

Araştırma Makalesi

Göl Su Seviyeleri ve Yağış Serilerinde Eğilim Değişimlerinin İstatistiksel ve Grafikselsel Analizi

Taner Mustafa CENGİZ^{1*} 

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ, Türkiye, 59850

¹tcengiz@nku.edu.tr

Geliş: 12.06.2025

Kabul: 30.07.2025

DOI: 10.55581/ejeas.1718675

Öz. Zaman serilerindeki değişimleri analiz ederken, istatistiksel yöntemlerin varsayımlarını azaltmak ve sonuçların güvenilirliğini artırmak için grafikselsel ve istatistiksel yaklaşımların birlikte kullanılması etkili bir yöntem olabilir. Bu çalışmada, Yenilikçi Trend Analizinin (ITA) geliştirilmiş bir modeli olan Yenilikçi Trend Analizi Değişim Kutuları (ITA-CB) yöntemi, göl su seviyeleri ve göller üzerine düşen yağış verilerinin analizi için uygulanmıştır. ITA-CB yöntemi, araştırmacılara eğilimleri ayrıntılı şekilde belirleme ve verileri yorumlayıcı şekilde sınıflandırma imkânı sağlamaktadır. Analiz sonuçları, istatistiksel yöntemlerden biri olan Mann-Kendall (MK) testi ile tespit edilemeyen eğilimlerin, ITA-CB grafik yöntemi ile farklı veri aralıklarında daha hassas biçimde belirlenebildiğini göstermiştir. Özellikle verilerin yüksek değişkenlik gösterdiği durumlarda, bu çalışmada yağış verileri üzerinde ITA-CB yönteminin farklı gruplarda çeşitli eğilimleri daha duyarlı bir şekilde tespit edebildiği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Göl su seviyesi, Yağış Zaman Serisi, Eğilim Analizi, Yenilikçi Trend Analizi (ITA), Yenilikçi Trend Analizi Değişim Kutuları (ITA-CB)

Statistical and Graphical Analysis of Trend Changes in Lake Water Levels and Precipitation Series

Abstract: Integrating graphical and statistical approaches can be an effective method to reduce the assumptions required by statistical techniques and enhance the reliability of results in time series analysis. In this study, the Innovative Trend Analysis with Change Boxes (ITA-CB), an enhanced model of the Innovative Trend Analysis (ITA), was applied to analyze lake water levels and precipitation data. The ITA-CB method enables researchers to detect trends in detail and classify data interpretatively. The results demonstrated that trends undetected by the statistical Mann-Kendall (MK) test could be identified more precisely across different data intervals using the ITA-CB graphical method. Particularly under conditions of high data variability, the ITA-CB method proved capable of detecting diverse trends across different groups, especially in precipitation data, with greater sensitivity.

Keywords: Lake Water Level, Precipitation Time Series, Trend Analysis, Innovative Trend Analysis (ITA), Innovative Trend Analysis with Change Boxes (ITA-CB).

1. Giriş

Hidrolojik çevrim bileşenlerinde meydana gelen değişimlerin sosyo-ekonomik sonuçları göz önüne alındığında, zaman serilerindeki tarihsel değişimleri analiz etmek amacıyla çeşitli istatistiksel yöntemler geliştirilmiştir. Yağış, bir ülkenin su kaynaklarının mevcudiyetini belirleyen ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen temel bir hidroklimatolojik değişkendir [1]. Yağıştaki azalmalar ciddi su kıtlıklarına, kuraklıklara ve buna bağlı olarak mahsul veriminde ve gıda güvenliğinde düşüşlere yol açabilir [2,3]. Son yıllarda, küresel ısınmanın etkisiyle yağış

miktarındaki değişimler artmış ve bu değişimlerin iklim üzerindeki etkileri daha fazla incelenir hale gelmiştir [4–6]. Bu bağlamda, tarihsel yağış serilerindeki zamansal eğilimlerin analizi, bölgesel su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliğine uyum stratejileri için kritik bilgiler sunmaktadır [7,8]. Göl su seviyeleri, iklim değişkenlerindeki dalgalanmalara doğrudan tepki vermekte olup; iklim değişiklikleri, atmosferik sera gazı konsantrasyonlarındaki artışlar, insan faaliyetleri ve tektonik hareketler gibi faktörler bu değişimlerde etkili olmaktadır. Göl seviye değişimlerini ve yağış desenlerini analiz etmek için geliştirilmiş birçok istatistiksel

*Sorumlu yazar

E-mail adresi: tcengiz@nku.edu.tr (T. M. Cengiz)

yöntem bulunmakta olup, bazı yöntemler veri setlerine belirli kısıtlar getirmezken bazıları belirli varsayımlar gerektirmektedir [9]. Mann-Kendall (MK) testi, parametrik olmayan yapısı nedeniyle veri dağılımına duyarlı olmadan eğilimleri tespit edebilmekte ve aykırı değerlere karşı düşük duyarlılığı nedeniyle hidroklimatolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [10–12]. MK testi, özellikle uzun dönemli sıcaklık, yağış ve akım değişkenlerinde eğilim analizlerinde etkin bir araç olarak kullanılmıştır [13–16]. İklim parametrelerindeki değişimler geçmişte yavaş ilerlerken, son yıllarda bu değişimler hız kazanmıştır [17]. Bu değişimler, küresel ölçekte artan karbondioksit konsantrasyonları ile ilişkilendirilmektedir ve genel dolaşım modeli (GCM) çalışmalarına göre küresel sıcaklıklardaki artışın yağış miktarında bölgesel farklılıklara yol açabileceği öngörülmektedir [18]. Önceki araştırmalar, Amerika'nın Orta Batı bölgesinde ve Kanada havzalarında yağış ve akım eğilimlerinde anlamlı değişimler tespit etmiştir [19–27]. Türkiye'de de benzer şekilde, sıcaklık, yağış ve akım gibi değişkenlerde eğilim analizleri yapılmış ve son yıllarda grafiksel yöntemler de bu çalışmalara dahil edilmiştir. Yenilikçi Trend Analizi (ITA), zaman serilerini ikiye ayırarak ilk ve ikinci yarıdaki değişikliklerden eğilimleri grafiksel olarak belirleyebilen parametrik olmayan bir yöntem olarak Şen [30] tarafından geliştirilmiştir. ITA yöntemi, veri setinin uzunluğuna ve mevsimsel döngülere duyarlı yapısı sayesinde farklı uygulamalarda başarılı sonuçlar vermiştir. Kızılırmak Havzası'nda yapılan çalışmalar [31], Karadeniz Bölgesi'nde yağış eğilim analizleri [32] ve diğer hidroklimatolojik çalışmalarda [33–38], ITA yönteminin Mann-Kendall testine göre daha hassas eğilimler tespit edebildiğini göstermiştir. Son olarak, Alashan [39], ITA yöntemini değişim kutuları (Change Boxes) ile genişleterek geliştirmiş ve ITA-CB yönteminin düşük, orta ve yüksek veri gruplarındaki eğilimleri grafiksel olarak daha hassas bir şekilde ortaya koyabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada, tarihsel zaman serilerini analiz etmek amacıyla bağımsız yöntemlerin bireysel kullanımı yerine, grafiksel ve istatistiksel yaklaşımların birlikte değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, uzun dönemli rasat verilerine sahip Kuzey Amerika Büyük Göller Bölgesi'nde yer alan beş gölün (Superior, Michigan-Huron, St. Clair, Erie ve Ontario) yıllık ortalama su seviyesi ve göl üzerine düşen yıllık toplam yağış verileri hem MK testi hem de yeni önerilen ITA-CB yöntemi ile analiz edilmiş; sonuçlar karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Bölgesi

Kuzey Amerika'nın doğu-orta kısmında yer alan Büyük Göller, dünya tatlı su kaynaklarının yaklaşık %18'ini oluşturmaktadır. Yaklaşık 244.000 km² drenaj alanına ve 22.684 km³ su hacmine sahip olan bu göller, birbirine doğal ve yapay kanallarla bağlı beş büyük tatlı sudan oluşur. Superior, Michigan, Huron, Erie ve Ontario Gölleri, bölgeyi nemli bir ortam haline getirir. Bölge, düşük yağışlı ve geniş sıcaklık aralığına sahip karasal nemli bir iklim kuşağında yer almakta; yazları sıcak, kışları ise oldukça soğuk geçmektedir. Okyanusa yaklaştıkça Arktik hava akımları sıcaklıkları daha da düşürmektedir [20]. Bu çalışmada, Kuzey Amerika Büyük Göller Bölgesi'nde yer alan beş istasyondan (Superior, Michigan-Huron, St. Clair, Erie ve Ontario) 1900–2015 yıllarına ait yıllık ortalama göl su seviyeleri ve yıllık toplam

yağış verileri kullanılmıştır [40]. Göller üzerine düşen yağış miktarı, kıyı bölgeleri, yarımadalar ve adalardaki çok sayıda yağış istasyonu verileri kullanılarak Thiessen ağırlıklandırma yöntemiyle hesaplanmış ve belirli bir hata payı kabul edilmiştir [40]. İstasyonlar, 116 yıl süren eş zamanlı rasat kayıt uzunlukları dikkate alınarak seçilmiştir. Çalışma alanı Şekil 1'de, istasyonlara ait istatistiksel özet bilgiler Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmaktadır. Hidrolojik değişkenlerin rastlantısal yapıları nedeniyle, zaman serilerinde farklı dönemlerde artan veya azalan eğilimlerin belirlenebilmesi için uygun istatistiksel yöntemlerin kullanılması gereklidir [41]. Bu amaçla, istatistiksel eğilim testleri aracılığıyla "eğilim yoktur" hipotezi test edilmekte ve sonuçlar belirlenen anlamlılık düzeyine göre "kabul" veya "reddetme" şeklinde değerlendirilmektedir [42].



Şekil 1. Kuzey Amerika Göller Bölgesi [47]

Tablo 1. Kuzey Amerika Göller Bölgesi'ndeki göl su seviyelerinin istatistik değerleri.

İstasyon Adı	Göl Yüzey Alanı (km ²)	Yıl. Ort. Göl su Seviyesi (m)	Standart sapması (m)
Superior	82100	183,42	0,15
Mic.- H.	59600	176,46	0,35
St. Cl.	57750	175,03	0,32
Erie	25744	174,12	0,3
Ontario	18960	74,75	0,24

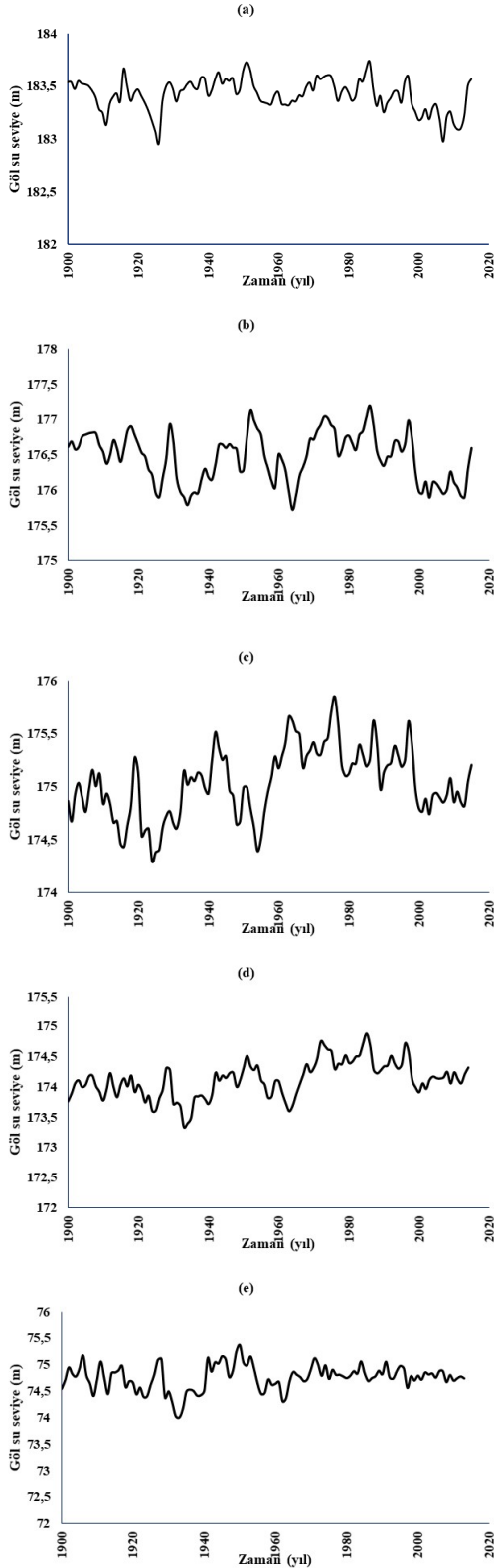
Tablo 2. Kuzey Amerika Göller Bölgesi'ndeki göller üzerine düşen yağışlarının istatistik değerleri.

İstasyon Adı	Göl Yüzey Alanı (km ²)	Yıl. Yağış Toplamı (cm)	Standart sapması (cm)
Superior	82100	75,06	9,15
Mic.- H.	59600	79,78	8,16
St. Cl.	57750	80,16	14,28
Erie	25744	86,86	12,97
Ontario	18960	84,42	9,61

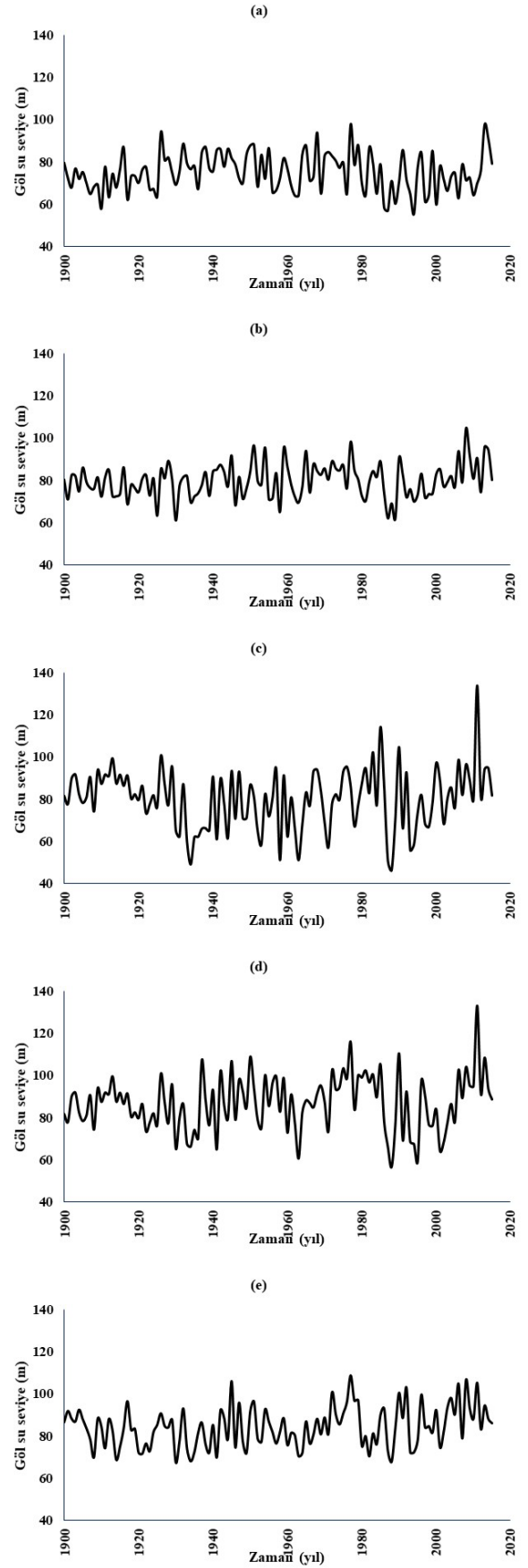
2.2. Mann-Kendall (MK) Eğilim Belirleme Yöntemi

Hidrolojik veri setlerinin eğilim analizinde yaygın olarak kullanılan Mann-Kendall (MK) testi, verilerin sayısal büyüklüklerinden çok sıralama düzenine dayanan parametrik olmayan bir yöntemdir [43]. Veri dağılımından bağımsız

olması, MK testini özellikle hidroklimatolojik çalışmalarda etkili bir araç haline getirmiştir [44]. Test, zamana göre sıralanmış X_1, X_2, X_n veri seti üzerinde uygulanır. MK testinin sıfır hipotezi (H_0), zaman serisinde herhangi bir eğilimin bulunmadığını ve gözlemlerin zamandan bağımsız olduğunu varsayar.



Şekil 2. Kuzey Amerika Göller Bölgesi'ndeki göl su seviyelerinin zaman serileri (a) Superior Gölü, (b) Michigan-Huron Gölü, (c) St. Clair Gölü, (d) Erie Gölü ve (e) Ontario Gölü.



Şekil 3. Kuzey Amerika Göller Bölgesi'ndeki göllerin üzerine düşen yağışların zaman serileri; (a) Superior Gölü, (b) Michigan-Huron Gölü, (c) St. Clair Gölü, (d) Erie Gölü ve (e) Ontario Gölü.

Alternatif hipotez (H_1) ise, $k \neq j$ ve $n \geq k, j$ olacak şekilde ardışık X_k ve X_j gözlemlerinin dağılımlarının benzer olmadığını, dolayısıyla seride doğrusal bir eğilim bulunduğunu öne sürer. MK test istatistiği, veri setinin dağılımından bağımsızdır ve aşağıdaki adımlarla hesaplanır. Burada X_i zaman serisine göre sıralanmış gözlem değerlerini temsil etmektedir.

$$S = \sum \text{Sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

burada, X_j ve X_k peş peşe gelen verilerdir; n gözlemlenen veri setinin uzunluğudur, ve

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (2)$$

Denklemler 1'deki test istatistiği S , $n \geq 10$ şartıyla teorik olasılık dağılımı normal dağılım kabulü için oldukça yerinde kabul edilebilir [45]. Böylece Z standart normal değişken değeri aşağıdaki formülle hesaplanarak kritik z değeri ile kıyaslanır:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & ; S > 0 \\ 0 & ; S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & ; S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Z_{MK} 'nin mutlak değeri, seçilen anlamlılık düzeyine karşılık gelen normal dağılımın kritik değeri ile karşılaştırılarak karar verilir. Elde edilen Z değeri kritik değerden küçükse, sıfır hipotezi (H_0) kabul edilir ve zaman serisinde anlamlı bir eğilim olmadığı sonucuna varılır. Aksi durumda sıfır hipotezi reddedilir ve seride anlamlı bir eğilim olduğu kabul edilir. Eğilim tespit edilmesi durumunda, S istatistiği pozitifse eğilim artan, negatifse azalan yöndedir [46].

2.3. ITA-CB Eğilim Belirleme Yöntemi

Yenilikçi Trend Analizi (ITA) yöntemi, herhangi bir parametrik varsayım gerektirmeden, zaman serisi verilerinin ilk ve ikinci yarıları arasındaki anlamlı farkları analiz ederek azalan veya artan eğilimleri belirleyebilen parametrik olmayan bir yöntemdir. Ayrıca, ITA yöntemi, zaman serilerindeki eğilim değişimlerini görsel olarak tespit etme imkânı sağlayan etkili bir yaklaşımdır. Eğer zaman serisinde tekdüze bir eğilim mevcutsa, verileri 'düşük', 'orta' ve 'yüksek' değer gruplarına ayırmaya gerek duyulmaz. Ancak, veri noktalarının 1:1 eğim hattı etrafında simetrik dağılmadığı; belirgin bir artan veya azalan eğilim gösterdiği durumlarda, verilerin daha hassas yorumlanabilmesi için düşük, orta ve yüksek değer gruplarına ayrılması önerilir. Bu gruplardaki eğilimler, birbirinden bağımsız olarak analiz edilir. Verilerin üç gruba ayrılması, çalışmanın amacına veya nesnel bir sınıflandırma kriterine göre yapılabilir. Gruplar, zaman serisinin ilk yarısının ortalama ($\bar{X}$) ve standart sapması (σ_X) esas alınarak belirlenir. Düşük,

orta ve yüksek değer aralıkları aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$X_{\text{Düşük}} \Rightarrow X < \bar{X} - \sigma_X \quad (4)$$

$X_{\text{Orta}} \Rightarrow \bar{X} - \sigma_X < X < \bar{X} + \sigma_X$	(5)
$X_{\text{Yüksek}} \Rightarrow X > \bar{X} + \sigma_X$	(6)

Burada, $\bar{X}$ ve σ_X , zaman serisinin ilk yarısının ortalama ve standart sapma değerlerini temsil etmektedir. Alashan [39], her grup için değişimleri sayısal olarak hesaplayabilmek amacıyla ITA yöntemine değişim kutuları (Change Boxes, CB) eklemiştir. Değişim yüzdeleri, zaman serisinin ikinci yarısındaki değerlerin ilk yarıdaki karşılıklarına oranlanmasıyla hesaplanır. Zaman serisinin artan düzene göre sıralanmış ilk yarı ($X_1, X_2, \dots, X_{n/2}$ ve ikinci yarı ($Y_1, Y_2, \dots, Y_{n/2}$) verileri kullanılarak, her bir eşleşme için değişim yüzdesi aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$\text{Change} = \left(\frac{Y_1 - X_1}{X_1} \right) \times 100 \quad (7)$$

Bu işlem tüm $n/2n$ veri çifti için tekrarlanır. Elde edilen değişim yüzdeleri, düşük, orta ve yüksek gruplar için ayrı ayrı minimum, ortalama ve maksimum değerler olarak özetlenir. Değişim değerleri, istatistikte yaygın olarak kullanılan kutu grafikleri ile görselleştirilir. Bu grafiklerde, x eksenini düşük, orta ve yüksek grupları, y eksenini ise değişim yüzdelerini gösterir. Her grup için minimum, ortalama (medyan) ve maksimum değişim yüzdeleri grafik üzerinde temsil edilir. Eğer medyan çizgisi minimum değere yakınsa eğilim negatif; maksimum değere yakınsa eğilim pozitif olarak yorumlanır. Ayrıca, medyan ile maksimum çizgi arasındaki fark küçükse eğilim kuvvetli bir artış, büyükse eğilim zayıf bir artış veya durağanlık göstermektedir. Bu grafiksel yöntem, değişimlerin detaylı ve kolay bir şekilde görselleştirilmesini ve yorumlanmasını sağlamaktadır [39].

3. Bulgular ve Tartışma

Kuzey Amerika Göller Bölgesi'nde yıllık ortalama göl su seviyeleri ile göller üzerine düşen yıllık toplam yağış verileri, parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) istatistiksel eğilim testi kullanılarak analiz edilmiştir. Göl su seviyelerine ilişkin %5 anlamlılık düzeyinde elde edilen sonuçlar Tablo 3'te sunulmaktadır. Analizlere göre, Superior Gölü'nde istatistiksel olarak anlamlı bir azalan eğilim belirlenmiş, St. Clair, Erie ve Ontario Gölleri'nde ise anlamlı artış eğilimleri tespit edilmiştir. Michigan-Huron Gölü'nde ise anlamlı bir eğilim saptanmamıştır. Göller üzerine düşen yıllık toplam yağış verilerine ilişkin MK analizi sonuçları ise Tablo 4'te özetlenmiştir. Bu sonuçlara göre, yalnızca Ontario Gölü'nde anlamlı bir artış eğilimi bulunmuş; diğer göllerde anlamlı bir değişim tespit edilememiştir.

Tablo 3. Kuzey Amerika Göller Bölgesi'nde göl su seviyelerinin eğilim analiz sonuçları.

Göl	S Değeri	Z	$Z_{\alpha=0,05}$	Test Sonucu $\alpha=0,05$
Sup.	-1025	-2,45	1,96	Az. eğilim
Mic-H.	-721	-1,72	1,96	Eğilim yok
St. Cl.	1593	3,80	1,96	Art. eğilim
Erie	2137	5,10	1,96	Art. eğilim
Ont.	752	1,97	1,96	Art. eğilim

Tablo 4. Kuzey Amerika Göller Bölgesi'nde göl üzerine düşen yağışların eğilim analiz sonuçları.

Göl	S Değeri	Z	Z $\alpha=0,05$	Test Sonucu $\alpha=0,05$
Sup.	17	0,04	1,96	Eğ. Yok
Mic.-H.	718	1,71	1,96	Eğ. Yok
St. Cl.	78	0,19	1,96	Eğ. Yok
Erie	579	1,38	1,96	Eğ. Yok
Ont.	1050	2,50	1,96	Art. eğilim

Bu çalışmada ayrıca, grafik tabanlı bir eğilim belirleme yöntemi olan ITA-CB, hem göl su seviyeleri hem de yağış verileri üzerinde uygulanmıştır. Metodoloji bölümünde açıklanan prosedür doğrultusunda her bir istasyon için düşük, orta ve yüksek gruplara ayrılan veriler kullanılarak kutu grafikler oluşturulmuştur. Her grup için minimum, ortalama (medyan) ve maksimum değişim yüzdeleri hesaplanmış ve karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Alashan [32] tarafından önerilen ITA-CB yöntemi ile elde edilen kutu grafik sonuçları, düşük, orta ve tüm gruplara ait değişim oranlarını göstermektedir. Bu sonuçlar Tablo 5 ve Tablo 6'da sunulmuştur.

Göl su seviyeleri ve yağış verileri üzerinde yapılan analizler, klasik MK testi ile ITA-CB yöntemi arasında genel bir uyum olduğunu göstermektedir. MK ile tespit edilen artış ve azalış eğilimleri, ITA-CB yöntemi ile de büyük oranda paralellik arz etmektedir. Ancak bazı durumlarda, özellikle göl su seviyelerinde, iki yöntem arasında farklılıklar gözlenmiştir. Yağış verilerinde ise tespit edilen artış eğilimleri, her iki yöntem tarafından da tutarlı bir şekilde belirlenmiştir. Ontario Gölü'nde gözlemlenen artış eğilimi, hem MK hem de ITA-CB analizleri ile desteklenmiştir. Her iki yöntemde de istatistiksel olarak anlamlı bulunmayan eğilimlerin benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Superior Gölü'nde ITA-CB kutu grafikleri, düşük, yüksek ve tüm gruplarda sırasıyla $-0,02$, $-0,01$ ve $-0,03$ oranlarında sınırlı azalan eğilimler göstermektedir (Şekil 4). Değişim aralıkları tüm gruplarda $-0,05$ ile $-0,11$ arasında bulunmuştur. Michigan-Huron Gölü'nde düşük ve tüm gruplarda hafif azalan eğilimler ($-0,03$ ve $-0,02$) tespit edilirken, yüksek grupta $0,05$ oranında artış eğilimi kaydedilmiştir.

Erie Gölü'nde düşük düzeyde artış eğilimleri ($0,13$, $0,21$ ve $0,16$), St. Clair Gölü'nde ise tüm gruplarda benzer şekilde

$0,23$, $0,21$ ve $0,21$ oranlarında artışlar gözlenmiştir. Ontario Gölü su seviyelerinde düşük ve tüm gruplarda artış ($0,23$ ve $0,06$), yüksek grupta ise $-0,23$ oranında azalan eğilim tespit edilmiştir. Tüm bu bulgular Tablo 5'te ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

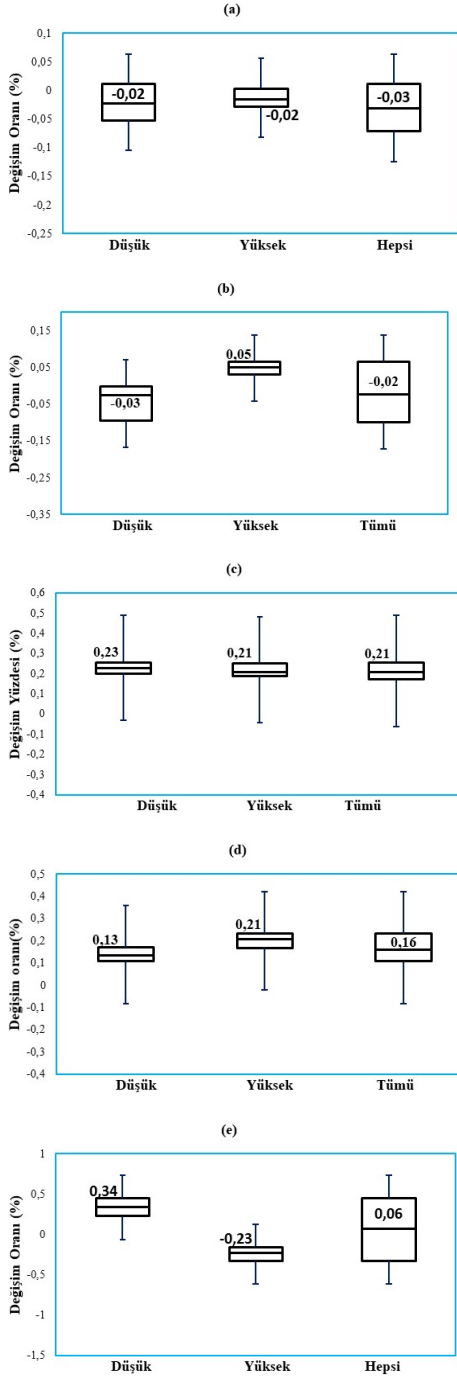
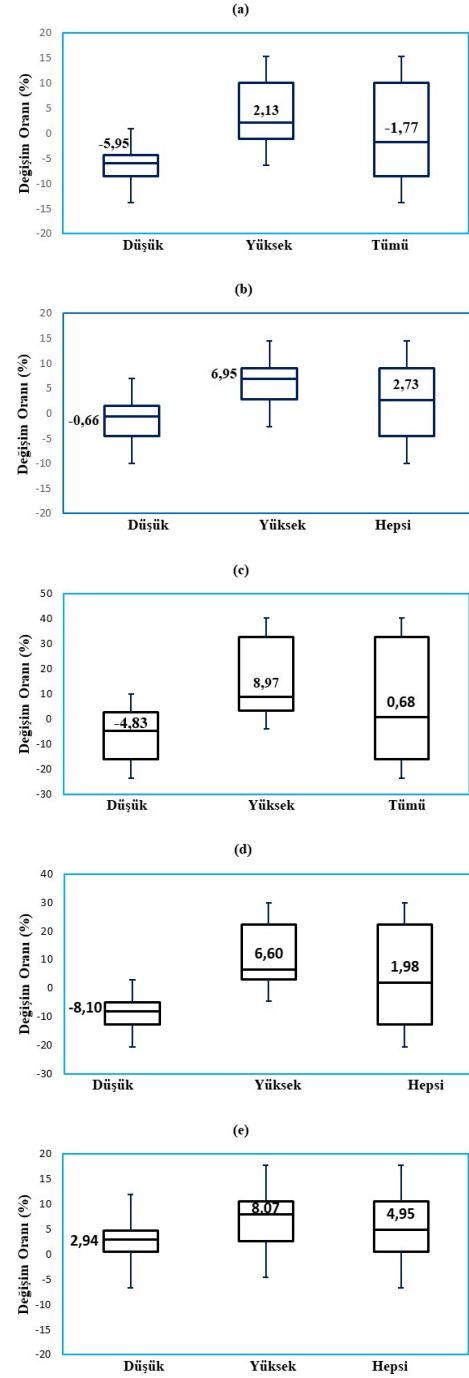
Yağış verileri incelendiğinde, göl su seviyelerine kıyasla daha büyük değişkenlik ve daha belirgin eğilimler tespit edilmiştir. Superior Gölü yağışlarında düşük ve tüm gruplarda sırasıyla $-5,95$ ve $-1,77$ oranlarında azalan eğilimler belirlenmiş, yüksek grupta ise $2,13$ oranında artış eğilimi gözlenmiştir. Değişim aralıkları $-8,51$ ile $10,12$ arasında geniş bir varyasyon göstermektedir. Michigan-Huron Gölü yağışlarında yüksek ve tüm gruplarda $6,95$ ve $2,73$ oranlarında artış, düşük grupta ise $-0,66$ oranında hafif azalış eğilimi tespit edilmiştir. St. Clair Gölü'nde, yüksek ve tüm gruplarda sırasıyla $8,97$ ve $0,68$ artış eğilimleri bulunurken, düşük grupta $-4,83$ oranında azalan eğilim belirlenmiştir. Erie Gölü yağış serilerinde yüksek ve tüm gruplarda $6,60$ ve $1,98$ oranlarında artış eğilimleri gözlenmiş, düşük grupta ise $-8,10$ oranında bir azalma kaydedilmiştir. Ontario Gölü'nde ise düşük, yüksek ve tüm gruplarda sırasıyla $2,94$, $8,07$ ve $4,95$ oranlarında artış eğilimleri belirlenmiş; değişim aralıklarının $0,48$ ile $10,62$ arasında olduğu bulunmuştur. Görsel analizler, yüksek gruptaki artış eğilimlerinin tüm grup ortalamalarına kıyasla daha güçlü artışlar sergilediğini göstermektedir (Şekil 5). Ek olarak, standart sapması yüksek olan veri setlerinde ITA-CB yöntemi ile düşük ve yüksek gruplar arasında belirgin eğilim farklılıkları tespit edilmiştir. Özellikle yağış verilerinde, göl su seviyelerine kıyasla daha yüksek varyans gözlemlenmiştir. Örneğin, St. Clair Gölü'ne ilişkin yağış verilerinde yüksek standart sapmalar nedeniyle düşük ve yüksek gruplarda farklı eğilim değişimleri kaydedilmiştir.

Tablo 5. ITA-CB Kullanılan tüm istasyonlardaki yıllık göl su seviye eğilimleri ve değişim oranları (her grup için minimum, ortalama ve maksimum yüzde değişiklikleri gösterilmektedir).

İstasyon Adı	Düşük Grup			Yüksek Grup			Tüm Grup		
	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.
Superior	0,05	0,02	0,01	0,03	0,02	0	0,07	0,03	0,01
Mic.- H.	0,1	0,03	0	0,03	0,05	0,07	0,1	0,02	0,07
St. Cl.	0,2	0,23	0,26	0,19	0,21	0,25	0,17	0,21	0,26
Erie	0,11	0,13	0,17	0,17	0,21	0,23	0,11	0,16	0,23
Ontario	0,23	0,34	0,45	0,33	0,23	-0,16	0,33	0,07	0,45

Tablo 6. ITA-CB Kullanılan tüm istasyonlardaki yıllık yağış eğilimleri ve değişim oranları (her grup için minimum, ortalama ve maksimum yüzde değişiklikleri gösterilmektedir).

İstasyon Adı	Düşük Grup			Yüksek Grup			Tüm Grup		
	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.	Min	Ort.	Maks.
Superior	-8,51	5,95	-4,25	1,07	2,13	10,12	-8,51	1,77	10,12
Mic.- H.	-4,55	0,66	1,54	2,8	6,95	9,11	-4,55	2,71	9,11
St. Cl.	16,12	4,83	2,63	3,36	8,97	32,93	-16,12	0,68	32,93
Erie	12,81	8,1	-4,87	3,16	6,6	22,23	-12,81	1,98	22,23
Ontario	0,48	2,94	4,71	2,59	8,07	10,62	0,48	4,95	10,62

**Şekil 4.** Göl su seviyelerinin ITA-CB kutu grafikleri; (a) Superior Gölü, (b) Michigan-Huron Gölü, (c) St. Clair Gölü, (d) Erie Gölü ve (e) Ontario Gölü.**Şekil 5.** Yağış verilerinin ITA-CB kutu grafikleri; (a) Superior Gölü, (b) Michigan-Huron Gölü, (c) St. Clair Gölü, (d) Erie Gölü ve (e) Ontario Gölü.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Kuzey Amerika Büyük Göller Bölgesi'nde yer alan Superior, Michigan-Huron, St. Clair, Erie ve Ontario Gölleri'nin yıllık ortalama su seviyeleri ile bu göller üzerine düşen yıllık toplam yağış verileri kullanılarak eğilim analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde hem grafik tabanlı ITA-CB yöntemi hem de parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) istatistiksel eğilim testi uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlar, göl su seviyelerinde genel olarak artış eğilimlerinin baskın olduğunu, buna karşın yağış verilerinde belirgin bir hakim eğilim bulunmadığını göstermektedir. Göl su seviyeleri ile yağış eğilimleri arasında tam bir uyum sağlanamaması, çalışma alanının geniş yüzölçümü, göllerin birbirine bağlı yapısı ve hidrolojik değişkenlerin doğrusal olmayan tepkileri göz önüne alındığında, beklenen bir durumdur.

Bölgedeki önceki araştırmalarla karşılaştırıldığında, göl su seviyelerine ilişkin eğilimlerin literatürdeki sonuçlarla büyük ölçüde uyumlu olduğu; ancak kara üzerindeki yağış eğilimleri ile bu çalışmada göller üzerine düşen yağış verileri arasında farklılıklar bulunduğu görülmüştür. Özellikle, bazı çalışmalarda kara üzeri yağışlarda istatistiksel olarak anlamlı artışlar raporlanırken (28, 48), bu çalışmada göl üzerine düşen yağış verilerinde böyle bir artış eğilimi tespit edilmemiştir.

MK testi ve ITA-CB yöntemi, zaman serilerindeki eğilim analizinde birbirini tamamlayan araçlardır. MK testi genel eğilim yönünü istatistiksel olarak belirlerken, ITA-CB farklı veri seviyelerinde eğilimleri grafiksel ve ayrıntılı biçimde sunar. Bu iki yöntemin birlikte kullanımı, zaman serilerindeki eğilimlerin daha kapsamlı ve derinlemesine anlaşılmasını sağlamaktadır. Grafiksel (ITA-CB) ve istatistiksel (MK) yöntemlerin karşılaştırılması sonucunda, iki yöntem arasında genel bir tutarlılık bulunmuş; ancak bazı durumlarda farklılıklar da ortaya çıkmıştır. ITA-CB yöntemi, özellikle veri setinde klasik istatistiksel yöntemlerle tespit edilemeyen gizli eğilimlerin belirlenmesinde etkili olmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışma, hidrolojik değişkenlerin eğilim analizinde grafik tabanlı yöntemlerin, geleneksel istatistiksel yaklaşımlara anlamlı bir tamamlayıcı katkı sağladığını ortaya koymaktadır. ITA-CB yöntemi aracılığıyla, özellikle zaman serisinin düşük ve yüksek değer aralıklarında gözlemlenen eğilimlerin daha hassas bir biçimde belirlenebildiği gösterilmiş; böylece eğilim tespitinde daha ayrıntılı ve katmanlı bilgiler elde edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Teşekkür

Bu makalenin oluşmasında yardımcıları bulunan Lacey Mason - NOAA Federal'e teşekkür ederim.

Kaynaklar

[1] Akinsanola, A.A., Ogunjobi, K.O., "Recent homogeneity analysis and long-term spatio-temporal rainfall trends in Nigeria," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 128, no.1-2, pp. 275-289, 2017.

[2] Pendergrass, A. G., R. Knutti, F. Lehner, C. Deser, and B. M. Sanderson, "Precipitation variability increases in a warmer climate," *Scientific Reports*, vol. 7, 17966, 2017.

[3] Mathbout, S., Lopez-Bustins, J. A., Martin-Vide, J., Bech, J., Rodrigo, F.S. "Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961–2012," *Atmospheric Research*, vol. 200, pp.153-168, 2018.

[4] Tabari, H., Willems, P. "More prolonged droughts by the end of the century in the Middle East," *Environmental Research Letters*, vol.13, no. 10, pp. 104005, 2018.

[5] Vicente-Serrano, S. M., "Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula," *Water Resources Management*, vol. 20. no. 1, pp. 37-60, 2006.

[6] Doblas-Miranda, E., et al., "Reassessing global change research priorities in Mediterranean terrestrial ecosystems: how far have we come and where do we go from here?," *Global Ecological and Biogeography*. vol. 24, no.1, pp. 25–43, 2015.

[7] Nashwan, M.S., Shahid, S., Wang, X., "Uncertainty in estimated trends using gridded rainfall data: A case study of Bangladesh," *Water*, vol.11, no. 2, pp. 349, 2019.

[8] Pandey, B. K., Khare, D., "Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada river basin (India). *Global Planet Change*, vol.161, pp. 172-182, 2018.

[9] Tabari, H., "Statistical analysis and stochastic modelling of hydrological extremes," *Water*, vol. 11, pp. 1861, 2019.

[10] Onyutha, C., "Identification of sub-trends from hydro-meteorological series," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 30, pp.189–205, 2016.

[11] Onyutha, C., "Statistical analyses of potential evapotranspiration changes over the period 1930–2012 in the Nile River riparian countries," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 80. no. 95, 2016.

[12] Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P., "Temporal variability of precipitation over Iran: 1966-2005," *Journal of Hydrology*, vol.396, pp.313–320, 2011.

[13] Westra, S., Alexander, L.V., Zwiers, F.W., "Global increasing trends in annual maximum daily precipitation," *Journal Climate*, vol.26. no.11, pp. 3904-3918, 2013.

[14] Karandish, F., Mousavi, S.S., Tabari, H., "Climate change impact on precipitation and cardinal temperatures in different climatic zones in Iran: Analyzing the probable effects on cereal water-use efficiency," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 31, no. 8, pp. 2121–2146, 2017.

[15] Shiru, M.S., Shahid, S., Chung, E.S. and Alias, N., "Changing characteristics of meteorological droughts in Nigeria during 1901–2010," *Atmospheric Research*, vol. 223, pp. 60-73, 2019.

[16] Dudley, R. W., Hirsch, R. M., Archfield, S. A., Blum, A. G., Renard, B., "Low streamflow trends at human-impacted and reference basins in the United States," *Journal of Hydrology*, vol. 580, pp. 124254, 2019.

- [17] Simons, D. B. ve Şentürk, F., "Sediment transport technology water and sediment dynamics", Water Resources Publications, 1992.
- [18] Bloomfield, P., "Trends in Global Temperatures," *Clim. Change*, vol.21, pp.1-16, 1992.
- [19] Pilon, A. J., Winkler, T., Harvey, K. D., Kimmet, D.R., "Hydrometric data in support of climatic change studies in Canada. Presented at NATO Advanced Research Workshop on Opportunities for Hydrological Data in Support of Climate Change Studies," Lahnstein, Germany, pp. 26-30, 1991.
- [20] Anderson, J. E., S.Y., Harvey, K. D., "Preliminary investigation of trend/pattern in surface water characteristics and climate variations," In Kite, G.W., Harvey, K. D.(Eds.). *Using Hydrometric Data to Detect and Monitor Climatic Change Proceedings*, pp. 987-998, 1992.
- [21] Burn, D. H., Soulis, E. D., "The use of hydrologic variables in detecting climatic change: possibilities for single station and regional analysis," In Kite, G.W., Harvey, K.D.(Eds.). *Using Hydrometric Data to Detect and Monitor Climatic Change Proceedings of NHRI Workshop No.8 National Hydrology Research Institute, Saskatoon, SK*, pp. 121-130, 1992.
- [22] Hirsch, R.M., Slack, J.R., Smith, R.A., "Techniques of trend analysis for monthly water quality data," *Water Resources Research*, vol.18, pp. 107-121, 1982.
- [23] Lettenmair, D.P., Wood, E. F. and Wallis, J.R., "Hydro-Climatological Trends In The Continental United States," *Journal Climate*, vol.7, pp. 586-607, 1994.
- [24] Changnon and Kunkel, "Climate-Related Fluctuation in Midwestern Floods During 1921-198," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol.121, no. 4, 1995.
- [25] Douglas, E.M., Vogel, R.M., C.N. Kroll, "Trends in Floods and Low Flows in The United States: Impact of Spatial Correlation," *Journal of Hydrology*, vol. 240, pp. 90-115, 2000.
- [26] Zhang, R. Brown, L. Vincent, W. Skinner, Y. Feng and E. Mekis, "Canadian climate trends, 1950-2007. Canadian Biodiversity: Ecosystem Status and Trends," *Technical Thematic Report Series*, no. 5, 2010.
- [27] Donald H. Burn and Mohamed A. Hag., "Detection of Hydrologic trends and variability," *Journal of Hydrology*, vol. 255, pp.107-122, 2002.
- [28] Mc Bean and Motiee, "Assessment of impact of climate change on water resources. A long term analysis of the Great Lakes of North America," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 12, pp. 239-255, 2008.
- [29] Karmeshu N., "Trend Detection in Annual Temperature and Precipitation using the Mann Kendall Test – A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States," M.S. thesis University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA, 2012.
- [30] Şen, Z., "Innovative trend analysis methodology," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol.17. no. 9, pp.1042-1046, 2012.
- [31] Ay M. ve Kişi Ö., "Kızılırmak Nehrinde Bazı İstasyonlardaki Akımların Trend Analizi," *Teknik Dergi*, c.18, s. 137, ss. 7779-7794, 2017.
- [32] Tokgöz S. ve Partal T. "Karadeniz Bölgesinde Yıllık Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Yenilikçi Şen ve Mann-Kendall Yöntemleri ile Trend Analizi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.10, s. 2, ss.1107-1118, 2020.
- [33] Sonali, P., & Kumar, D. N., "Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India," *Journal of Hydrology*, vol. 476, pp. 212-227, 2013.
- [34] Markus, M., Demissie, M., Short, M. B., Verma, S., & Cooke, R. A., "Sensitivity analysis of annual nitrate loads and the corresponding trends in the lower Illinois River," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol.19, no.3, pp.533-543, 2013.
- [35] Şen, Z., "Trend identification simulation and application," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol.19. no.3, pp. 635-642, 2014.
- [36] Mishra, A. K., & Coulibaly, P., "Variability in Canadian seasonal streamflow information and its implication for hydrometric network design," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 19, no.8, 2014.
- [37] Saphioğlu, K., Kilit, M., & Yavuz, B. K., "Trend analysis of streams in the western Mediterranean basin of Turkey," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 23, no. 1a., 2014.
- [38] Güçlü, Y. S., "Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test," *Journal of Hydrology*, vol.566, pp. 685-704, 2018.
- [39] Alashan S., "An Improved Version of Innovative Trend Analyses," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 11, pp. 1-6, 2018.
- [40] [lre.usace.army.mil](https://www.lre.usace.army.mil/Missions/Great-Lakes-Information/great) (2019, May 11) [Online] Available: <https://www.lre.usace.army.mil/Missions/Great-Lakes-Information/great>.
- [41] Hirsch, R.M, J.R. Slack, and R.A. Smith., "Techniques of trend analysis for monthly water quality data," *Water Resour. Res.*, vol. 18, pp. 107-121, 1982.
- [42] Bayazit, M., Cıgızoğlu, H. K. ve Önöz, B., "Türkiye Akarsularında Trend Analizi," *Türkiye Mühendislik Haberleri*, s. 422, ss. 8-10, 2002.
- [43] Yu Y.S., Zou, S. ve Whittemore, D., "Non parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas," *Journal of Hydrology*, vol.150, pp. 61-80, 1993.
- [44] Hirsch, R. M., Slack, J. R. ve Smith, R. A., "Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data," *Water Resources Research*, vol.18, pp. 107-121, 1982.
- [45] Burn, D.H. and Elnur, M.A.H., "Detection of Hydrological Trends and Variability," *Journal of Hydrology*, vol. 255, pp.107-122, 2002.
- [46] Bayazit M, Önöz B, "Trend Analizi," *IV Ulusal Hidroloji Kongresi, Hidrolojide Yeni Yöntemler Seminer Kitabı*, İstanbul, ss. 79-84, 2004.

- [47] Wikipedia.org (2021, May 14). Canada Map-Great Lakes and Provinces Diagram, [Online]. Available: https://hi.wikipedia.org/wiki/Great_Lakes#/media/file:Great_Lakes_1.PNG
- [48] Lenters, J. D., "Long-term trends in the seasonal cycle of Great Lakes water levels," *Journal of Great Lakes Research*, vol 27, pp. 342-353, 2001.