





## KÜRESEL ISINMAYA BAĞLI SICAKLIK ARTIŞININ EVAPOTRANSPIRASYON (PET) ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN 1960-2016 PERİYODU BOYUNCA KARS İLİ İÇİN İNCELENMESİ

<sup>1</sup>Emre TOPÇU , <sup>2</sup>Şerife Pınar GÜVEL 

<sup>1</sup>Kafkas Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kars, TÜRKİYE  
<sup>2</sup>DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Bilgi Teknolojileri Şube Müdürlüğü, Coğrafi Bilgi Sistemleri Birimi, Adana, TÜRKİYE

<sup>1</sup>emre.topcu@kafkas.edu.tr, <sup>2</sup>spinar.guvel@dsi.gov.tr

(Geliş/Received: 13.07.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 12.01.2022)

**ÖZ:** İklim değişikliği tüm yerkürede hissedilmektedir. Hidrolojik çevrimi oluşturan parametrelerin şiddeti öngörülemez şekilde değişmektedir. Potansiyel Evapotranspirasyon (PET), hidrolojik çevrimin tahmin edilmesi en zor parametrelerinden birisidir. Günümüzde sıcaklık artışları ile birlikte dengesi bozulmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan Kars İli'nde 1960 ve 2016 hidrolojik yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak iklim değişikliğinin PET değerleri üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır. PET hesaplama yöntemi olarak Thornthwaite metodu tercih edilmiştir. Kars İli sınırları içerisinde yer alan toplam 8 gözlemsel noktanın verileri kullanılmıştır. Mann-Kendall trend analizi ve Sen'in eğim metodu yöntemleri kullanılarak PET değerlerindeki trend tespit edilmiştir. Kars İli'nde PET değerlerinin alansal ve zamansal değişimini sergileyebilmek için haritalandırma tekniği kullanılmıştır. Sonuçlara göre yıllık ortalama PET değerleri istatistiksel olarak önemli derecede tüm gözlemsel noktalarda artmıştır. Bölgede yıllık ortalama en yüksek PET değeri Kağızman istasyonunda iken yıllık ortalama en düşük PET değeri Arpaçay istasyonundadır. Yıllık PET değerlerinde en yüksek artış 5.47 mm/onyıl ile Akyaka istasyonunda tespit edilirken en az artış 4.50 mm/onyıl ile Sarıkamış istasyonundadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hidroloji, İklim değişikliği, Kars, Potansiyel evapotranspirasyon, Thornthwaite

### Investigation of the Effect of Temperature Increase Due to Global Warming on Potential Evapotranspiration (PET) for Kars Province during the 1960-2016 Period

**ABSTRACT:** Climate change is being felt all over the world. The intensity of the parameters that make up the hydrological cycle changes unpredictably. Potential Evapotranspiration (PET) is one of the most difficult parameters of the hydrological cycle to predict. Today, its balance is deteriorating with temperature increases. In this study, the effect of climate change on PET values has been investigated by using monthly average temperature values between 1960-1961 and 2015-2016 hydrological years in the province of Kars, located in the Northeast of Turkey. Thornthwaite method was preferred as PET calculation method. Data of total 8 observational points within the borders of Kars Province were used. By using the Mann-Kendall trend analysis and Sen's slope method, the trend in PET values was determined. Mapping technique has been used in order to display the spatial and temporal variation of PET values in Kars Province. According to the results, the annual average PET values increased statistically significantly at all observational points. While the highest annual average PET value in the region is at Kağızman station, the lowest annual average PET value is at Arpaçay station. The highest increase in annual PET values was detected at Akyaka station with 5.47 mm/decade, while the lowest increase was in Sarıkamış station with 4.50 mm/decade.

**Keywords:** Hydrology, Climate change, Kars, Potential evapotranspiration, Thornthwaite

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su kıtlığı dünya çapında hızla büyüyen bir problemdir (Kummu ve diğ., 2016). Su eksikliği, bitkilerin ve canlıların yaşamı için yarı kurak bölgelerde kendini daha çok hissettirmektedir. Buharlaşma (evaporasyon), suyun su buharına dönüşmesidir (USGS, 2021). Buharlaşma, göl yüzeyleri, deniz yüzeyleri, toprak, yeşil bitki örtüsü ve kar örtüsü gibi birçok yüzeyden oluşabilir. Bitkinin yapraklarındaki içerdiği suyun, atmosfere buharlaşmasına terleme (transpirasyon) denilir (USGS, 2021).

Buharlaşma ve terleme hadiseleri birlikte oluşur ve bu iki hidrolojik durumu bir diğerinden ayırma söz konusu değildir. Toprak yüzeylerinden su kaybı çoğunlukla buharlaşma ile gerçekleşir. İklim faktörleri, bitki özellikleri, çevresel faktörler evapotranspirasyonu (ET) doğrudan etkiler. ET'yi etkileyen ana iklim faktörleri hava sıcaklığı, nem, güneş radyasyonu ve rüzgardır. Bitki boyu, ışınların yansıtma oranı, toprağı kaplama oranındaki farklılıklar ve köklenme, ET seviyelerinin değişmesine neden olur (USGS, 2021). Toprak tuzluluğu, sert toprak tabakaları, yetersiz gübreleme, haşere kontrolü, zayıf toprak işleme gibi faktörler bitki büyümesini ve dolayısıyla evapotranspirasyonu etkiler. ET, sulama sistemlerinin tasarımı, işletimi ve yönetimi için gerekli olan önemli bir parametredir. ET'nin doğru tahmini, sulama planlaması ve su kaynakları planlaması ve yönetimi için, özellikle de su kaynaklarının yetersizliği nedeniyle kurak ve yarı kurak bölgelerde esastır (Fooladmand, 2011). Hidrolojik çevrim parametrelerinden belirlenmesi en zor olan ET, bitki örtüsü bulunan bir alandan kaybolan toplam su miktarı olarak tanımlanmaktadır (Bağcı ve Şarlak, 2019).

Potansiyel evapotranspirasyon (PET) yeterli su kaynağı bulunan bir ortamda oluşabilecek buharlaşma miktarı olarak tanımlanmaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde PET eğilimlerinin iyi analiz edilmesi, su kaynaklarının en uygun şekilde yönetilmesi açısından hayati önem taşımaktadır. 5. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporuna göre, sera gazı emisyonlarının artışına bağlı olarak tetiklenen küresel ısınma eğilimi devam edecektir (IPCC, 2014). Gıda üretimi, doğal ekosistem ve tatlı su temini üzerinde etkileri olan iklim değişikliği, insanlığın karşı karşıya olduğu küresel bir çevre sorunu olarak kabul edilmektedir. İklim değişikliğinin tarım, hidroloji ve ekosistem gibi farklı unsurlar üzerinde ciddi etkileri olduğu düşünülmektedir (Dinpaşoh ve diğ., 2019).

PET, havzalardaki önemli miktardaki su kaybını temsil eden önemli bir hidrolojik değişken olarak yaygın bir şekilde kabul edilmektedir. PET, yeraltı suyu geri beslenmesi, akış oluşumu ve zemin suyu hareketi gibi bazı önemli hidrolojik süreçlerle yakından ilgilidir (Liu ve diğ., 2018). Su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde kurak koşullar, iklim değişikliği yüzünden artan PET, sulama suyu ihtiyacı ve içme suyu tüketimi sebebiyle daha etkili olacaktır. Ayrıca küresel su döngüsünü meydana getiren faktörlerin iklim değişikliği sebebiyle daha şiddetli olmaları beklenmektedir (Duhan ve diğ., 2021). Küresel iklim değişikliğinin, sera etkisi nedeniyle meydana getirdiği sıcaklıklardaki artış, okyanus, nehir ve göl yüzeylerinde oluşan buharlaşma oranını da arttırmaktadır (Bacanlı ve Tanrıku, 2017). PET, fiziksel (buharlaşma tavaları), deneysel ve uydu kaynaklı metotlar yardımı ile değerlendirilmektedir. PET tahmininde deneysel yaklaşımlar genellikle 3 kısımda yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla; sıcaklığa dayalı (Thornthwaite, 1948; Blaney ve Criddle, 1950; Hargreaves ve Samani, 1985), radyasyona dayalı (Priestley ve Taylor, 1972) ve bütünsel (Penman, 1948) olanlardır.

Bu çalışmada Türkiye'nin en soğuk ve en yüksek yerleşim yerlerinden biri olan Kars İli'nde iklim değişikliğine bağlı olarak değişmesi muhtemel olan, sıcaklığa dayalı Thornthwaite yöntemi ile elde edilen, PET değerlerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Son yıllarda bölgede artan sıcaklıklar ve kuraklık olayları bu çalışmanın yapılmasında etkili olmuştur. Mann-Kendall trend analizi kullanılarak PET trendi hakkında bir yargıya varılmaya çalışılmıştır. Literatürde, soğuk iklimi nedeniyle PET değerlerine pek bakılmayan bu bölgenin PET değerleri incelenmiştir.

## MATERYAL ve METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada meteorolojik parametre olarak 1960-2016 hidrolojik yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık (°C) verileri kullanılmıştır. Veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir.

### Kars İli İklimsel Özellikleri (Climatic Characteristics of Kars Province)

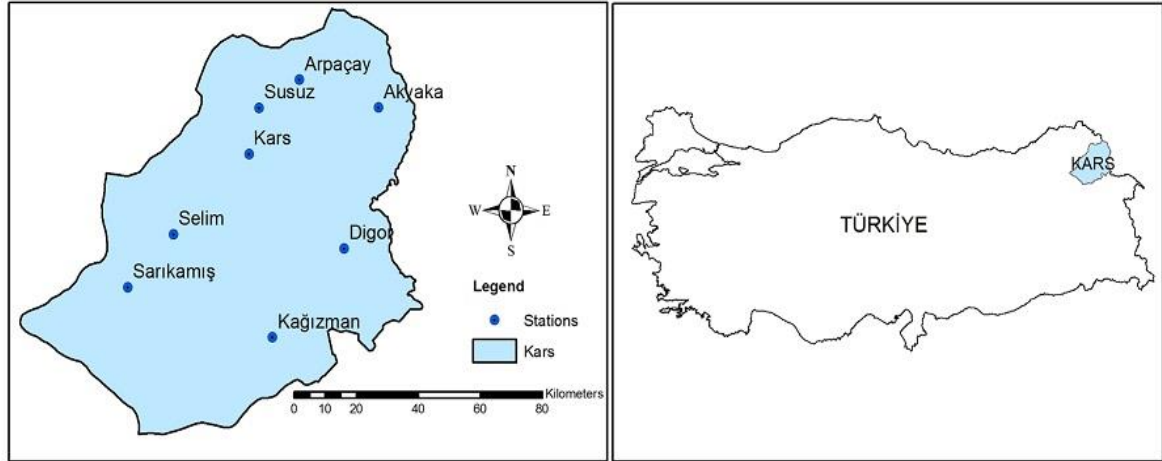
Kars ilinde karasal iklim egemen olup, kış ayları kurak, yaz ayları ise yağışlı geçer, kış aylarında sıcaklıkların  $-39^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar indiği görülmektedir. Kars ilindeki önemli akarsular, Aras Irmağı, Arpaçay ve Kars Çayı'dır. Kars İli topraklarının yaklaşık olarak yarısı plato özelliği göstermektedir. Karla kaplı gün sayısının ortalama olarak 120'den fazla gerçekleşmesi ve meydana gelen don olayları, ilin iklim özellikleri arasında yer almaktadır (Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2020). Çalışma alanının iklimi gereği tarımsal faaliyetler yaz aylarında gerçekleştirilebilmektedir. Kars İli, merkez ilçesiyle beraber 8 ilçeden oluşmaktadır. İstasyon koordinatları ve bu koordinatların coğrafi karakteristikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Kars İli Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Kars İli'nin konumu Şekil 1'de gösterilmektedir. Çalışma alanı geneli yıllık ortalama sıcaklık dağılımları ise Şekil 2'de görülmektedir.

**Çizelge 1.** İstasyonların coğrafi karakteristikleri

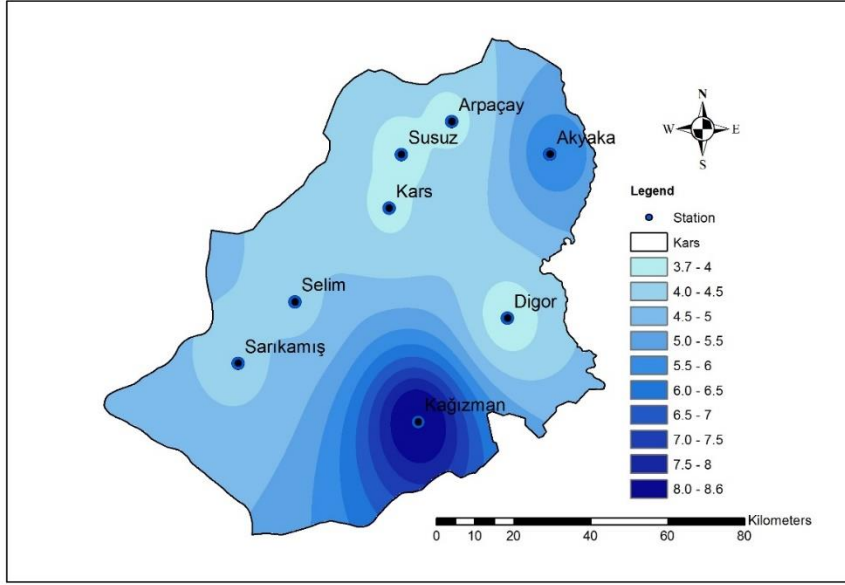
*Table 1. Geographical characteristics of stations*

İstasyon	No	Rakım (m)	Enlem(K)	Boylam(D)
Akyaka	18373	1495	40.7419	43.6167
Arpaçay	17656	1688	40.8431	43.3278
Digor	18374	1640	40.3717	43.4311
Kağızman	18198	1349	40.1533	43.1261
Kars	17097	1777	40.6042	43.1073
Sarıkamış	17692	2102	40.3329	42.5983
Selim	18197	1860	40.4625	42.7908
Susuz	18375	1730	40.7794	43.1625



**Şekil 1.** Kars İli lokasyon haritası

*Figure 1. The location map of Kars Province*



Şekil 2. Kars İli sıcaklık (°C) haritası

Figure 2. Temperature (°C) map of Kars province

#### THORNTWAITE YÖNTEMİ (Thornthwaite Method)

Bu çalışmada Kars İli için PET hesaplama yöntemi olarak, sıcaklığa dayalı Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır. Thornthwaite yöntemi, PET hesabında sadece aylık ortalama sıcaklık parametresine ihtiyaç duyan bir yöntemdir. Bu yöntem PET'in sıcaklığın 0 °C ve daha düşük sıcaklıklarda meydana gelmediğini varsayar. Analiz bölgesinde kış mevsiminde aylık ortalama hava sıcaklığı 0 °C ve altında seyrettiğinden bu aylardaki PET değerleri 0 olarak alınmıştır. Hesap adımları Denklem 1, Denklem 2, Denklem 3 ve Denklem 4'te verilmektedir.

$$PET = 16 \left[ \frac{10t}{J} \right]^a \quad (1)$$

$$J = \sum_{j=1}^{12} j \quad (2)$$

$$j = \left[ \frac{t}{5} \right]^{1.514} \quad (3)$$

$$a = 0.016J + 0.5 \quad (4)$$

Bu denklemlerde;

PET: Potansiyel evapotranspirasyon,

J: Isı İndeksi,

j: Aylık sıcaklık katsayısı (°C),

$\alpha$ : Katsayı,

t: Aylık ortalama sıcaklık (°C)

Elde edilen PET değerleri daha sonra K enlem düzeltme katsayısı ile çarpılarak düzeltilmiş PET değerleri elde edilir. K enlem düzeltme katsayısı enleme göre değişmektedir (Al-Sudani, 2019). K değerleri Tablo 2'de görülmektedir.

**Çizelge 2.** K enlem düzeltme katsayısı değerleri (Thornthwaite, 1948)*Table 2. K latitude correction coefficient values (Thornthwaite, 1948)*

ENLEM	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
60° K	0.54	0.67	0.97	1.19	1.33	1.56	1.55	1.33	1.07	0.84	0.58	0.48
50° K	0.71	0.84	0.98	1.14	1.28	1.36	1.33	1.21	1.06	0.9	0.76	0.68
40° K	0.8	0.89	0.99	1.1	1.2	1.25	1.23	1.15	1.04	0.93	0.83	0.78
30° K	0.87	0.93	1	1.7	1.14	1.17	1.16	1.11	1.03	0.96	0.89	0.85
20° K	0.92	0.96	1	1.05	1.09	1.11	1.1	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91
10° K	0.97	0.98	1	1.03	1.05	1.06	1.05	1.04	1.02	0.99	0.97	0.96
00° K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10° G	1.05	1.04	1.02	0.99	0.97	0.96	0.97	0.98	1	1.03	1.05	1.06
20° G	1.1	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91	0.92	0.96	1	1.05	1.09	1.11
30° G	1.16	1.11	1.03	0.94	0.89	0.85	0.87	0.93	1	1.07	1.14	1.17
40° G	1.23	1.15	1.04	0.93	0.83	0.78	0.8	0.98	0.99	1.1	1.2	1.25
50° G	1.33	1.19	1.05	0.98	0.75	0.68	0.7	0.82	0.97	1.13	1.27	1.36

### MANN-KENDALL TREND ANALİZİ VE SEN'İN EĞİM METODU (Mann-Kendall Trend Analysis and Sen's Slope Method)

Çalışmada kullanılan diğer yöntemler ise Mann-Kendall trend (gidiş) analizi ve Sen'in eğim metodudur. Mann-Kendall testi, sıfır hipotez olan  $H_0$ 'a karşı, zaman serisinde gelişigüzel kümelenmiş xi değerlerinin artan ya da azalan monotonik trendi olan  $H_1$ 'i sınamak için yapılır. Veriler zaman içerisinde sıralı olarak düzenlenir. Her gözlem değeri kendinden sonra gelmekte olan gözlem değeri ile mukayese edilir. Kıyaslamalar sonucunda Denklem 6'daki işaret fonksiyonunun değerleri bulunur ve S istatistiğinin değeri hesaplanır. Mann-Kendall (S) test istatistiği Denklem 5'teki gibi hesaplanır. Kendall'ın tau istatistiği olarak da adlandırılan bu test, hidro-meteorolojik zaman serilerinin trendlerinin tespit edilmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Büyükyıldız ve Berktaş, 2004).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (5)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{eğer } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{eğer } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{eğer } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (6)$$

$x_j$  ve  $x_k$ , j ve k yıllarında yer alan yıllık değerlerdir ( $j > k$ ), n: veri sayısı

$n > 10$  durumu varsa, S, ortalama ve varyans ile hemen hemen normal dağılır. Bu aşamada Z testi kullanılır. Denklem 7'deki gibi hesap edilir.

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (7)$$

(7) nolu denklemde q bağlı grupların sayısını,  $t_p$  ise p. gruptaki veri değerlerinin miktarıdır. Z Test istatistiği, S ve VAR(S) yardımıyla Denklem (8) ile elde edilir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{eğer } S > 0 \\ 0 & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

İstatistiksel olarak önemli seviyede bir trendin varlığı Z değerinin değerlendirilmesi ile elde edilir. Z'nin pozitif (negatif) değeri artan (azalan) trend olduğuna işaretler. Z istatistiği normal dağılım göstermektedir.

Bu araştırmada muhtemel olan gidişin (trendin) gerçek eğimini tahmin etmek için Sen'in parametrik olmayan metodundan (Sen, 1968) faydalanılmıştır. Veri hatalarından ve eksik verilerden etkilenmeyen bir yöntemdir. Sen'in metodu trendin lineer olduğu varsayıldığı durumlarda kullanılabilir.

Lineer yapı  $f(t)$ ,  $f(t) = Qt + B$  olarak yazılabilir. Q eğimi gösterir, B ise sabit değerdir. Q eğimini elde etmek için bütün veri kısımlarının eğimi hesaplanır (Denklem 9).

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (9)$$

$$i=1, 2, \dots, N, \quad j > k$$

N tane  $Q_i$  değeri bulunur. ( $N=n(n-1)/2$ , n: zaman periyodlarının sayısıdır (veri miktarı)). Bulunan değer küçükten büyüğe doğru sıralanır. N tane  $Q_i$  değerlerinin medyanı Sen'in eğim tahmin edicisidir ve N değerinin tek veya çift olmasına göre Denklem 10'daki gibi bulunur.

$$Q_{\text{medyan}} = \begin{cases} Q_{(N+1)/2} & (1) \\ \frac{1}{2}(Q_{\frac{N}{2}} + Q_{\frac{N+2}{2}}) & (2) \end{cases} \quad (10)$$

N değeri tek ise (1), çift ise (2) nolu denklemden faydalanılır. Hesaplamalar ve işlemler (Salmi ve diğ., 2002) tarafından oluşturulan MAKESENS adı verilen excel makrosu ile yapılmıştır. Bu çalışmada  $\alpha=0.10$  anlamlılık düzeyinde trend analizi gerçekleştirilmiştir.

#### Ters Mesafe Ağırlıklı İnterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighting (IDW))

Çalışma alanında PET değerlerinin alansal ve zamansal olarak değişiminin görülebilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yardımıyla görselleştirme yapılması tercih edilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemi tekniği son yıllarda, su yapılarının planlama aşamalarında ve havza modellemeleri gibi veri serilerinin yorumlandığı çok yönlü bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır (Güvel ve Yurtal, 2020).

PET değerlerinin alansal ve zamansal değişimini incelemek için, haritalandırmada en çok kullanılan Ters Mesafe Ağırlıklı İnterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighting (IDW)) kullanılmıştır. Bu yöntem birbirine yakın olan noktaların uzak olan noktalara göre daha çok benzediğini kabul eder. Ölçümü bulunmayan bir noktanın parametresini, o noktanın çevresindeki, ölçümü bulunan noktaları kullanarak tahmin etmeye çalışır. Ayrıca, ölçülen her noktanın yerel etkisinin mesafe ile azaldığını kabul eder. Noktaların ağırlıklı ortalamasına göre yüzeyel bir interpolasyon üretir. Bu çalışmada da olduğu gibi meteorolojik etmenlerin temsil edilmesinde kullanılır. Bu yöntemin kullanılabilmesi için yeterince noktaya sahip olunmalıdır. IDW, çeşitli bilimsel araştırmalarda, parametrelere ait konumsal ve zamansal değişimlerin araştırılmasında kullanılmıştır (Topçu, 2018).

IDW hesaplayıcısı için önemli olan p (power) parametresidir. Noktanın yakınındaki noktaların sayısı da sonucun doğruluğuna etki eder. IDW hesaplayıcısı Denklem 11'deki gibi bulunur.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (11)$$

Burada p (power) gözlem değerlerinin her birinin atanmış ağırlığını belirleyen üstür. d gözlem noktası ile tahmin noktası arasındaki mesafe, n toplam nokta sayısını gösterir. Bu çalışmada haritalandırmada ArcGIS paket programı (ESRI, 2012) kullanılmıştır.

### **BULGULAR VE TARTIŞMA (Findings and Discussion)**

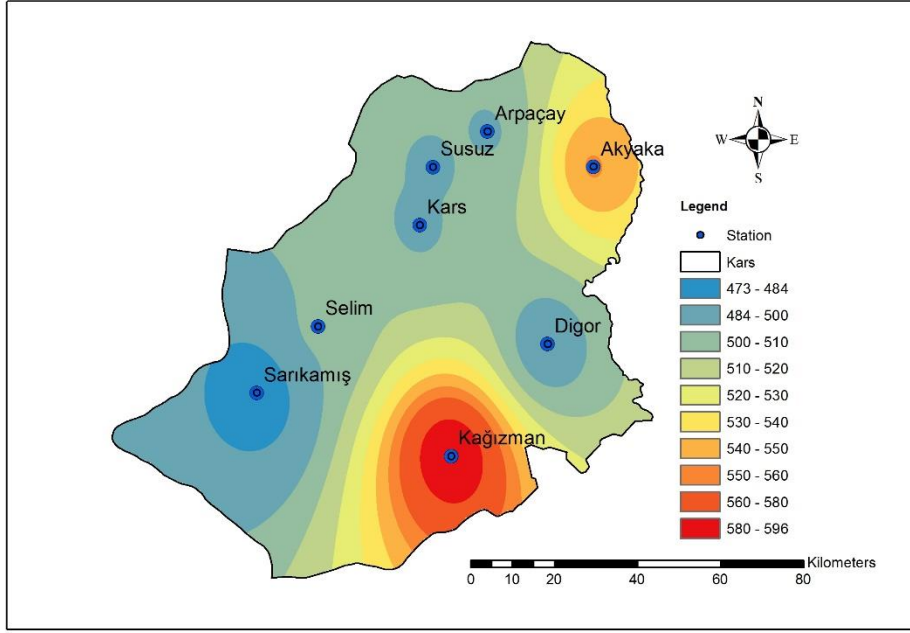
Bu çalışmada sıcaklık veri serileri hidrolojik yıl esas alınarak düzenlenmiştir. Hidrolojik yıl (su yılı) 1 Ekim'de başlayıp 30 Eylül'de bitmektedir. Çalışmada kullanılan zaman serileri 1960 ve 2016 hidrolojik yılları arasında hazırlanmıştır.

Çalışmada ilk olarak Thornthwaite metodu kullanılarak belirtilen her noktanın PET değerleri hesap edilmiştir. Şekil 3'te Kars İli genelindeki yıllık ortalama PET dağılım haritası görülmektedir.

Hidrolojik yıl ekseninde grafikler oluşturulmuştur. Her bir istasyon için elde edilmiş grafikler Şekil 4'de gösterilmiştir. Grafiklere bakılarak hangi hidrolojik yılda hangi PET değerinin gözlemlendiği elde edilebilir. Şekil 4'e göre bütün gözlemsel noktalarda en yüksek PET değerlerinin, özellikle 2008-2009 hidrolojik yılından sonra görüldüğü göze çarpmaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliğinin diğer istasyonlara nazaran daha düşük olması nedeniyle daha ılıman iklime sahip olan Kağızman istasyonunda PET değerleri en yüksek çıkmıştır. Şekil 4'e göre 1960-2016 hidrolojik yılları arasında, Akyaka, Arpaçay, Digor, Kağızman, Kars, Sarıkamış, Selim ve Susuz istasyonlarının maksimum PET değerleri sırasıyla 585.2 mm, 525.3 mm, 516.7 mm, 639.4 mm, 524.8 mm, 501.8 mm, 528.4 mm, 525.2 mm'dir. En düşük PET değerleri ise sırasıyla 516.8 mm, 470 mm, 460.8 mm, 560.9 mm, 469.5 mm, 447.8 mm, 472.9 mm, 469.9 mm'dir. Sonuçlara göre gözlemlenen yıllık en yüksek PET en düşük rakımlı istasyon olan Kağızman'da iken (560.9 mm), en düşük PET değeri Arpaçay (470 mm) istasyonundadır. Kars İli'nin konumu ve deniz seviyesinden yüksekliği itibarıyla kış aylarında, özellikle Aralık, Ocak ve Şubat aylarında aylık ortalama hava sıcaklığı 0 °C ve altında olduğundan dolayı PET değerleri "0" olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan aylık ortalama PET değerleri Tablo 3'te görülmektedir. Tablo 3'e göre aylık olarak en yüksek PET değeri Temmuz ayında 128.4 mm ile Kağızman istasyonundadır. Aylık en düşük PET değeri ise Mart ayında Arpaçay, Kars, Selim ve Susuz'da 0.2 mm, Nisan ayında ise Sarıkamışta 0.2 mm'dir. Kars İl genelinde en yüksek PET değerleri sıcaklığın en yüksek olduğu Temmuz ayında görülmüştür. Çalışma alanında aylık PET değerlerinin alansal değişiminin daha iyi görülebilmesi için haritalandırma tekniği kullanılmıştır. Şekil 5'te aylık PET değerlerinin haritaları yer almaktadır.

Akyaka, Arpaçay, Digor, Kağızman, Kars, Selim ve Susuz 2009-2010, Sarıkamış 2012-2013 hidrolojik yıllarında maksimum PET değerlerine ulaşmışlardır. Bu sonucun böyle olmasında bölgede belirtilen hidrolojik yıllarda meydana gelen yüksek sıcaklıklar neden olmuştur.

Bu çalışmada sıcaklık ve PET değerleri arasındaki matematiksel ilişkiyi belirleyebilmek için SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) paket programında bütün istasyonlar lineer olmayan regresyon analizine (nonlinear regression analysis) tabi tutulmuşlardır, Aralık, Ocak ve Şubat aylarındaki tüm istasyonların PET değerleri "0" olduğundan dolayı bu aylar regresyon analizinden çıkarılmıştır. Sonuçta her istasyonun PET ve sıcaklık değerleri arasında katsayıları ve değerleri değişen tek bir denklem elde edilmiştir. Sonuç denklemleri Tablo 4'de verilmektedir. Bu matematiksel ilişki sayesinde istenilen ayın ortalama sıcaklığı formülde girilerek PET değerleri elde edilebilir. Bu sonuçlara göre en yüksek  $R^2$  değeri Akyaka istasyonunda, en düşük  $R^2$  değeri ise Sarıkamış istasyonunda elde edilmiştir. Arpaçay ve Susuz istasyonlarında ise  $R^2$  değeri eşit çıkmıştır. PET değerleri ve regresyon analizi sonuçları arasındaki grafiksel ilişki Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 3. Kars İli yıllık ortalama PET (mm) haritası

Figure 3. Average mean PET (mm) map of Kars Province

Çizelge 3. İstasyonların aylık PET değerleri

Table 3. Monthly PET values of stations

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Akyaka	38.1	6.3	0.0	0.0	0.0	1.5	34.4	67.7	93.6	120.7	113.3	75.3
Arpaçay	34.8	2.3	0.0	0.0	0.0	0.2	28.1	61.9	86.0	110.5	104.8	70.1
Digor	33.8	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	24.3	59.2	85.0	111.2	105.5	69.9
Kağızman	48.4	11.4	0.4	0.0	0.0	4.8	42.4	65.3	92.3	128.4	121.9	81.5
Kars	34.9	2.4	0.0	0.0	0.0	0.2	28.1	61.8	85.9	110.4	104.7	70.1
Sarıkamış	65.3	31.2	3.7	0.0	0.0	0.0	0.2	29.2	61.1	87.0	103.3	92.5
Selim	36.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.2	25.9	60.8	86.0	111.2	106.0	71.1
Susuz	34.8	2.3	0.0	0.0	0.0	0.2	28.1	61.9	86.0	110.5	104.7	70.1

Çizelge 4. Sıcaklık ve PET ilişkisini açıklayan matematiksel ifadeler

Table 4. Mathematical expressions of the relationship between temperature and PET

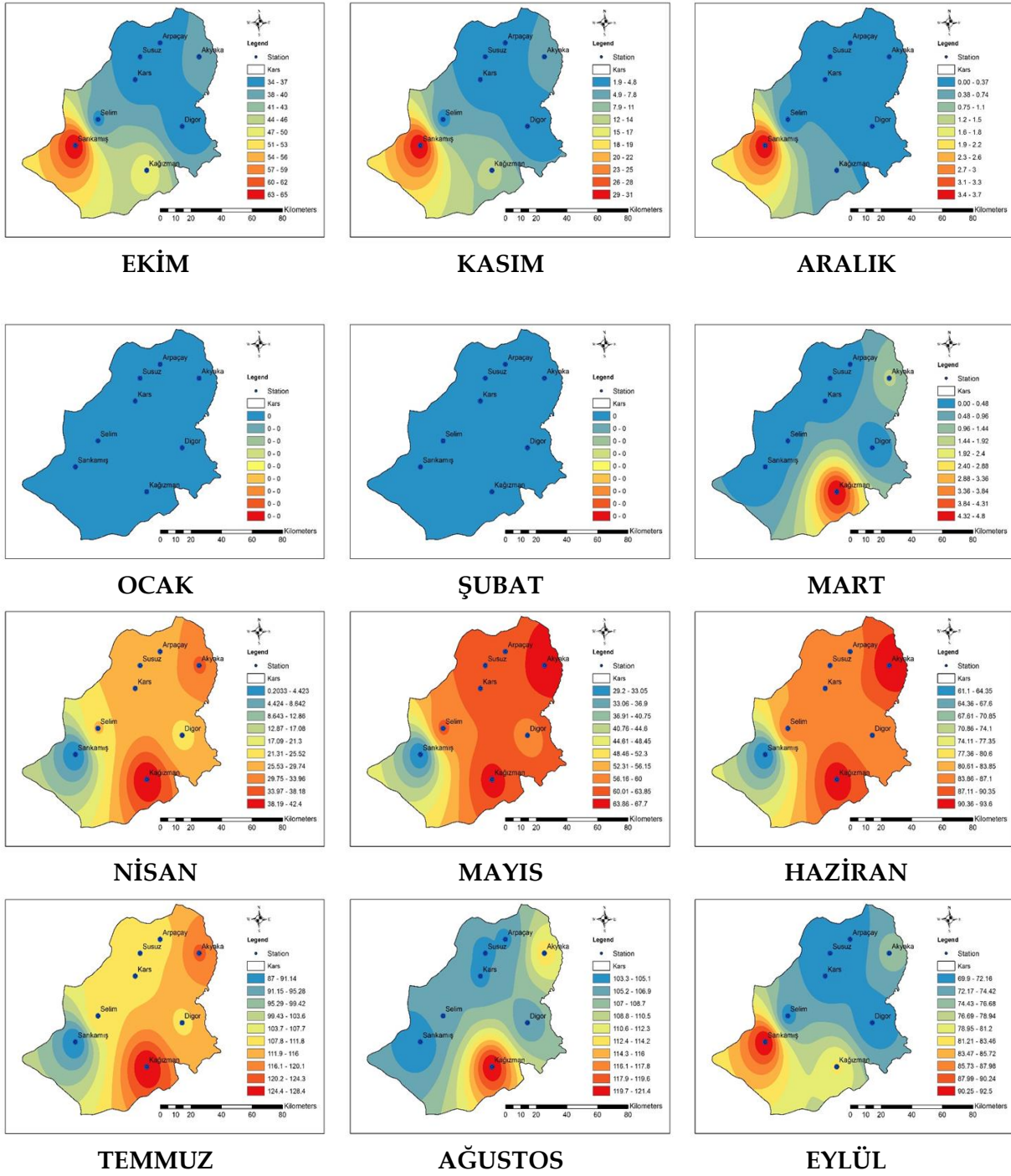
İSTASYON	DENKLEM	% R <sup>2</sup>
Akyaka	$3.827 * T^{1.157} - 0.035$	97.6
Arpaçay	$5.765 * T^{1.003} + 0.430$	96.7
Digor	$5.916 * T^{1.023} + 0.775$	97.0
Kağızman	$2.600 * T^{1.270} + 0.202$	97.5
Kars	$5.768 * T^{1.032} + 0.438$	96.8
Sarıkamış	$7.989 * T^{0.892} - 2.126$	92.9
Selim	$5.634 * T^{1.038} + 0.352$	97.1
Susuz	$5.765 * T^{1.033} + 0.432$	96.7



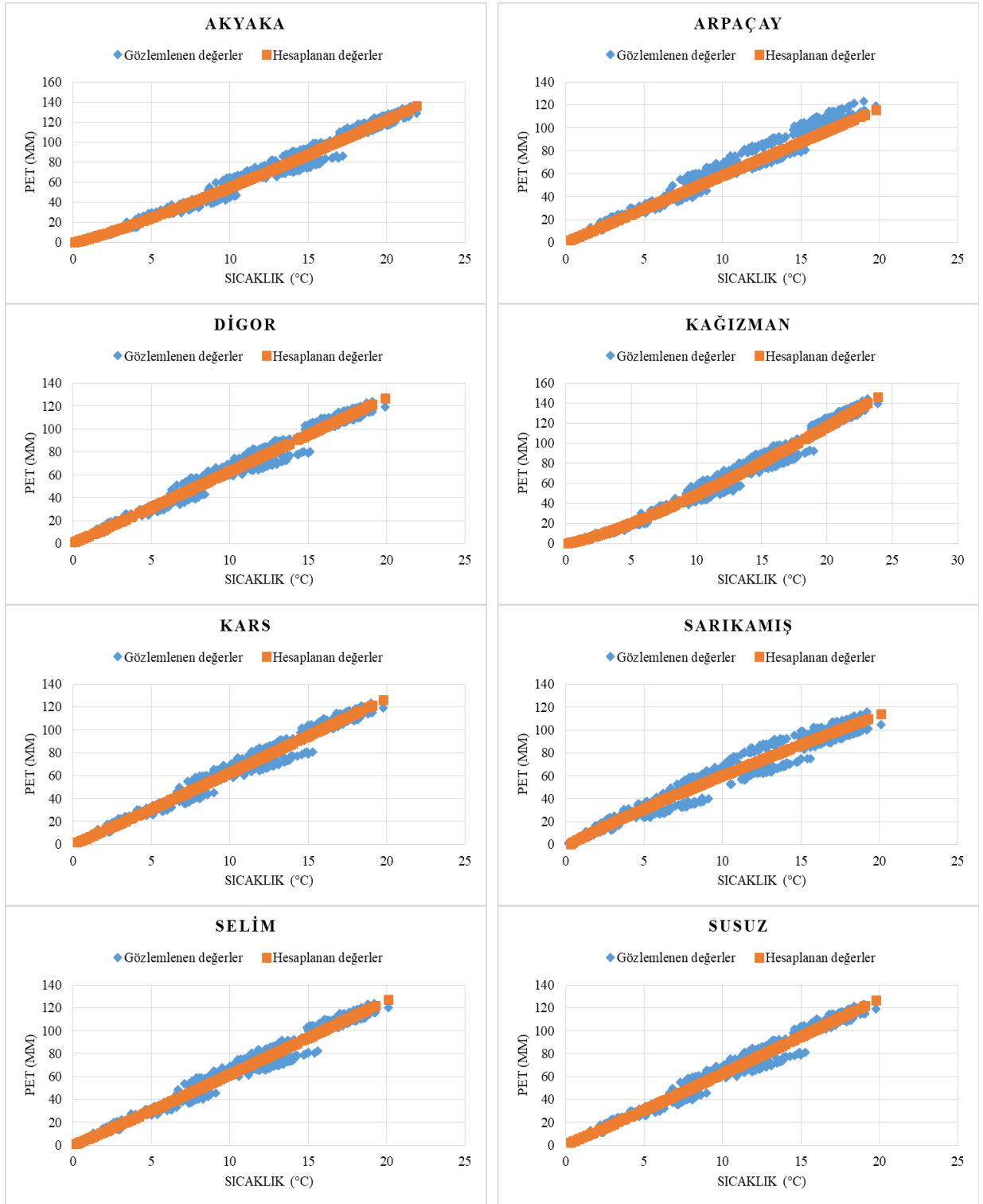


Şekil 4. İstasyonların hidrolojik yıllara göre PET değerlerinin değişimleri

Figure 4. Changes in PET values of stations according to hydrological years



Şekil 5. Kars İli aylık PET haritaları  
Figure 5. Monthly PET maps of Kars Province



Şekil 6. PET değerleri ve regresyon analizi sonuçları arasındaki grafiksel ilişki

Figure 6. Relation between PET values and regression analysis results

Tablo 5'te Kars İli istasyonlarının Mann-Kendall trend analizi sonuçları yer almaktadır. Tablo 5'te yer alan renk göstergesine göre elde edilen sonuçlar yorumlanabilir. Sonuçlara göre Kağızman istasyonunda Mart ayında istatistiksel anlamda önemli artış tespit edilmiştir. Diğer istasyonlara bakılacak olunursa, Sarıkamış istasyonu hariç geriye kalan istasyonlarda Haziran ve Ağustos aylarında istatistiksel anlamda önemli seviyede artış yakalanmıştır. Eylül ayında ise sadece Sarıkamış istasyonunda artış görülmektedir.

Ekim ve Temmuz aylarında ise tüm istasyonlarda istatistiksel anlamda önemli olmayan artış görülmektedir.

Mayıs ayında ise Sarıkamış istasyonu hariç istatistiksel anlamda önemli olmayan azalış tespit edilmiştir. Aralık ayında Sarıkamış istasyonunda önemsiz azalış görülürken, diğer istasyonların PET değerleri "0" olduğu için trend analizi gerçekleştirilememiştir. Ocak ve Şubat aylarında ise hiçbir istasyonda trend analizi yapılamamıştır. Mart ayında ise sadece Kağızman istasyonunda trend analizi gerçekleştirilebilmiştir. Yıllık PET değerlerinde istisnasız bütün istasyonlarda artış tespit edilmiştir. Tablo 6'da ise Sen'in eğim metodu sonuçları görülmektedir. Mart ayında Kağızman istasyonunda 0.39 mm/on yıl artış görülmüştür. Eylül ayında sadece Sarıkamış istasyonunda 1.47 mm/onyıl artış yaşanmıştır. Yıllık eğim sonuçlarına bakılırsa çalışma alanı genelinde ortalama 4.85 mm/onyıl gibi bir artış görülmüştür.

**Çizelge 5.** Mann-Kendall analizi test Z değerleri

*Table 5. Mann-Kendall analysis test Z values*

	AYLAR												YILLIK
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AKYAKA	1.42	-0.63					0.73	-0.49	2.07	1.39	3.26	1.60	3.58
ARPAÇAY	1.46						0.84	-0.63	1.84	1.15	3.40	1.62	3.54
DİĞOR	1.43						0.90	-0.52	1.76	1.10	3.37	1.45	3.33
KAĞIZMAN	1.43	-0.88				1.91	0.90	-0.52	1.76	1.10	3.37	1.45	3.33
KARS	1.46						0.84	-0.63	1.84	1.15	3.40	1.62	3.54
SARIKAMIŞ	1.42	1.35	-0.47					0.90	-0.35	1.56	1.01	3.36	3.30
SELİM	1.32	-0.42					1.00	-0.36	1.69	1.31	3.37	1.46	3.40
SUSUZ	1.46						0.84	-0.63	1.84	1.15	3.40	1.62	3.54
	Önemsiz artış												
	Önemsiz azalış												
	Önemli artış												
	PET=(0)												

**Çizelge 6.** İstasyonların Sen'in eğim metodu sonuçları

*Table 6. Sen's slope method results of stations*

	AYLAR												YILLIK
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AKYAKA	0.082	-0.029	×	×	×	×	0.055	-0.031	<b>0.120</b>	0.081	<b>0.188</b>	0.078	<b>0.547</b>
ARPAÇAY	0.079	×	×	×	×	×	0.054	-0.033	<b>0.095</b>	0.056	<b>0.165</b>	0.069	<b>0.490</b>
DİĞOR	0.083	×	×	×	×	×	0.073	-0.032	<b>0.090</b>	0.058	<b>0.167</b>	0.060	<b>0.465</b>
KAĞIZMAN	0.083	-0.035	×	×	×	<b>0.039</b>	0.073	-0.032	<b>0.090</b>	0.058	<b>0.167</b>	0.060	<b>0.464</b>
KARS	0.079	×	×	×	×	×	0.054	-0.033	<b>0.095</b>	0.056	<b>0.165</b>	0.069	<b>0.489</b>
SARIKAMIŞ	0.055	0.063	0.000	×	×	×	×	0.074	-0.023	0.078	0.046	<b>0.147</b>	<b>0.450</b>
SELİM	0.077	0.000	×	×	×	×	0.064	-0.023	<b>0.089</b>	0.063	<b>0.165</b>	0.061	<b>0.485</b>
SUSUZ	0.079	×	×	×	×	×	0.054	-0.033	<b>0.095</b>	0.056	<b>0.165</b>	0.069	<b>0.489</b>

Bu çalışmada kullanılan yöntemler ulusal ve uluslararası pek çok çalışmada da kullanılmıştır. Arslan, (2017) çalışmasında, Niğde İli'nde 1950 ve 2015 yılları arasında PET değerlerini hesaplamıştır. Trend analizi için ise Mann-Kendall Mertebeye Korelasyon (MKMK) testini kullanmıştır. Sonuçlara göre elde edilen trend değerleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Yine de bir artış trendi yakalanmıştır. Bacanlı ve Tanrikulu, (2017) çalışmalarında Ege bölgesinde bulunan 25 gözlem istasyonunun aylık buharlaşma verilerini kullanarak Mann-Kendall trend analizi gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak Kuşadası, Bornova, Gediz ve Bolvadin istasyonunda artan eğilim tespit etmişlerdir. Dinpashoh ve diğ., 2019 yılında

yayınladıkları çalışmada, batı ve kuzeybatı İran'da bulunan 36 istasyonun PET değerlerinin trendini Mann-Kendall trend analizi ile test etmişlerdir. Trendin eğim çizgisini ise Sen'in eğim yöntemiyle belirlemişlerdir. Sonuç olarak batı ve kuzeybatı İran'ın pek çok istasyonunda PET değerlerinde artan sonuçlar elde edilmiştir. Al-Sudani, (2019) çalışmasında Irak'ta bulunan 32 istasyonun Thornthwaite yöntemi ile elde edilmiş PET değerlerini analiz etmiştir. PET değerleri ve ortalama sıcaklık arasındaki matematiksel ilişkiyi yakalamaya çalışmıştır. Topçu (2019), çalışmasında Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan 13 ilin PET değerlerini Hamon metodu ile elde etmiştir. Thornthwaite tipi aylık su bilançosu analizi gerçekleştirmiştir; sonuç olarak su açığı en fazla olan il Malatya iken en az su açığına sahip olan il Bitlis olarak bulunmuştur. Kars İli'nin Thornthwaite tipi aylık su bilançosuna göre en yüksek PET değerlerinin Temmuz ayında görüldüğünü tespit etmiştir.

## SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Küresel iklim değişikliği, bir bölgeyi hangi iklim tipine sahip olursa olsun etkilemektedir. Kurak ya da sulak alan olsun fark etmez, dengesi bozulan hidrolojik çevrimin parametreleri sebebiyle, dünyanın her bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri hissedilmektedir. Türkiye yarı ılıman iklim kuşağındadır. Bölgelerin deniz seviyesinden yüksekliği, dağların uzanış yönü ve enlem etkisi gibi sebeplerle çok farklı iklim tipleri görülmektedir. Kars İli de hem enlem etkisi hem de rakımı dolayısıyla Türkiye'nin en soğuk bölümünde yer almaktadır. Bölgede çok şiddetli karasal iklim hâkimdir. Ancak küresel ısınma bu bölgeyi de etkilemektedir.

Bu çalışma Kars İli genelinde küresel ısınmanın izlerini sürmek amacıyla yapılmıştır. 8 farklı gözlem noktasının aylık sıcaklık ortalamaları kullanılmıştır. 1960 ve 2016 yılları arasındaki 56 hidrolojik yılın sıcaklık verileri Thornthwaite yöntemi yardımıyla PET değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Mann-Kendall trend analizi gerçekleştirilmiştir. Hidrolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan Mann-Kendall yöntemi, PET değerlerinin artma eğiliminde mi yoksa azalma eğiliminde mi olduğunun tespitinde kullanılmıştır. Sen'in yöntemi ise on yıllık süreçte PET değerlerinin değişimini incelemek üzere kullanılmıştır.

- Sonuçlara göre yıllık PET değerlerinde en yüksek artış 5.47 mm/onyıl ile Akyaka istasyonunda iken en az artış 4.50 mm/onyıl ile Sarıkamış istasyonundadır.
- Yıllık en yüksek PET değeri Kağızman İlçesi'nde görülürken (560.9 mm), en düşük PET değeri Arpaçay (470 mm) İlçesi'nde tespit edilmiştir.
- Aylık en yüksek PET değeri Temmuz ayında 128.4 mm ile Kağızman İlçesi'nde görülürken, aylık en düşük PET değeri Mart ayında, Kars merkez ve Arpaçay, Selim ve Susuz İlçeleri'nde 0.2 mm, Sarıkamış İlçesi'nde ise 0.2 mm ile Nisan ayında tespit edilmiştir. PET'in deniz seviyesinden yüksekliğe göre değiştiği söylenebilir. Rakımı daha düşük olan ilçelerde PET değeri daha yüksek çıkmıştır.
- Sıcaklık ve PET değerleri arasındaki matematiksel ilişki elde edilmiştir. Bu sayede elde bulunan sıcaklık değerine karşılık gelen PET değeri formül yardımıyla kolaylıkla hesaplanabilecektir.
- Sıcaklık ve PET ilişkisini açıklayan matematiksel ifadeler incelendiğinde en yüksek  $R^2$  Akyaka İlçesi'nde iken en düşük Sarıkamış İlçesi'ndedir.
- Elde edilen PET değerlerinin alansal yorumunu kolaylaştıracak görsel haritalandırmalar yapılmıştır.

Literatürde daha önce Kars İli ve ilçeleri için Thornthwaite PET hesaplama yöntemi esas alınarak iklim değişikliği çalışması yapılmamıştır. Çünkü bölge sıcaklıklarının kış aylarında 0°C ve altında olması nedeniyle bazı deneysel formüller kullanılamamaktadır.

Küresel sıcaklıktaki artış ve bölgeye olan yansımaları son yıllarda kendini iyice hissettirmektedir. Bu çalışma ile, PET değerleri göz önüne alınarak iklim değişikliğinin sonuçları irdelenmiştir.

Hidrolojik çevrimin en önemli parametrelerinden olan PET, iklim değişikliğinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Çalışmadan elde edilen veriler ışığında özellikle 2008-2009 hidrolojik yılından sonra, artan sıcaklıklara bağlı olarak PET değerleri yükselmiştir. Mann-Kendall ve Sen'in eğim metodu başarılı bir şekilde PET değerlerindeki artışı yakalamıştır. Çalışma periyodunun son yıllarındaki PET değerlerinin

artışı göze çarpmaktadır. Bu artış, aylık ortalama sıcaklıkların yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Yapılan bu çalışma bölgede küresel ısınmanın etkisini ortaya koymuştur. Kars İli için gelecek yıllarda su kaynakları yönetim faaliyetlerinde problem yaşanmaması için su kaynaklarının optimum düzeyde kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmanın değişen iklim koşulları için, su yönetimi çalışmalarına fikir vermesi beklenmektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Al-Sudani, Z. I. H., 2019, "Temperature – potential evapotranspiration relationship in Iraq using thornthwaite method", *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*, Cilt 27, Sayı 1.
- Arslan, O., 2017, "Niğde ili'ndeki potansiyel evapotranspirasyon tahminlerinin trend analizi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 6, Sayı 2, ss. 602-608.
- Bacanlı, G. Ü., Tanrikulu, A., 2017, "Ege bölgesinde buharlaşma verilerinin trend analizi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 17, Sayı 035403, ss. 980-987.
- Bağçacı, Ç. S., Şarлак, N., 2019, "Karaman ili potansiyel evapotranspirasyon tahmini", *Toprak Su Dergisi*, Özel Sayı: (1-8), 2019.
- Blaney, H. F., Criddle, W. D., 1950, "Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data", Soil Conservation Service Technical Paper 96, Soil Conservation Service. US Department of Agriculture, Washington.
- Büyükyıldız, M., Berktaş, A., 2004, "Parametrik olmayan testler kullanılarak Sakarya Havzası yağışlarının trend analizi", *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, Cilt 19, Sayı 2.
- Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2020, Kars İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu, Kars.
- Dinpashoh, Y. Jahanbakhsh-Asl, S. Rasouli, A. A. Foroughi, M., Singh, P. V., 2019, "Impact of climate change on potential evapotranspiration (case study: west and NW of Iran)", *Theoretical and Applied Climatology*, Cilt 136, ss. 185–201.
- Duhan, D. Singh D., Arya S., 2021, "Effect of projected climate change on potential evapotranspiration in the semiarid region of central India", *Journal of Water and Climate Change*, In press, doi: 10.2166/wcc.2020.168.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2012, A computer software to visualize, explore, query and analyze data spatially, ArcView GIS version 10.1. USA.
- Fooladmand, R. H., 2011, "Evaluation of Blaney-Criddle equation for estimating evapotranspiration in south of Iran", *African Journal of Agricultural Research*, Cilt 6, Sayı 13, ss. 3103-3109.
- Güvel, Ş. P., Yurtal, R., 2020, "Seyhan Baraj rezervuarında katı madde birikimi etkisinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 35, Sayı 2, ss. 1015 – 1026.
- Hargreaves, G. L., Samani, Z. A., 1985, "Reference crop evapotranspiration from temperature", *Applied Engineering in Agriculture*, Cilt 1, Sayı 2, ss. 96–99.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014, Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge.
- Kummu, M., Guillaume, J. H. A., Moel, H. De., Eisner, S., Flörke, M., Porkka, M., Siebert, S., Veldkamp, T. I. E., Ward, P. J., 2016. "The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability", *Scientific Reports*, Cilt 6, 38495.
- Liu, Q. Yan, C. Ju, H., Garré S., 2018, "Impact of climate change on potential evapotranspiration under a historical and future climate scenario in the Huang-Huai-Hai Plain, China", *Theor Appl Climatol*, Cilt 132, ss. 387–401.
- Penman, H., L., 1948, "Natural evaporation from open water, bare soil and grass", *Proceedings of the Royal Society of London Series A – Mathematical and Physical Sciences*, Cilt 193, Sayı 1032, ss. 120–145.
- Priestley, C. H. B., Taylor, R. J., 1972, "On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters.", *Monthly Weather Review*, Cilt 100, ss. 81–82.
- Salmi, T. Maata, A. Antilla, P. Ruoho-Airola, T., Amnell, T., 2002, "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.

- Sen, P. K., 1968, "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", *Journal of the American Statistical Association*, Cilt 63, ss. 1379-1389.
- Thornthwaite, C. W., 1948, "An approach toward a rational classification of climate", *Geographical Review*, Cilt 38, ss. 55-94.
- Topçu, E., 2018, *Doğu Akdeniz, Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzalarında Farklı Yöntemler Kullanılarak Kuraklık Analizi.*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Topçu, E., 2019, "Doğu Anadolu Bölgesi'nde Thornthwaite tipi aylık su bilançosu analizi", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 2, ss. 688-705.
- USGS (United States Geological Survey), [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/evapotranspiration-and-water-cycle?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/evapotranspiration-and-water-cycle?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects), ziyaret tarihi: 06.06.2021.