

## Türkiye göl su seviyelerinin eğilim ve harmonik analizi

**Taner Mustafa CENGİZ, Ercan KAHYA**

*İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 344696, Ayazağa, İstanbul*

### Özet

20. yüzyılın başından beri dünyanın pek çok yerinde göl seviyelerinde ölçümler yapılmaktadır, ölçülen göl su seviyelerinde alçalmalar ve yükselmeler gözlenmektedir. Göl su seviyeleri hidrolojik, meteorolojik ve antropojenik şartlardan etkilenirler. Çalışmada, tüm Türkiye'yi temsil edebilecek 25 göl su seviye verilerinin zamana göre eğilimleri parametrik olmayan Mann-Kendall testi ile incelenirken, göl su seviyelerinin mevsimsel değişkenliği ve bölgesel değişimi de harmonik analizle incelenmiştir. Bulunan sonuçlar Türkiye Yağış Rejimleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu araştırmanın sonuçlarının, şimdiki ve ilerideki bölgesel gelişme çalışmalarında yararlı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada amaç göl su seviyelerinde mevsimsel değişkenliğin coğrafik ölçeğinin saptanması ve Türkiye genelinde göl rejimi hakkında bir fikir sahibi olmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yıllık döngü, iklim değişimi, göl su seviyesi, eğilim analizi, birinci harmonik.

### Trends and first harmonic analysis in Turkish lake levels

#### Abstract

Lake levels have been continuously affected by hydrological, meteorological and anthropogenic conditions. Hydroclimatologic variables are important indicators of climatic change. It will be of great use to know the regime and tendency of changes in lake water levels in Turkey for both current and future studies, which are of importance for accurate assumption in future. Therefore, annual Turkish lake levels are analyzed to document some of their variability characteristics in this study. Annual cycles are first computed from monthly means at each individual lake station. The amplitudes and phases of the first harmonics, fitted to monthly lake level means, are displayed in vectorial fashion. Secondly a non-parametric trend test is applied to detect possible linear trends in the lake levels. The Mann-Kendall is known as appropriate tool in detecting linear trends of a hydrological time series. Statistically significant upward trends in lake level were found at the larger scale in the north coastal region. Downward trends in lake level were found at the larger scale the Midwest region. These results are in agreement with those of the precipitation, streamflow and temperature trend studies in Turkey. Harmonically significant maximum water level of spring season were found at large scale in the northwest regions and southwest region while summer season in lake level were found at the east regions.

**Keywords:** Annual cycle, climate change, lake level, trend analysis, the first harmonic.

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Taner M. CENGİZ. tcengiz@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 68 45.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde tamamlanmış olan "Türkiye göl seviyelerinin hidroklimatolojik analizi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 26.07.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 27.10.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Göl su seviyeleri çok alçaldığında veya yükseldiğinde göl çevrelerinde büyük ekonomik kayıplara hatta bazen tekrar düzelmesi mümkün olmayan doğa değişimlerine neden olurlar. İklim elemanlarındaki değişimler göl su seviyelerinde değişme olarak yansıma yaparlar. Göl su seviyelerine etkiyen başlıca sebepler, iklim değişimleri, meteorolojik ve hidrolojik özellikler, atmosferdeki sera etkisi, tektonik değişimler olarak düşünülür. İklim değişikliği sonucu beklenen en önemli olgu; sıcaklık, yağış, evapotranspirasyon, akış, göl su seviyesi gibi temel iklimsel ve hidrolojik değişkenlerdeki muhtemel değişimlerdir. Günümüzde pek çok çalışma iklim değişimlerinin topluma ve doğaya etkileri üzerine yapılmaktadır. İklim elemanlarındaki değişimler göl su seviyelerinde değişme olarak yansıma yaparlar. Genelde göllerdeki su seviye salınımları yağış, akış ve buharlaşma gibi klimatolojik faktörlerin karmaşık etkileşmesine gölün bir tepki göstermesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Son yıllarda iklimin değişimi ve değişkenliğinin potansiyel etkileri üzerine hidroklimatolojik zaman serileri üzerine yapılan çalışmalarda artışlar gözlenmektedir. İklimde, atmosferdeki karbondioksit miktarının artışından kaynaklanan bir ısınma olduğu gözlenmektedir. Sera etkisiyle, yeryüzünün yansıttığı ışınların tekrar yeryüzüne dönmesiyle oluştuğu ileri sürülen bu etkinin hidroklimatolojik değişkenleri nasıl etkileyeceği tartışılmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerindeki birçok eğilim analizi çalışmaları genellikle iklim değişmesinin belirlenmesi için yapılmıştır. Bu çalışmalar genel olarak, iklim değişikliği var mı? sorusuna cevap bulmak ve yeni modeller geliştirmek amacıyla yapılmıştır. Çok sayıda çalışmada; Pilon ve diğerleri (1991), Kite, (1991), Burn ve Soulis, (1992), Hirsch ve diğerleri (1982) iklim değişimi delillerini ortaya çıkarmak için çeşitli hidroklimatolojik değişkenler kullandılar.

İstatistiksel olarak anlamlı eğilimlerin tespiti için parametrik ve parametrik olmayan metotlar kullanılmaktadır. Parametrik testlerde normal dağılıma uyma, lineerlik ve benzeri şartlar oldu-

ğu için hidroklimatolojik zaman serilerinde kullanışlı olmamaktadır. Parametrik olmayan yöntemler ise değişkenin dağılımından bağımsız olması ve testlerinin sıra (rank) ile ilgili olmasından dolayı tercih edilmektedir. Ayrıca eksik veriler, kısıtlı veri sayısı ve mevsimsellik gibi sıkıntılı veri setlerini iyi tolere edebilen yöntemlerdir. Parametrik olmayan testler parametrik testlere oranla daha kullanışlı olmakla beraber zaman serisi karakteristiklerinin kolayca ele alınmasına olanak vermemektedirler (Belle ve Hughes, 1984).

Genel olarak istatistiksel anlamlı eğilim tespiti için parametrik ve parametrik olmayan (non parametrik) metotlar kullanılmaktadır. Parametrik testlerde, incelenecek zaman serisinin normal dağılıma uyması şartı varken, parametrik olmayan testlerde bu şart aranmaz. Parametrik olmayan metotlar parametrik metotlardan daha esneklerdir. Zaman serilerinin karakteristikleri kolayca bu metotla ele alınıp incelenebilir (Belle ve Hughes, 1984). Son yıllarda yaygın olarak eğilim tespit çalışmalarında parametrik olmayan istatistiksel testler kullanılmaktadır. Verilerin kısıtlı olmasından ve eksik değerlere sahip olmasından etkilenmeyen Mann-Kendall test istatistiği, verilerin içsel bağımlılığı göz önüne alınarak bu çalışmada kullanılmıştır. Parametrik olmayan yöntemler özellikle 1980'li yılların ilk yarısından sonra eğilim araştırmalarında önerilmiştir (Hirsch vd., 1982).

1996 yılında iklim değişiminin potansiyel etkileri IPCC (1996), Intergovernmental Panel On Climatic Change panelinde kapsamlı olarak tartışılmıştır. Sonuçlar kısmında kuzey enlemlerde yağışın artışı vurgulanırken, akışın arttığı ifade edilmektedir.

Hidroklimatolojik değişkenlerde dikkate alınması gereken, seride içsel bağımlılığın etkisidir. Von Storch ve Navara (1995) değişkenlerde içsel bağımlılığı pre-whitened ile giderdikten sonra eğilimleri tespit etmiştir.

Burn ve Hag Elnur (2002) iklim değişimine oranla hidroloji ve meteoroloji arasındaki ilişkiyi göstermeyi amaçladığı çalışmasında, hidrolo-

jik değişkenlere ait eğilimlerle meteorolojik değişkenlere ait eğilimler arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Kanada'da akış verilerinde eğilim olup olmadığını belirlemek için Mann-Kendall testini kullanırken trendin eğim büyüklüğünün tahmini için Hirsch ve diğerleri (1982) tarafından önerilen bir algoritmayı ve serisel korelasyonu gidermek için de pre-whitened yöntemini kullanmıştır.

Ülkemizde eğilim analizi çalışmaları sıcaklık, yağış ve akım değişkenleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Ülkemizdeki çalışmalardan Karaca ve diğerleri (1995) İstanbul şehrinin kentsel ısı adası yoğunluğunda artan eğilim olduğunu tespit ederken Tayanç ve diğerleri (1997) yurdumuzun kuzeyinde ortalama sıcaklıklarda anlamlı azalan eğilimler bulurken, şehirleşmenin büyüdüğü bölgelerde ortalama sıcaklıklarda artma eğilimi olduğunu göstermiştir. Türkeş ve diğerleri (1995) bölgesel ortalama sıcaklık serilerinin eğilim analizini çalışarak iklimin Doğu Anadolu'da ısınma, Marmara ve Akdeniz bölgelerinde ise soğuma eğilimini tespit etmiştir. Yine Türkeş (1996) alan ortalamalı yıllık yağış ve kış serileri analizinde daha çok Karadeniz ve Akdeniz bölgeleri olmak üzere Türkiye genelinde bir miktar azalma eğilimi olduğunu göstermiştir. Kadioğlu (1997), Türkiye'deki sıcaklık eğilimlerini incelemiş yıllık sıcaklıklarda önemsiz eğilim artışları bulurken yurdumuzda uzun süreli eğilimlerin varlığının bulunduğu karar vermek için Türkiye'deki yüzey hava sıcaklığı verilerinin yetersiz olduğuna dikkat çekmiştir.

Son yıllarda hepimizi ilgilendirmeye başlayan iklim değişikliği, atmosferdeki sera gazlarının özellikle karbondioksitin çok üretilmesinden dolayı, iklime insan etkisini de doğal etkilerle birlikte düşünmemiz gereğini ortaya çıkarmıştır. Zamanla atmosferdeki doğal akımlar, kütle ve enerji miktarlarında değişimler olmaktadır. Atmosfere yapılan kirletici salgılarında astronomik olaylar gibi kendini tekrarlayacak şekilde salınımlar değil de zamanla artan veya eksilen değişimler sergilerler. Bu tür insan faaliyetleri sonunda ortaya çıkan belirgin artış veya azalışlara meteoroloji kaynaklarında iklim değişmesi, istatistik biliminde ise sistematik artış veya az-

alış yani gidiş, genel eğilim adı verilir (Şen, 2002).

Daha önce yapılan hidroklimatolojik eğilim çalışmalarının çoğunda, özellikle hidrolojik parametrelerden yağış ve akım değişkenleri üzerinde odaklanılmıştır. Ülkemizin göl su seviyeleri eğilimlerinin yapısını iyi anlamak önemli olduğu gibi bu eğilimlerin diğer iklimsel değişkenlerle, yağış, sıcaklık, akım gibi, ilişkilendirmek de önemlidir.

Hidroklimatolojik değişkenlerin zamanla değişiklik göstermesi dünyanın hem kendi eksenini hem de güneşin etrafında dönmesi sonucu olmaktadır. Saat, gün, hafta, ay ve mevsim de görülen değişiklik, hidroklimatolojik değişkenlere yansıma yaparak onlara doğrudan ve dolaylı olarak etkide bulunarak, rastgele değişiklikte farklılıklara sebep olmaktadır. En belirgin değişimi hava sıcaklığında hissedilir. Gündüz saatlerinde sıcak, gece saatlerinde serin değerler alan hava sıcaklığı dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinin gösterdiği seyirle ilgilidir. Gün içinde meydana gelen bu farklılıklar peş peşe gelerek günlük bazda bir zaman serisi oluştururlar. Bu benzer salınımlar saatlikten, güne, aya ve yıllık periyotlara kadar bir yelpaze oluştururlar. Hidroklimatolojik değişkenlerde zamanla değişen periyodikler dikkate alınarak incelenirler, aslında bu tür salınımlar değişkenlerin zaman serisinde saklı durmaktadır. Saklı olan bu salınımlar çeşitli yöntemlerle belirlenebilir. Böylelikle geçmişte olduğu gibi gelecek zamanda da bu tür uzaysal etkilerin benzer olarak kendilerini göstermesi muhtemel olacaktır. Harmonik analiz hidroklimatolojik parametrelerin bir yıllık motiflerini ortaya çıkarmada yararlı bir yöntemdir. Birinci harmonikler büyük ölçekli etkileri gösterirken, yüksek dereceden harmonikler küçük Salınımların etkisini gösterirler. İlk üç harmonik, gözlenmiş bir veri serisinin fiziksel etkenlerini güvenilir olarak temsil eder (Scott ve Shulman, 1979). Dördüncü, beşinci ve altıncı harmonikler, toplam varyansın çok küçük bir kısmı olduğundan önemli değildir. Periyodik salınımlar düzgün sinüs ve kosinüs dalgalarının toplamı olarak ifade edilebilir. 12 aylık göl se-

viye kompozitlerin, tek bir maksimuma ve bir tek minimuma sahip oldukları kabul edilerek, göl seviyesi salınımını temsil eden birinci harmonik eğrileri geçirilmiştir.

### Veriler ve yöntem

Değişik iklim bölgeleri üzerinde yer alan EİE ve DSİ Müdürlüğü tarafından işletilen 25 istasyona ait göl seviye verilerinin yıllık ortalama değerleri bu çalışmadaki analizlerde kullanılmıştır. İstasyonlar rasat kayıt uzunluğu büyüklüğü dikkate alınarak tercih edilmiştir. Farklı kayıt uzunluğuna sahip rasatların veri süreleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Göl seviyeleri için tarihsel araştırma ve su bütçesi hesaplanmasına gidilmemiş sadece var olan rasat değerleri kullanılmıştır.

Hidrolojik büyüklükler rastgele karakterde olduğundan sürekli bir azalma veya artma eğiliminin araştırılması özel yöntemler kullanmayı gerektirir (Helsel ve Hirsch, 1992). İstatistik eğilim testleri ile “gözlenen değerlerde bir eğilim olmadığı” hipotezi kontrol edilerek “kabul” veya “red” kararı verilir. Karar, hipotezde seçilen anlamlılık düzeyine bağlıdır. Anlamlılık düzeyi, gerçekte eğilim bulunmadığı halde testin eğilim bulunduğu sonucunu vermesi olasılığına eşittir (Bayazit vd., 2002).

Mann-Kendall eğilim analizi eksik verilerin varlığına müsamaha edebilen ve verilerin belirli bir dağılıma uyma zorunluluğunu aramayan bir teknik içerdiğinden kullanışlı bir yöntemdir (Yu vd., 1993). Mann-Kendall test istatistiği (S) verilerin dağılımından bağımsız (parametrik olmayan) olup hesaplanması aşağıdaki işlem sırasıyla yapılır.

$X_i$  zamana göre dizilmiş gözlem değerleri olmak üzere,

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

burada,  $X_j$  ve  $X_k$  art arda gelen verilerdir; n veri setinin uzunluğudur.

Tablo 1. Analizde kullanılan göl seviye ölçüm istasyonları ve ölçüm süreleri

Sıra No	İstasyon Adı	Rasat Dönemi (yıl)
1	Timraş Obruğu	1965-1994 (30)
2	Haçlı Gölü	1968-1993 (26)
3	Akşehir Gölü	1964-1993 (30)
4	Çavuşlu Gölü	1964-1995 (32)
5	Eber Gölü	1964-1995 (32)
6	Ladik Gölü	1964-1995 (32)
7	Kovada Gölü	1964-1995 (32)
8	Göhlisar Gölü	1971-1995 (25)
9	Azaplı Gölü	1969-1995 (27)
10	Ceyhan Gölbaşı	1969-1994 (26)
11	Efteni Gölü	1967-1991 (25)
12	Kızılırmak Balık	1967-1993 (27)
13	Aras Balık Gölü	1967-1991 (25)
14	Bafa Gölü	1967-1995 (29)
15	Burdur Senir	1969-1996 (28)
16	Manyas Gölü	1969-1996 (28)
17	Uzungöl	1979-1992 (14)
18	Konya Obruk	1967-1988 (22)
19	Van Gölü	1959-2002 (43)
20	Tuz Gölü	1959-2002 (43)
21	Eğirdir Gölü	1959-2002 (43)
22	Beyşehir Gölü	1959-2002 (43)
23	Sapanca Gölü	1959-2002 (43)
24	Uluabat Gölü	1959-2002 (43)
25	İznik Gölü	1959-2002 (43)

$$\begin{aligned} \text{Sgn}(X_j - X_k) &= +1 && \text{eğer } (X_j - X_k) > 0 \\ \text{Sgn}(X_j - X_k) &= 0 && \text{eğer } (X_j - X_k) = 0 \\ \text{Sgn}(X_j - X_k) &= -1 && \text{eğer } (X_j - X_k) < 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Test istatistiğinin varyansı ;

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (3)$$

Test istatistiği S,  $n \leq 10$  olmak üzere teorik olasılık dağılımı normal dağılım için oldukça uygundur (Hirsch vd., 1982). Böylelikle Z standart normal değişken değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanarak kritik z değeri ile karşılaştırılır.

$$z = \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad (4)$$

z için seçilen bir  $\alpha$  anlamlılık düzeyinde iki yanlı test uygulanır.  $H_0$  hipotezine göre ( $k \neq j$ ) olmak üzere tüm ( $k, j \leq n$ ) için seride  $X_k$  ve  $X_j$  değerlerinin dağılımı zamandan bağımsız ve ben

zer dağılmış rasgele değişkenlerdir.  $H_1$  hipotezine göre ise ( $k \neq j$ ) olmak üzere tüm ( $k, j \leq n$ ) için seride  $X_k$  ve  $X_j$  değerlerinin dağılımı benzer değildir, yani seride lineer bir trend bulunmaktadır. Eğer  $|z| \geq z_{\alpha/2}$  ise  $H_0$  hipotezi red olunur ve burada  $F_{N(z\alpha/2)} = 1 - \alpha/2$ ,  $F_N$  standart normal dağılım fonksiyonudur. Hesaplanan S değeri pozitif ise artan bir eğilimin, negatif ise azalan bir eğilimin olduğu kararı verilir.

Verilerde serisel bağımlılık (otokorelasyon) olması trend tespitini zorlaştırmaktadır. Özellikle pozitif serisel bağımlı bir veri seti ile yapılan Mann-Kendall testi sonucunda, yanlış yönde daha büyük trend sonucu (Z) meydana gelmektedir (Von Storch ve Navarra, 1995). Veri setindeki serisel bağımlılığı kaldırmak için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Çalışmalar sonucu 'pre-whitening' yöntemi ile serisel bağımlılık yeterli anlamlı düzeyde azaltılmaktadır. Bu çalışmada veri setinde %5 anlam düzeyinde bulunan serisel bağımlılığı kaldırmak için söz konusu yöntem uygulanmıştır.

$$Y_{pT} = Y_{T+1} - \rho Y_T \quad (5)$$

Burada  $Y_{pT}$  yeni pre-whiten yapılmış, T zaman aralığında serisel korelasyon kaldırılmış yeni gözlem değeri,  $Y_T$  ise T zaman aralığında gözlem değeri ve  $\rho$  serisel bağımlılık katsayısıdır.

Yıllık döngü (annual cycle) için hesaplanan harmonik analiz sonuçları her istasyon için vektörel olarak gösterilir. Bu gösterim (harmonik kadran) objektif ve kompakt grafik bir metottür. Aynı peryotta faz açısını (phase angle) ve genliği (amplitude) aynı zamanda (simultaneously) karşılaştırmak için kullanılır (Conrad ve Pollak, 1950). Harmonik vektörlerin yönü birinci harmoniğin maksimuma ulaştığı zamanı (faz açısını), büyüklüğü ise birinci harmonik eğrisinin ortalamadan olan maksimum sapmasını (genliği) gösterir. Zaman serileri N sayıda harmonik bileşene ayrılabilir. Birçok çalışmada birinci ve ikinci harmoniklerin yeter anlamlı olduğu kabul edilmektedir. Harmonik analiz metodu ile rastgele değişkenin periyodikliğinin faz açısı ve büyüklüğü belirlenebilir. Birinci Harmonik aşağıdaki gibi hesap edilebilir. Herhangi bir  $X_t$  zaman serisini temsil eden Fourier serisi aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

Herhangi bir  $X_t$  zaman serisini temsil eden Fourier serisi aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$X_t = \bar{X} + \sum_{j=1}^h [A_j \cos(2\pi j t / \omega) + B_j \sin(2\pi j t / \omega)], \quad (6)$$

$\tau = 1, 2, \dots, \omega$

Yukarıdaki simgeler 12 aylık kompozitler için şu şekilde açıklanabilir;

$X_t$  : Her bir istasyona ait 12 aylık kompozitin elemanları,

$\tau$ : Kompozit eleman indisi ( $\tau = 1, \dots, 12$ ),

$\bar{X}$ :  $X_t$  serisinin ortalaması

$A_j$  ve  $B_j$  Fourier katsayıları

J: Harmonik numarası

h: Toplam harmonik sayısı

Toplam harmonik sayısı (h) ise  $w$ 'nin çift ya da tek olmasına bağlı olarak sırasıyla  $\omega / 2$  ya da  $(\omega - 1) / 2$  şeklinde hesaplanır. 12 aylık  $\omega$  kompozitler için  $w = 12$  olduğundan  $h = 12$  olur.

$\bar{X}$  ortalaması ile  $A_j$  ve  $B_j$  katsayıları aşağıda verilen denklemlerle hesaplanırlar:

$$\bar{X} = \frac{1}{\omega} \sum_{\tau=1}^{\omega} x_{\tau} \quad (7)$$

$$A_j = \frac{2}{\omega} \sum_{\tau=1}^{\omega} X_{\tau} \cos(2\pi j \tau / \omega), \quad j = 1, 2, \dots, h \quad (8)$$

$$B_j = \frac{2}{\omega} \sum_{\tau=1}^{\omega} X_{\tau} \sin(2\pi j \tau / \omega), \quad j = 1, 2, \dots, h \quad (9)$$

Herhangi bir harmoniğin genliği olan  $C_j$  değeri (ortalamadan olan maksimum sapma)

$$C_j = \sqrt{A_j^2 + B_j^2} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanır. Herhangi bir harmoniğin maksimuma ulaştığı anı ifade eden  $t_j$  ise ay cinsinden;

$$t_j = \frac{\omega}{2\pi j} \arctan \left[ \frac{B_j}{A_j} \right] \quad (11)$$

şeklinde hesaplanır.  $C_j^2/2$  değerleri ise her bir harmoniğin serinin varyansına yaptığı katkıyı ifade eder.

### Uygulama

Eğilim Analizi, 25 tane göl seviye ölçüm istasyonu yıllık ortalama göl seviyeleri için yapılmıştır. Seçilen 25 istasyondaki göl seviyesi verisinden 20 tanesinin,  $\alpha=5\%$  anlamlılık düzeyinde yüksek iç bağımlılık değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Bu göl seviyeleri; İznik, Tuz, Bafa, Beyşehir, Uzungöl, Eğridir, Van, Eber, Akşehir, Ladik, Timraş Obruğu, Çavuşçu, Azaplı, Gölbaşı, Haçlı, Gölhisar, Efteni, Obruk, Sapanca ve Burdur göllerine aittir. Bulunan içsel bağımlılık, eğilim testlerinde bulunacak sonuçları hatalı yönde etkilemektedir. Zaman serilerinde bulunan bu içsel bağımlılığı azaltmaya yönelik, çeşitli yaklaşımlar tavsiye edilmiştir. Bu çalışmada, pre-whiten işlemi ile içsel bağımlılık etkisi yok edilmeye çalışılmıştır.

25 istasyondaki göl seviyeleri için yapılan eğilim analizinde 9 istasyonun göl seviyelerinde  $5\%$  anlam düzeyinde eğilim bulunmuştur. Gözlenen eğilimlerin, yaklaşık yarısı azalma yönündedir. Ülkenin, kuzey doğusu artan eğilim gösterirken güney batısı azalan eğilimdedir. Artan eğilimler; Van, Uzungöl, Ladik, Efteni, Ladik göl seviyelerinde tespit edilmiştir. Azalan eğilimler ise; Akşehir, Eber, Konya Obruk, Timraş Obruğu, Gölhisar göl seviyelerinde saptanmıştır. Eğilimler Türkiye Yağış Rejimi Bölgeleri ile düzenlenerek Tablo 2’de gösterilmiştir.

Türkiye göl seviyelerinin yıllık ortalama değerleri için artan ve azalan eğilimler Şekil 1’de gösterilmiştir. Azalan göl seviyeleri eğilimleri Türkiye’nin Güneybatı ve Orta-Batı bölgelerinde görülür ki bunlar Türkes (1996) tarafından tanımlanan Akdeniz ve İç Anadolu yağış rejimi bölgelerindedir. Artan göl seviyeleri eğilimleri, ülkenin kuzey ve doğu kısımlarında tespit edilmiştir. Artan bu göl seviyeleri, Karadeniz ve Doğu Anadolu Yağış Rejimi Bölgelerindedir.

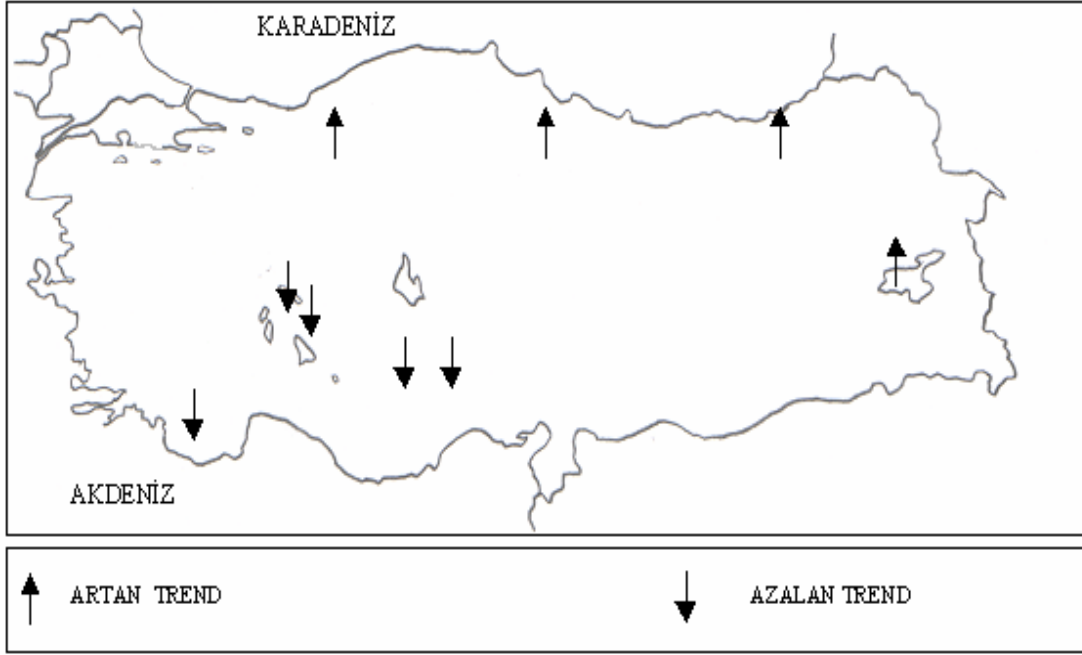
Tablo 2. Yıllık ortalama göl seviyelerine göre yapılan eğilim analizleri sonuçları

Yağış Rejim Bölgesi	Göl Adı	Eğilim Yönü
Karadeniz	Sapanca	Eğilim yok
	Efteni	Artan
	Kızılırmak Balık	Eğilim yok
	Uzungöl	Artan
Marmara Geçiş	Uluabat	Eğilim yok
	İznik	Eğilim yok
Akdeniz	Bafa	Eğilim yok
	Manyas	Eğilim yok
	Gölhisar	Azalan
	Ceyhan Gölbaşı	Eğilim yok
Akdeniz Geçiş	Azaplı	Eğilim yok
	Burdur	Eğilim yok
	Eğirdir	Eğilim yok
	Kovada	Eğilim yok
İç Anadolu	Beyşehir	Eğilim yok
	Eber	Azalan
	Akşehir	Azalan
	Tuz	Eğilim yok
	Konya Obruk	Azalan
	Timraş Obruğu	Azalan
	Çavuşçu	Eğilim yok
Doğu Anadolu	Ladik	Artan
	Haçlı	Eğilim yok
	Aras Balık	Eğilim yok
	Van	Artan

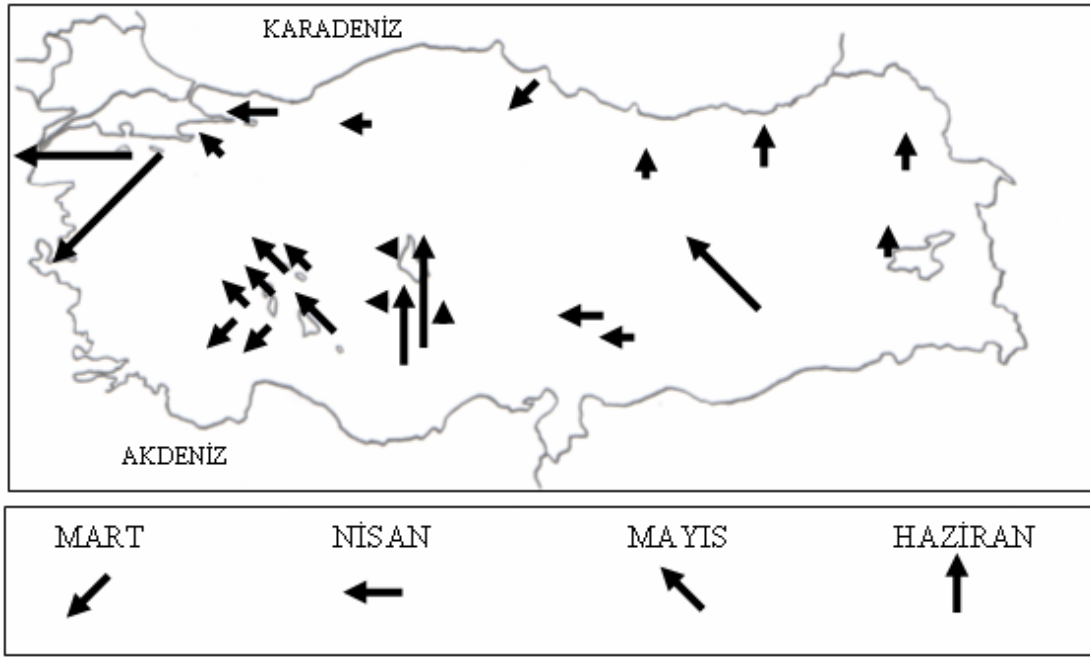
Yıllık devinim için hesaplanan harmonik analiz sonuçları her istasyon için vektörel olarak Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu gösterim objektif ve grafik bir metottür. Aynı periyotta faz açısını ve genliği aynı zamanda karşılaştırmak için kullanılır (Conrad ve Pollak, 1950).

Harmonik vektörlerin yönü birinci harmoniğin maksimuma ulaştığı zamanı (faz açısını), büyüklüğü ise birinci harmonik eğrisinin ortalamadan olan maksimum sapmasını (genliği) gösterir. Aylık göl seviyelerine ait yıllık döngünün mevsimsel incelenmesi, birinci harmonik için verilere uygulanması sonucu elde edilen genlik ve faz açıları Tablo 3’te, Türkiye yağış rejimi bölgeleri (Türkes vd., 2002) ile ilişkilendirilerek verilmiştir.

Genel olarak Türkiye göllerinde maksimum seviyeler ilkbahar mevsiminde meydana gelmektedir. İlkbaharda maksimum göl seviyeleri kuzeybatı ve güneybatı bölgelerinde gözlenirken,



Şekil 1. Türkiye göl su seviyeleri eğilimleri



Şekil 2. Birinci harmonik sonuçlarına göre maksimum göl su seviyeleri

yaz sezonunda pik göl seviyeleri doğu bölgelerimizde oluşmaktadır. Birinci harmoniye göre, en büyük genliğe sahip göl seviyesi Uluabat'ta 1.03 m. bulunurken, en düşük genliğe sahip göl seviyesi Tuz'da 0.14 m. tespit edilmiştir. Açıklanan varyans yüzdelerinin, en düşüğü Uzungöl göl seviyelerinde % 71, en yükseği % 99 ile

Uluabat ve Manyas göl seviyelerinde tespit edilmiştir.

Harmonik analizi sonucunda Türkiye'nin kuzeybatı ve güneybatı bölgelerindeki göl su seviyeleri Nisan ve Mayıs aylarında pik seviyelere ulaşmaktadır. Bu birbirine benzer değişim gös-

teren bölgeler Marmara Geçiş, Karadeniz ve Akdeniz Yağış Rejimi bölgeleri içinde kalmaktadır. Türkiye'nin Doğu ve İç Anadolu Bölgelerinde göl su seviyeleri haziran ve temmuz ayında pik seviyelere ulaşmaktadır. Bu benzer pik görülen coğrafi bölgeler, Doğu Anadolu ve İç Anadolu Yağış Rejim bölgeleridir.

Tablo 3. Birinci harmonik analiz sonuçları

Yağış Rejim Bölgesi	Göl Adı	Faz Açısı (ay)	Genliği (cm)	% Varyansa Katkı
Karadeniz	Sapanca	Nisan	35	98
	Efteni	Nisan	21.78	93
	K. Balık	Mart	17.84	88
	Uzungöl	Haziran	28.70	71
M. Geçiş	Uluabat	Mart	100.30	99
	İznik	Mayıs	22	99
Akdeniz	Bafa	Mayıs	15	88
	Manyas	Mayıs	79	99
	Göhlhisar	Nisan	28.32	98
	C.Gölbaşı	Mayıs	30.20	99
A. Geçiş	Azaplı	Nisan	24.35	99
	Burdur	Mayıs	25	90
	Eğirdir	Mayıs	27	98
	Kovada	Mart	24.64	94
İç A.	Beyşehir	Mayıs	37	99
	Eber	Mayıs	33.04	98
	Akşehir	Mayıs	24.17	96
	Tuz	Nisan	14	96
	K. Obruk	Haziran	15.94	98
	Timraş O.	Haziran	63.93	86
	Çavuşçu	Mayıs	93.96	91
Doğu A.	Ladik	Haziran	70.31	93
	Haçlı	Mayıs	80.20	86
	A. Balık	Haziran	26.21	91
	Van	Haziran	22	94

## Sonuçlar

EİEİ ve DSİ tarafından ölçülen, yıllık ortalama göl seviye verilerine parametrik olmayan Mann-Kendal istatistik trend testi uygulanmıştır. Gözlenen göl seviyelerinde anlamlı trendler bulunup bulunmadığı belirlenmiştir. Türkiye'nin kuzey ve doğusunda istatistiksel anlamlı artan eğilimler bulunmuştur. İç Anadolu'da ve Güney'de bulunan bölgelerde istatistiksel anlamlı azalan eğilimler tespit edilmiştir.

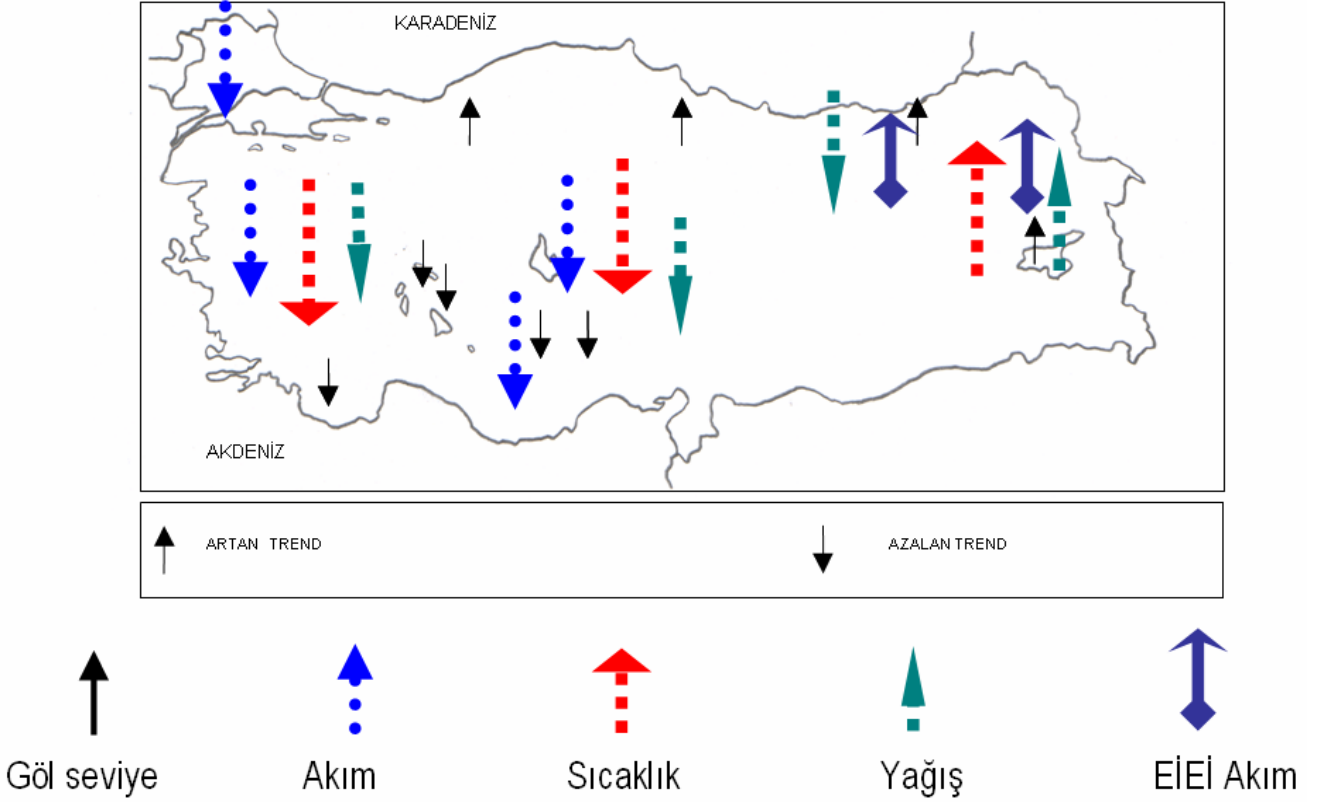
Türkiye göl seviyelerinde bulunan eğilimlerle, daha önceki çalışmalarda yapılan akım, yağış ve sıcaklık değişkenlerinin eğilimleriyle ilişkilendirme gereği duyulmuştur.

Partal (2002) tez çalışmasında Türkiye genelinde yağış verilerine (1929-1993 arası yıllık ortalama yağış verilerine) eğilim analizi uygulamış, bölgesel olarak önemli azalma olduğunu ortaya koymuştur. Türkiye genelinde özellikle batı, güney ve kuzeybatı bölümlerinde yağışlarda azalma eğilimi tespit etmiştir. Kahya ve Kalaycı (2004) 1964-1994 yılları arasında aylık akımlara parametrik olmayan testler uygulamış ve Türkiye'nin batısındaki havzalarda % 5 anlamlılık düzeyinde azalan eğilimler saptamıştır. Diğer bir çalışmada, 2001 yılından geriye doğru en az 25 yıllık verileri kullanarak, akarsularımızda son 25-65 yıllık dönemde gözlenen akımların, eğilim analizini yapan Bayazıt (Bayazıt vd., 2002), Türkiye'nin Trakya, Batı, Güney ve Orta bölgelerinde anlamlı azalan bir eğilim tespit etmiştir. Ayrıca EİE tarafından yapılan çalışmada bu bölgelere ek olarak, Güneydoğu Anadolu'daki ortalama akımlarda azalma bulurken Kuzey ve Doğu Anadolu bölgelerinde artış eğilimi saptamışlardır. Türkes ve diğerleri (1995) 1930-1992 sürecinde sıcaklık verilerinin eğilim analizini yapmış, özellikle Marmara ve Akdeniz bölgeleri olmak üzere genel bir azalma eğilimi tespit ederken sadece Doğu Anadolu'da hafif bir artış eğilimi saptamışlardır. Yapılan farklı değişkenlere ait eğilimler toplu olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.

Göl seviyelerinde bulunan eğilimler, daha önce yapılan akım, yağış ve sıcaklık değişkenlerinin eğilimleriyle çok uyumlu bulunmuştur. Türkiye genelinde yapılan; göl seviye, yağış, akım, sıcaklık eğilimleri birbirleriyle tam bir uyum içinde örtüşmekte, birbirlerini tamamlayıcı niteliktedir. Yapılan bu farklı hidroklimatolojik parametrelerin aynı bölgelerde aynı yönde eğilimler göstermesi, bir iklim değişikliğinin varlığına işaret etmektedir. Bu konuda derinlemesine çalışmalar yapılmasına ihtiyaç olduğunu düşünmektedir.

Türkiye göl seviyelerinin mevsimsel değişkenliğinin coğrafi ölçeğini saptamak ve göl rejimleri hakkında fikir sahibi olmak için yapılan harmonik analizi sonucunda, birinci harmoniklerin açıkladığı varyans yüzdeleri oldukça yüksek çıkmıştır.





Şekil 3. Türkiye göl seviye, akım, sıcaklık ve yağış eğilimleri

Birinci harmoniklerin açıkladığı varyans yüzdelrinin yüksek olmasının, göllerin tipik depolama davranışlarından olduğu söylenebilir. Cengiz (2005) tarafından yapılan spektral analiz ve dalgacık dönüşümü analizlerinde Türkiye göl seviyelerinde 1 yıllık döngünün en önemli bileşen olarak sürekli bir biçimde saptanması, birinci harmoniğin güçlü olduğuna delil gösterilebilir. Bu yüzden diğer hidrolojik parametrelerde erişilemeyecek kadar yüksek varyans yüzdelrine birinci harmonikte ulaşılabilir. Birinci harmoniğe göre, en büyük genliğe sahip göl seviyesi Uluabat'ta 1.03 m. tespit edilmiştir. Uluabat gölünün karstik yapısı, göl çevresinin tipolojik yapısının çok az değişken olması ve yağışın düzenli yapısından dolayı göl seviyesinin birinci harmoniğine göre genliği büyük olmaktadır.

12 aylık göl seviye kompozitlerin, tek bir maksimuma ve bir tek minimuma sahip oldukları kabul edilerek, salınımlarını temsil eden birinci harmonik eğrileri geçirilmiştir. Birinci harmoniğe göre, genel olarak Türkiye göllerinde mak-

simum seviyeler ilkbahar mevsiminde meydana gelmektedir. İlkbaharda maksimum göl seviyeleri kuzeybatı ve güneybatı bölgelerinde gözlenirken, yaz sezonunda pik göl seviyeleri doğu bölgelerimizde ve İç Anadolu'daki obruk göllerinde oluşmaktadır.

Yersel ve iklimsel farklılıklar nedeniyle farklı sonuçlara rastlanmasına rağmen, yukarıdaki tablolardan görülebileceği gibi yağış rejimleri ile göl su seviyelerinin birbiriyle ilişkili olduğu söylenebilir. Eğilimlerdeki farklılıkların, meteorolojik girdilerin üniform olmayan yansımalar vermelerinden kaynaklanabileceği düşünülebilir.

### Kaynaklar

- Bayazıt M., Cığızoğlu H. K., Önöz B., (2002). Türkiye akarsularında trend analizi, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 420-421-422, 4-6.
- Belle, G. V., Hughes J. P., (1984). Non-parametric tests for trend in water quality, *Water Resources Research*, 20, 127-136.

- Burn, D.H., Hag Elnur, M. A., (2002). Detection of hydrological trends and variability, *Journal of Hydrology*, **255**, 107-122.
- Burn, D. H., Soulis, E. D., (1992). 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, 121-130.
- Conrad, V., Pollak, L. W., (1950). *Methods in Climatology*. Harward University Press, Cambridge, 459. sayfa.
- Helsel, D. R., Hirsch R. M., (1992). *Statistical Methods İn Water Resources*, Elsevier.
- Hirrsch, R. M., Slack, J. R., Smith,R. A., (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data, *Water Resources Research*, **18**, 107-121.
- Kadioğlu, M., (1997). Trends surface air temperature data over Turkey, *İntenational Journal of Climatology* **17**, 511-520
- Kahya, E., Kalaycı, S., (2004). Trend Analysis of Streamflow in Turkey, *Journal of Hydrology*, **89**, 128-144.
- Karaca, M., Antepliođlu, Ü., Karsan, H., (1995). Detection of urban heat island in İstanbul, Turkey, *Il Nuova Cimento*, **18**, 1, 49-55.
- Kite, G.W., (1991). Analyzing hydrometeorological time series to detect climate change. *Using Hydrometric Data to Detect and Monitor Climate Change. Proceedings of NHRI Workshop 8*, 131-142, Saskatoon.
- Partal T., (2002). Türkiye yağış verilerinin trend analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pilon, A. J., Winkler,T., Harvey, K. D., Kimmet, D.R., (1991). 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, 26-30 August 1991.
- Scott, C. M., Shulman, M. D., (1979). An areal and temporal analysis of precipitation in the United States, *Journal Applied Meteorology*, **18**. 627-633.
- Şen, Z., (2002). *İstatistik Veri İşleme Yöntemleri*. Su Vakfı Yayınları 92.sayfa. İstanbul.
- Tayanç M., Karaca M., O. Yenigün, (1997). Annual and seasonal air temperature trend patterns of climate change and urbanization effects in relation to air pollutants in Turkey. *Journal of Geophysical Research*, **102**, 1909-1919.
- Türkeş M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, **16**, 1057-1076.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., Kılıç, G., (1995). Variations and trends in annual mean air temperatures in Turkey with respect to climatic variability *İnter. J. of Climatology*, **15**, 557-569.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., Kılıç, G. (2002). Persistence and periodicity in the precipitation series of Turkey and associations with 500 hPa geopotential. *Climate Research*, **21**, 59-81.
- Von Storch, H., Navarra, A.,(1995). *Analysis of Climate Variability*, Springer, New York.
- Yu, Y. S., Zou, S., Whittemore, D., (1993). Non parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas, *Journal of Hydrology*, **150**, 61-80.