmanın artması havanın nem seviyesini yükseltir. Buharlaşmayla birlikte bulutlanma da artar. Bulutlanmanın değişmesi açık yüzey buharlaşmasının değerini azaltıp çoğaltabilir. Çünkü toprağın ve suyun güneşlenme süresi değişir [23]. Temel Bileşenler Analizi, Bütünleşik Kuraklık İndeksi'ndeki gibi birbiri ile ilişkili parametreler içeren veri serilerinin boyutlarını, veri seti içerisinde oluşan değişimleri koruyarak daha az boyuta indirgenmesine

$$O = \begin{bmatrix} \text{Yağış} & \text{Sıcaklık} & \text{Buharlaşma} & \text{Nem} & \text{Güneşlenme süresi} & \dots \\ : & : & : & : & : & : \\ : & : & : & : & : & : \\ : & : & : & : & : & : \\ : & : & : & : & : & : \end{bmatrix} \quad (14)$$

- İkinci adım olarak her bir sütun kendi ortalamasından çıkarılarak standart sapmasına bölünerek standartlaştırılır (X matrisi elde edilir). Çünkü kullanılan gözlenmiş değerlerin sonuçlarda ağırlığının olmaması istenir.
- Üçüncü adımda standartlaştırılan veri setinden oluşturulan matrisin korelasyon matrisi (R) oluşturulur. Bu şekilde her bir parametrenin birbirleri ile olan ilişkisi elde edilir. Her bir ay için 12 farklı korelasyon matrisi oluşturulması gerekir. R korelasyon matrisi, X ise standartlaştırılmış gözlem matrisi olmak üzere gözlenmiş veri matrisinin korelasyon matrisi (R) Denklem 15'teki gibi bulunur. Standartlaştırılmış matrisin transpozitesi X^T 'dir. N ise hesap edilen hidrolojik yıl sayısıdır.

$$R = \frac{1}{N-1} X^T X \quad (15)$$

- Elde edilen korelasyon matrisi (R) üzerinde Temel Bileşenler Analizi (TBA) gerçekleştirilir. Bu şekilde matrisin özvektörleri ve özdeğerleri bulunur. Özvektörler, orijinal değişkenlerin standartlaştırılmış lineer kombinasyonu olan korelasyonsuz temel bileşeni hesaplamayı sağlar. Özdeğerler ise her bir temel bileşen tarafından açıklanan varyasyon miktarını ölçer.
- Bütünleşik Kuraklık İndeksi oluşturulurken korelasyon matrisi kullanıldığından indeks

yardımcı olan dönüşüm tekniğidir. Buradaki amaç, eldeki veri setinin daha az değişkenle ifade edilebilmesidir [24]. Temel Bileşenler Analizi, orijinal veri seti arasındaki korelasyonu tanımlayan kare simetrik R matrisinin kurulmasını gerektirir. Temel bileşenleri hesaplamak için:

- Elde edilen parametrelerden her bir hidrolojik yılın her bir ayı için veri matrisi oluşturulur. Bu matriste her bir sütun bir veriyi (yağış, buharlaşma, akım vb.) gösterir. O (observed values) gözlenmiş değerleri gösteren matristir. Denklem 14'deki O matrisi, N x p boyutunda oluşturulur. N hesaplamada kullanılan hidrolojik yıl sayısını, p ise parametre sayısını göstermektedir.

değerleri parametrelerin birimlerinden etkilenmemektedir. Her bir parametre kendi biriminde kullanılabilir.

Bütünleşik Kuraklık İndeksi temel bileşenler analizi yöntemi ile oluşturulduğundan, diğer kuraklık indekslerinden farkı buradan kaynaklanmakta, oldukça güçlü ve kapsamlı kuraklık indeksleri kategorisinde yer almaktadır.

Temel bileşenler matrisine Z, standartlaştırılmış gözlem verisi matrisine X, korelasyon matrisinden (R) elde edilen özvektör matrisine de E denilirse, $Z=XE$ olarak elde edilir.

BKİ_{ik} i. yıl k. aya ait Bütünleşik Kuraklık İndeks değerini, Z_{ik} i. yıl k. aya ait birinci temel bileşeni, σ tüm hidrolojik yıllarda yer alan k. aya ait birinci temel bileşenin standart sapmasını göstermek üzere Denklem 16'daki gibi elde edilir. Bütünleşik Kuraklık İndeksi hesaplanırken sadece birinci temel bileşen kullanılır. Çünkü bütün standartlaştırılmış veri setinde yer alan parametrelerin en büyük varyasyon miktarını birinci temel bileşen açıklamaktadır.

$$BKİ_{ik} = (Z_{ik})/\sigma \quad (16)$$

BKİ_{ik} değerleri elde edildikten sonra hidrolojik yılların her ayı seri haline getirilerek Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) değerleri elde edilmiş olur. BKİ değerleri 12 aylık periyot için hesaplanmaktadır. BKİ'de SYİ ya da SYEİ

yöntemlerinde olduğu gibi kesin bir kuraklık kategorisi bulunmamaktadır. SYİ'de 0, -1, -1.5 ve -2 eşik değerleri sırasıyla 0.5, 0.1587, 0.0668 ve 0.0228 kümülatif olasılık değerlerine karşılık gelmektedir. BKİ'de de bu kümülatif olasılık değerlerine karşılık gelen sınır değerleri tespit edilmiştir. SYEİ kuraklık sınırlarına göre çok yakın çıktığı için aynı kuraklık ölçüğü kabul edilmiştir. Bütün uygulamalar ve hesaplamalar MATLAB R2012b [25] programı ile kodlanarak gerçekleştirilmiştir [23]. Hesap yöntemi ve kullandığı parametre sayısı nedeniyle BKİ'nin SYEİ'ye göre daha üstün ve güvenilir olduğu söylenebilir.

2.2.3. Mann-Kendall trend analizi ve Sen'in eğim yöntemi (mann-kendall trend analysis and sen's slope method)

Mann-Kendall testi, gidişin (trendin) olmadığı sıfır hipotez olan (null hypothesis) H_0 'a karşı, zaman içerisinde rastgele sıralanmış x_i gözlemlerinin artan ya da azalan monotonik gidişi olan alternatif hipotez olan H_1 'i sınamak için uygulanır. Veriler sıralı zaman serileri olarak değerlendirilir. Her bir veri değeri kendinden sonra gelen veri değeri ile kıyaslanır. Kıyaslamalar sonucunda Denklem 18'deki gibi işaret fonksiyonuna değerler atanır ve S istatistiğinin nihayi değeri elde edilir. Elde edilecek S istatistiği Mann-Kendall test istatistiği olup, Denklem 17'deki gibi hesaplanır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (17)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{eğer } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{eğer } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{eğer } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (18)$$

x_j ve x_k sırasıyla j ve k yıllarındaki yıllık değerlerdir ($j > k$), n: veri sayısı, sgn: İşaret (Signum) fonksiyonu

Eğer $n > 10$ ise, S ortalama ve varyans ile yaklaşık olarak normal dağılır. Bu durumda Z testi kullanılır. Aşağıdaki gibi hesaplanır (Denklem 19).

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p - 1)(2t_p + 5)] \quad (19)$$

Burada q bağlı grupların sayısını, t_p ise p^{th} gruptaki veri değerlerinin sayısıdır. Test istatistiği olan Z değeri, S ve VAR(S) kullanılarak Denklem (20) ile bulunur.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{eğer } S > 0 \\ 0 & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (20)$$

Z'nin pozitif (negatif) değeri artan (azalan) gidiş olduğunu gösterir. Bu çalışmada var olan gidişin (her yıldaki değişim olarak) gerçek eğimini tahmin etmek için Sen'in parametrik olmayan metodu [26] kullanılmıştır. Lineer model $f(t)$, $f(t) = Qt + B$ olarak açıklanır. Q eğimi gösterir, B ise sabittir. Q eğimini türetmek için bütün veri parçalarının eğimi hesaplanır (Denklem 21).

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad i=1,2,\dots,N, \quad j > k \quad (21)$$

N adet Q_i değeri hesaplanır ($N=n(n-1)/2$, n: zaman periyotlarının sayısıdır (veri sayısı)). Hesaplandıktan sonra küçükten büyüğe doğru sıralanır. N adet Q_i değerlerinin medyanı gidiş eğim parametresini tahmin eder. Yani Sen'in eğim estimatörüdür. N sayısının tek ya da çift olması durumuna göre Q_{medyan} hesap edilir (Denklem 22).

$$Q_{\text{medyan}} = \begin{cases} Q_{(N+1)/2} & (1) \\ \frac{1}{2}(Q_{\frac{N}{2}} + Q_{\frac{N+2}{2}}) & (2) \end{cases} \quad (22)$$

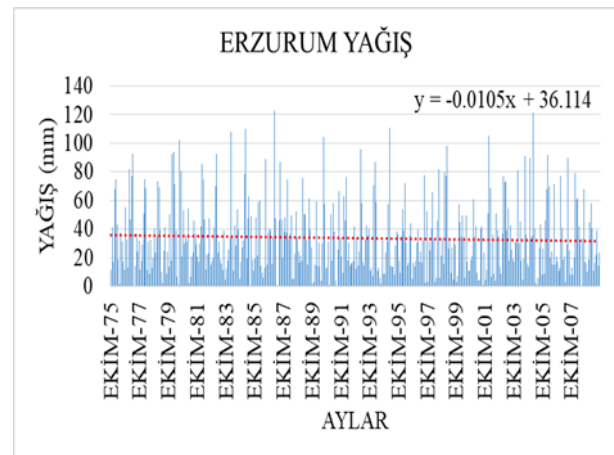
N değeri tek olursa (1) nolu formül, çift olursa (2) nolu formül kullanılır. Normal dağılımı esas alan parametrik olmayan teknik yardımıyla eğim tahmini ile ilgili iki taraflı $\%100(1-\alpha)$ güven aralığı elde edilir. İlk olarak C_a değeri Denklem (23)'teki gibi hesaplanır.

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{VAR}(S)} \quad (23)$$

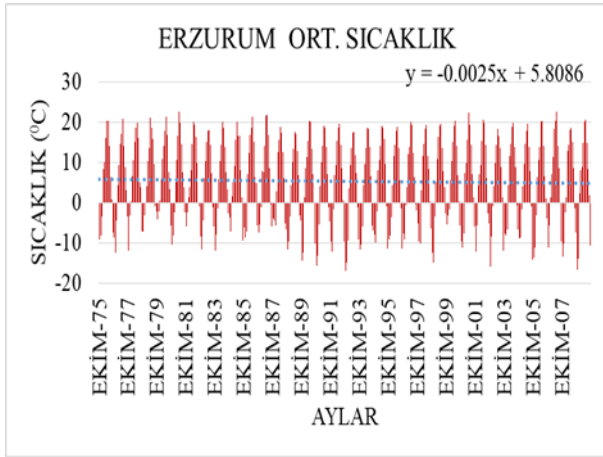
Daha sonra $M_1=(N-C_a)/2$ ve $M_2=(N+C_a)/2$ değerleri hesaplanır. N sıralı Q_i eğim hesaplarının M_1 'inci en büyük ve $M_2 + 1$ 'inci en büyük değerleri olan Q_{min} ve Q_{max} , güven aralığının daha düşük ve daha yüksek limitleridir. Hesaplamalar ve işlemler [27]) tarafından oluşturulan MAKESENS isimli excel makrosu ile yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI (RESEARCH FINDINGS)

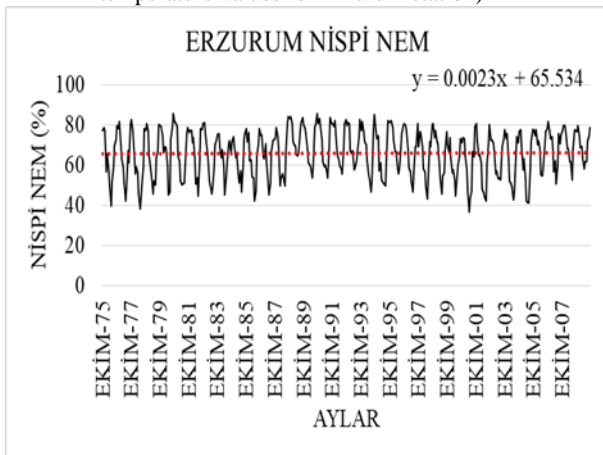
Erzurum istasyonu gerek deniz seviyesinden olan yüksekliği gerekse denize olan uzaklığı nedeniyle şiddetli bir karasal iklime sahiptir. Erzurum istasyonu için aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama nispi nem ve aylık toplam güneşlenme sürelerinin değişimi sırasıyla Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Grafiklerin üzerinde yer alan gidiş çizgileri yağış ve güneşlenme süresi için azalan bir tablo ortaya koymaktadır.



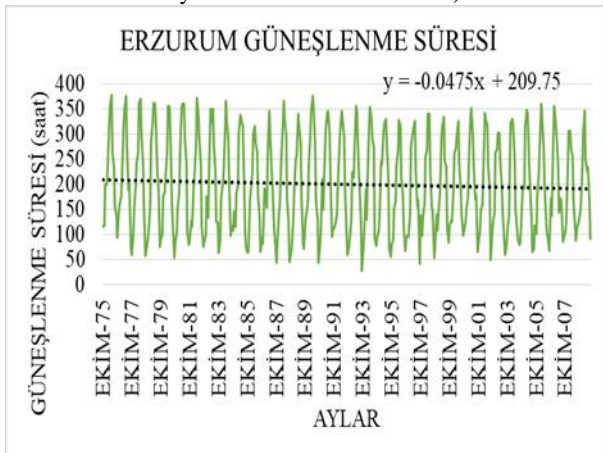
Şekil 2. Erzurum istasyonu aylık toplam yağış değerlerinin değişimi (Fluctuation of monthly total precipitation values for Erzurum station)



Şekil 3. Erzurum istasyonu aylık ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi (Fluctuation of monthly mean temperature values for Erzurum station)



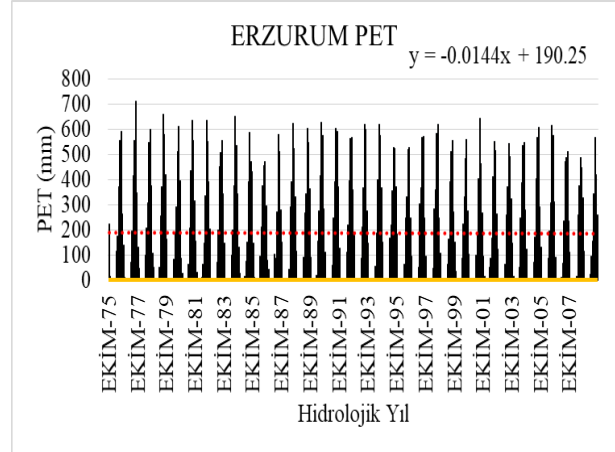
Şekil 4. Erzurum istasyonu aylık ortalama nispi nem değerlerinin değişimi (Fluctuation of monthly mean humidity values for Erzurum station)



Şekil 5. Erzurum istasyonu aylık toplam güneşlenme süresinin değişimi (Fluctuation of monthly total sunshine duration values for Erzurum station)

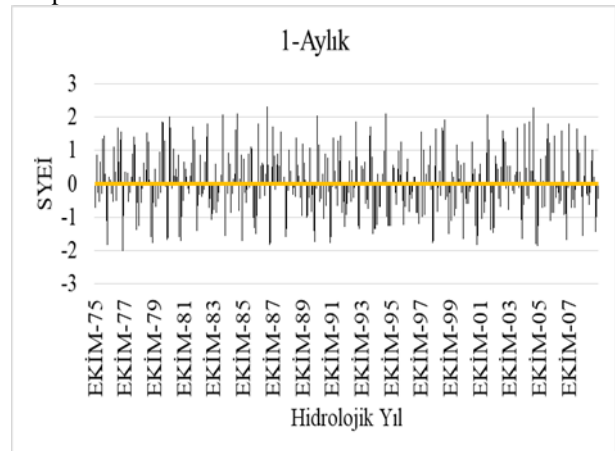
Thornthwaite yöntemiyle hesap edilen potansiyel evapotranspirasyon değerleri Şekil 6'da görülmektedir. Hidrolojik yıl bazında hesap edilen PET değerlerine bakılacak olunursa en yüksek PET değerinin 1977 hidrolojik yılında kaydedildiği görülebilir. Erzurum istasyonunda son yıllardaki PET değerlerinin, önceki

yıllara göre kıyasla azaldığı söylenebilir. Çünkü bulutlanmanın artması yeryüzüne ulaşan güneş ışığının şiddetini azaltmaktadır. Bu da transpirasyonu ve evaporasyonu etkilemektedir. Güneşlenme süresinin azaldığı durumlarda PET değerleri de kıyasla azalmaktadır.

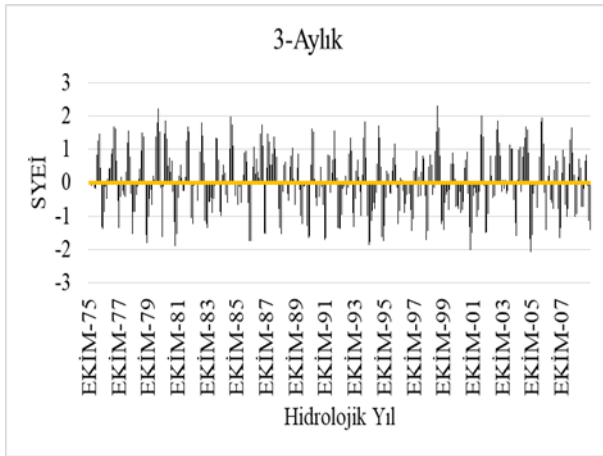


Şekil 6. Erzurum istasyonu PET değerlerinin değişimi (Fluctuation of PET values for Erzurum station)

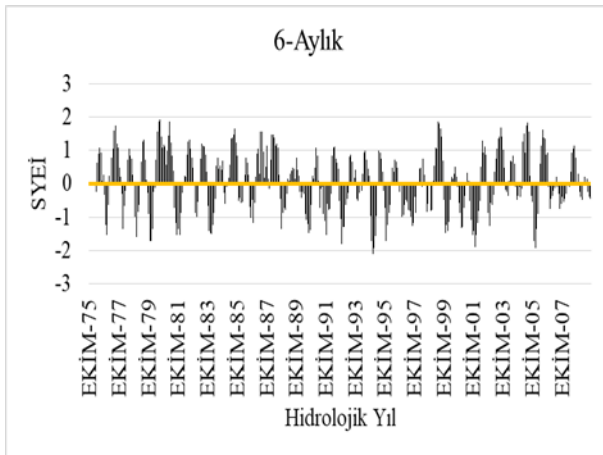
Kuraklıkla ilgili çalışmalarda sıklıkla karşılaşılan değişik kümülatif periyotları (1, 3, 6-Aylık ...) kuraklığın su kaynakları, rezervuar hacmi, akış, toprak nemi, kar örtüsü ve yeraltı suyu üzerindeki farklı etkilerini incelemeye yarar. Örneğin toprak nemi koşulları yağış anomalilerine göreceli olarak kısa periyotlarda tepki verirken, yeraltı suyu, akış ve rezervuar hacmi uzun dönem periyotlardaki yağış anomalilerinin yansımaları sonucudur. 1-3-Aylık SYEİ değerleri meteorolojik kuraklığı, 1-6-Aylık SYEİ değerleri tarımsal kuraklığı ve 6-24-Aylık SYEİ değerleri ise hidrolojik kuraklığı tespit etmeye yardımcı olur. Şekil 7, 8, 9 10 ve 11'de sırasıyla 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık SYEİ değerlerinin değişimi görülmektedir. Özellikle 12 ve 24-Aylık periyotlarda 1990 ve 2000 yılları arasında devam eden 10 yıl süreli kuraklık göze çarpmaktadır. 1 ve 3-Aylık kısa dönem periyotlarda ise kurak ve sulak dönemler birbirlerini takip etmektedir.



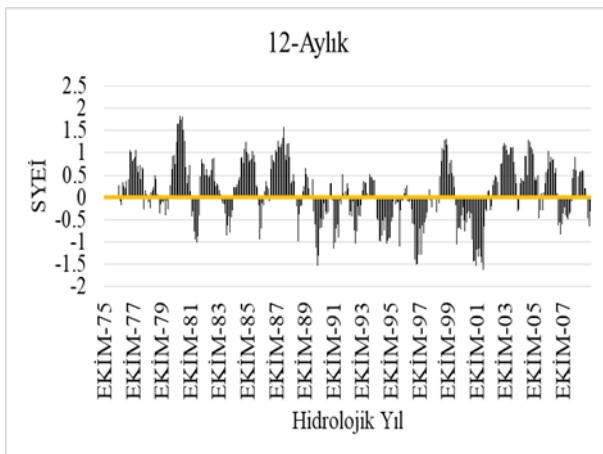
Şekil 7. Erzurum istasyonu için 1-Aylık SYEİ değerlerinin değişimi (Fluctuation of 1-Month SPEI values for Erzurum station)



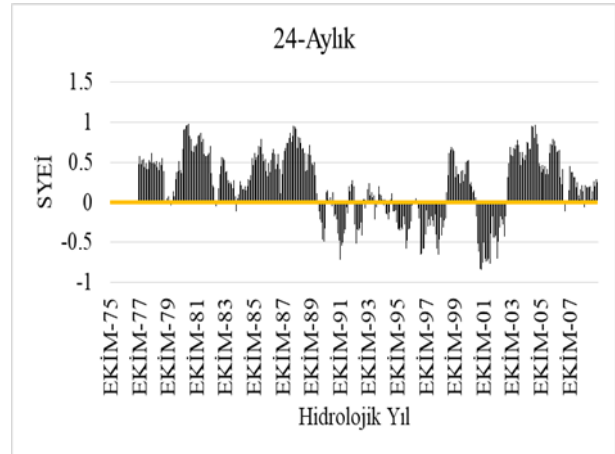
Şekil 8. Erzurum istasyonu için 3-Aylık SYEİ değerlerinin değişimi (Fluctuation of 3-Month SPEI values for Erzurum station)



Şekil 9. Erzurum istasyonu için 6-Aylık SYEİ değerlerinin değişimi (Fluctuation of 6-Month SPEI values for Erzurum station)

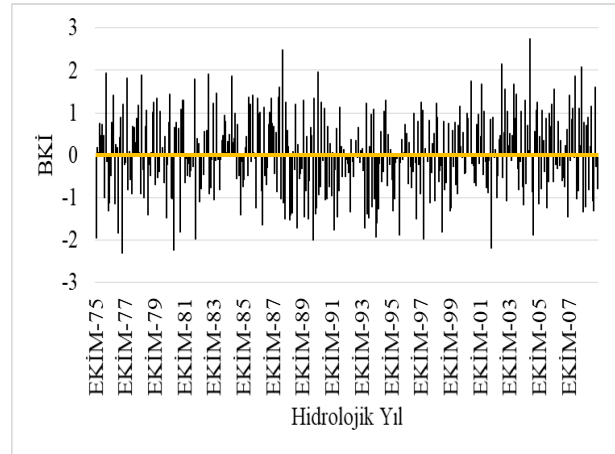


Şekil 10. Erzurum istasyonu için 12-Aylık SYEİ değerlerinin değişimi (Fluctuation of 12-Month SPEI values for Erzurum station)



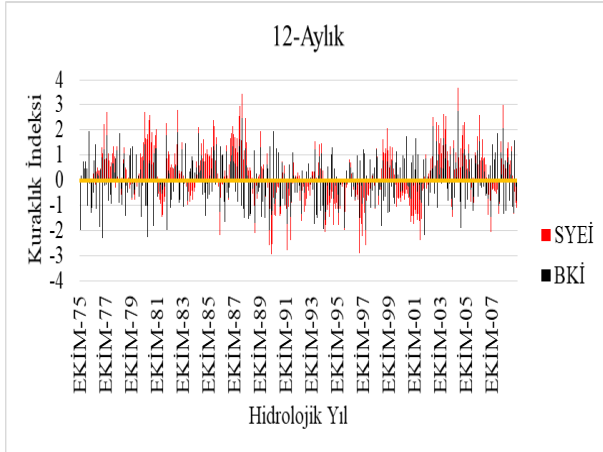
Şekil 11. Erzurum istasyonu için 24-Aylık SYEİ değerlerinin değişimi (Fluctuation of 24-Month SPEI values for Erzurum station)

Erzurum istasyonu için BKİ değerlerinin değişimi Şekil 12'de görülmektedir. BKİ değerleri sadece 12-Aylık periyotlar olarak hesaplanmaktadır. SYEİ'de olduğu gibi kayan ortalamalar şeklinde hesap edilmemektedir. Kısa dönem (1-3-Aylık SYEİ değerlerinde olduğu gibi) kurak dönemleri sulak, sulak dönemleri ise kurak dönemler takip etmektedir. Şekil 12 dikkatlice incelenecek olursa SYEİ 12 ve 24-Aylık periyotlarda olduğu gibi 1990 ve 2000 hidrolojik yılları arasında sulaklığın şiddetinin azaldığı kuraklığın şiddetinin ise devam ettiği görülmektedir.



Şekil 12. Erzurum istasyonu için BKİ değerlerinin değişimi (Fluctuation of ADI values for Erzurum station)

Şekil 13'te BKİ ve SYEİ'nin karşılaştırılması yer almaktadır. 12-Aylık periyot hesabında BKİ ve SYEİ değerlerindeki uyum göze çarpmaktadır. Yani her iki yöntem ile yapılan kuraklık analizi neticesinde SYEİ'nin kurak ya da sulak olarak gösterdiği yıllar BKİ sonucunda da kurak ya da sulak çıkmıştır. Özellikle 1990 ve 2000 hidrolojik yıllarında her iki yöntemde de kuraklığın devam ettiği göze çarpmaktadır.



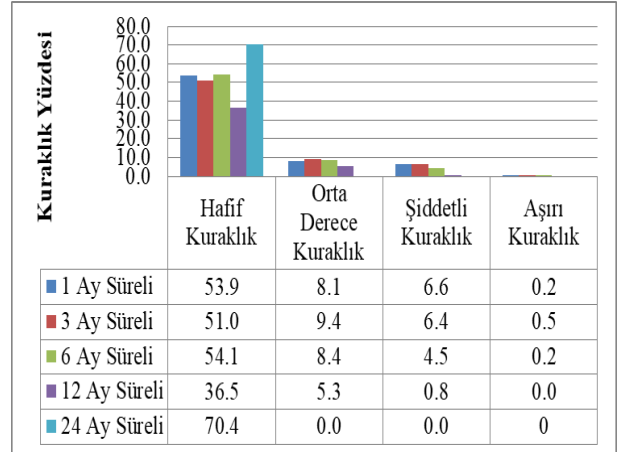
Şekil 13. Erzurum istasyonu için BKİ ve SYEİ değerlerinin karşılaştırılması (Comparison of ADI and SPEI values for Erzurum station)

Şekil 14’de Erzurum istasyonu için SYEİ kuraklık frekansları verilmektedir. Kuraklık frekansı bir hidrolojik seri boyunca SYEİ kuraklık kategorisine giren değer sayısının hidrolojik seri uzunluğu sayısına bölünmesiyle elde edilir. Şekil 14’e bakılırsa meteorolojik ve tarımsal kuraklığı sembolize eden kısa dönem periyotlarında kuraklık türlerinin; hafif kuraklığın, orta derece kuraklığın, şiddetli kuraklığın ve az da olsa aşırı kuraklığın tecrübe edildiği söylenebilir. Ancak uzun dönem 24-Aylık periyotta ise sadece hafif kuraklığın görüldüğü göze çarpmaktadır. 1-Ay süreli periyotta %53.9, 3-Ay süreli periyotta %51, 6-Ay süreli periyotta %54.1, 12-Ay süreli periyotta %36.5 ve 24-Ay süreli periyotta ise %70.4 sıklıkla hafif kuraklık gözlenmektedir. Diğer kuraklık türleri ise 1, 3, 6 ve 12-Ay süreli periyotta %10’nun altında sıklıkla gözlenmiştir. Ancak 24-Ay süreli periyotta ise sadece hafif kuraklık gözlenmiş diğer kuraklık türleri yaşanmamıştır.

Çizelge 2’de Erzurum istasyonu için farklı kuraklık periyotlarında hidrolojik yıl bazında görülen en düşük SYEİ ve BKİ değerleri görülmektedir. 24-Aylık periyotta sadece hafif şiddette kuraklığın tecrübe edildiği görülmektedir.

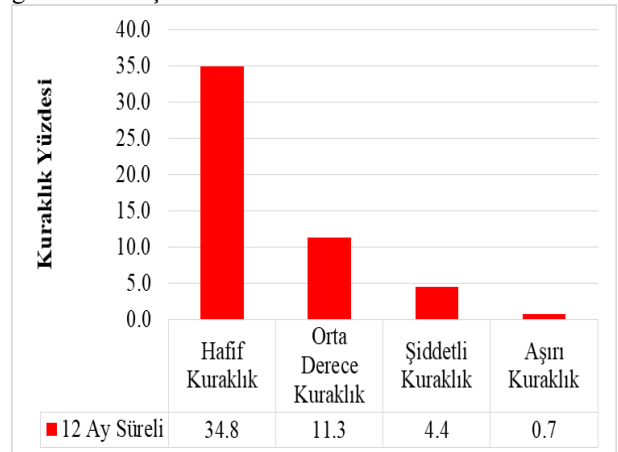
Çizelge 2. Erzurum istasyonu için görülen en düşük SYEİ ve BKİ değerleri (Experienced minimum SPEI and BKI values for Erzurum station)

		SYEİ	
Periyot	Hidrolojik Yıl	En Kurak Ay	Değeri
1-Aylık	1975-1976	Ağustos	-2.0166
3-Aylık	2003-2004	Eylül	-2.0816
6-Aylık	1993-1994	Aralık	-2.1143
12-Aylık	2000-2001	Mart	-1.6206
24-Aylık	1999-2000	Ağustos	-0.8432
		BKİ	
12-Aylık	1975-1976	Temmuz	-2.3148



Şekil 14. Erzurum istasyonu için SYEİ kuraklık frekansları (Drought frequencies of SPEI for Erzurum station)

Şekil 15’te ise BKİ 12-Aylık değerleri için kuraklık frekansı sonuçları görülmektedir. Aşırı kuraklığın en az hafif kuraklığın ise daha sık tecrübe edildiği görülmektedir. Hafif kuraklık %34.8 sıklıkla görülürken, aşırı kuraklık %0.7 oranında görülmektedir. Hem SYEİ hem de BKİ yöntemleri için şiddetli kuraklığın görülme sıklığı %7’nin altındadır. Aşırı kuraklık ise çok az gözlemlenmiştir.



Şekil 15. Erzurum istasyonu için BKİ kuraklık frekansları (Drought frequency of ADI for Erzurum station)

Çizelge 3'te yer alan Mann-Kendall ve Sen'in eğim tahmini yöntemlerinin sonuçlarına göre, SYEİ için her periyotta istatistiksel anlamda bir gidiş yakalanmamıştır. Ancak BKİ kuraklık değerlerinde artış eğilimlerinin (kuraklığın arttığını gösteren) %99

seviyesinde önemli olduğu görülmüştür. Yıllık kuraklık verisindeki doğrusal trend 0.5/onyıl şeklindedir. Bu da on yıllık periyotta Erzurum istasyonunun neredeyse bir kuraklık kategorisi kadar kurak yöne kaydığını göstermektedir.

Çizelge 3. Erzurum istasyonu için Mann-Kendall ve Sen'in eğim tahminleri sonuçları (Mann-Kendall and Sen's slope estimation results for Erzurum station)

BKİ	Periyot	Gözlem Süresi	Mann-Kendall Trend		Sen Eğim Tahminleri				
			Test Z	Önem.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
12-Ay	1975-2008	34	2.64	**	0.05	0.003	0.095	0.019	0.081
SYEİ	Periyot	Gözlem Süresi	Test Z	Önem.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
1-Ay	1975-2008	34	1.01		0.018	-0.027	0.069	-0.019	0.054
3-Ay	1975-2008	34	0.47		0.004	-0.030	0.047	-0.023	0.035
6-Ay	1975-2008	34	-0.44		-0.005	-0.052	0.036	-0.040	0.024
12-Ay	1975-2008	34	-0.83		-0.010	-0.041	0.019	-0.035	0.012
24-Ay	1975-2008	34	-1.02		-0.007	-0.030	0.013	-0.025	0.009

** $\alpha=0.01$ önemlilik seviyesinde gidiş var

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Kuraklık yeryüzündeki bütün canlılar için endişe verici bir olaydır. Kuraklığın analizini yapmak her ne kadar kuraklığa engel olamasa da önlem alınmasına yardımcı olmaktadır. Türkiye yarı ılıman bir iklim kuşağında yer almaktadır. Bu sebeple farklı coğrafi şartlar altında (karasallık, yükselti vs.) farklı iklim tipleri görülmektedir. Bu çalışmaya konu edinilen Erzurum istasyonu karasal iklime sahip Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır.

Yapılan analizler neticesinde, 1975-2008 hidrolojik yılları arasında, hem şiddetli sulaklığın hem de şiddetli kuraklığın yaşandığı görülmektedir. Çalışmada kullanılan SYEİ ve BKİ yöntemleri farklı parametrelerle ve farklı formülasyonlarla kuraklık analizi yapmaktadır. Bu da kuraklığın aynı bölge için farklı yorumlanmasına neden olabilmektedir. Ancak yapılan çalışma sonucunda 12-Aylık SYEİ ve BKİ değerlerinin ortak paydada kuraklığı temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

1, 3, 6, 12 ve 24-Aylık periyotta kuraklık incelenmiştir. Çünkü yağış eksikliği su kaynaklarına belli bir süre sonra olumsuz etki etmektedir. Kısa periyotlarda rezervuarlar etkilenmezken toprak nemi ani olarak etkilenebilmektedir.

İstasyonda sıklıkla hafif kuraklık yaşanırken aşırı kuraklık çok az görülmektedir. Gidiş analizi yöntemlerinden olan Mann-Kendall metodu neticesinde SYEİ'de herhangi bir anlamlı trend bulunamamıştır. Ancak BKİ yönteminde %99 önemlilik seviyesinde kuraklığın arttığını dair trend yakalanmıştır. Kuraklığın dönemsel olarak incelendiği Erzurum istasyonunda, daha fazla hidrolojik parametre kullanan BKİ yönteminin daha doğru sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Ancak BKİ'nin sadece 12-Aylık periyot için hesap edilmesi nedeniyle 1,

3, 6-Aylık periyotlardaki kuraklığı tespit etmek için SYEİ yöntemi tercih edilebilir. Bu çalışmanın çevre iller ve bölge için kuraklık açısından diğer çalışmalara ışık tutması beklenmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Emre TOPÇU: Konuyu belirlemiş ve analiz sonuçlarını yorumlayarak makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Determined the subject and made the writing process of the article by interpreting the analysis results.

Fatih KARAÇOR: Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SYEİ) değerlerini elde ederek analiz etmiştir. / Obtained and analyzed Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) values.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Castillo-Castillo M., Ibanez-Castillo A. L., Valdes B.J. Arteaga-Ramirez R., Vazquez-Pena A.M. "Meteorological Drought Forecasting Using Discrete

- Kalman Filter In The Fuerte River Watershed, Mexico”, *Agrociencia* 52: 911-932, (2018).
- [2] Topçu E., “L-Momentler ve Standart Yağış İndeksi (SYİ) Yardımıyla Seyhan Havzası Kuraklık Analizi”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, *Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 167s, (2013).
- [3] Topçu E., Seçkin N., “Drought Analysis of the Seyhan Basin by Using Standardized Precipitation Index (SPI) and L-Moments”, *Journal of Agricultural Sciences*, 22:196-215, (2016).
- [4] Pachauri R.K., Meyer, L. “Climate Change 2014 Synthesis Report-Summary for Policymakers”, *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*: Geneva, Switzerland, (2014).
- [5] McKeen T. B., Doesken N. J., and Kleist J., “The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales”, Reprints, *8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, USA, 179–184,(1993).
- [6] Tsakiris G., Vangelis H., “Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration”, *European Water Publications*, 9/10:3-11,(2005).
- [7] Keyantash A.J., Dracup A.J., “An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage”, *Water Resources Research*, Vol 40, W09304, (2004).
- [8] Gibbs J.W., Maher V.J., 1967. “Rainfall Deciles as Drought Indicators”, *Bureau of Meteorology*. ustralia, 48, 33, (1967).
- [9] Palmer W.C., “Meteorological droughts”. U.S. Department of Commerce, *Weather Bureau* Research Paper 45, 58, (1965).
- [10] Vicente-Serrano S.M., Beguería, S., López-Moreno J.I. “A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index”, *J. Clim.* 23, 1696–1718, (2010).
- [11] Bae Seungjong, Lee H-S, Yoo S-H, Kim, T., “Analysis of Drought Intensity and Trends Using the Modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010”, *Water*, 10, 327; (2018).
- [12] Hargreaves G.H., Samani Z.A., “Reference crop evapotranspiration from temperature”,*Transaction of ASA*, 1(2):96-99, (1985).
- [13] Doorenbos J., Pruitt W.O., “Guidelines for predicting crop water requirements”, *Irrigation and Drainage Paper* 24, 2nd edition, FAO, Rome, p. 179, (1977)
- [14] Allen R.G., Pruitt W.O., Wright J.L., Howell T.A., Ventura F., Snyder R., Itenfisu D., Steduto P., Berengena J., Beselga J., Smith M., Pereira L.S., Raes D., Perrier A., Alves I., Walter I., Elliott R., “A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman–Monteith method”, *Agric. Water Manage.* 81, 1–22, (2006).
- [15] Thornthwaite C.W., “An approach toward a Rational Classification of climate”. *Geographical Review*, 38 (1), 55e94, (1948).
- [16] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Meteorolojik Veri Bilgi Sunum ve Satış Sistemi, <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Works pace> Erişim Tarihi 28.01.2020.
- [17]http://cografyaharita.com/haritalarim/41_erzurum_ili_harit asi.png Erişim Tarihi 28.01.2020.
- [18] Allen R.G, Pereira L.S, Smith M., “Crop evapotranspiration”. *FAO Irrigation and Drainage* paper 56, Roma, FAORome, (1998).
- [19] Mavromatis T., “Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece”. *Int. J. Climatol.*, 27, 911–924, (2007).
- [20] Seçkin N., “L Momentlere Dayalı Gösterge-Sel Metodu İle Bölgesel Taşkın Frekans Analizi”. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, *Doktora Tezi*, Adana, (2009).
- [21] Seçkin N., Haktanir T., Yurtal R., “Flood frequency analysis of Turkey using L-moments method”, *Hydrological Processes*, 25: 3499-3505, (2011).
- [22] Yang M., Yan D., Yu Y., Yang Z., “SPEI-Based Spatiotemporal Analysis of Drought in Haihe River Basin from 1961 to 2010”. Hindawi Publishing Corporation *Advances in Meteorology Volume*, Article ID 7658015, 10 pages, (2016).
- [23] Topçu E., “Doğu Akdeniz, Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında Farklı Yöntemler Kullanılarak Kuraklık Analizi”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, *Doktora Tezi*, Adana, 313 s, (2018).
- [24] Alkan Ö., “Temel Bileşenler Analizi ve Bir Uygulama Örneği”, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilimdalı, *Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum, 125s, (2008).
- [25] MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b, *The MathWorks, Inc.*, Natick, Massachusetts, United States.
- [26] Sen P. K., “Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s tau”, *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379–1389, (1968).
- [27] Salmi T., Maata A., Antilla P., Ruoho-Airola T., Amnell, T., “Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann–Kendall test and Sen’s slope estimates – the Excel template application Makesens”, *Finnish Meteorological Institute*, Helsinki, Finland, 35 pp, (2002).