



ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

TÜRKİYE AKARSULARINDA ASKIDA KATI MADDE DEĞİŞİMLERİNİN YILLAR BOYU İNCELENMESİ **Erdem ALBEK^{1,2}, Serdar GÖNCÜ¹**

ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye'nin seçilmiş bazı akarsularında debi ve Askıda Katı Madde (AKM) derişimlerinde ve yüklerinde 20. yüzyılın son çeyreğinde gözlenmiş eğilimlerin istatistiksel analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerde parametrik olmayan yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler Kendall testi, Kendall testinin serisel korelasyon modifikasyonu ve debi ayarlaması yapmak için LOWESS yöntemidir. Analizler sonucunda Türkiye akarsularının yarısında debide anlamlı azalmalar saptanmıştır. Aralarında iklim değişikliğinin de bulunduğu değişik nedenlere bağlanabilecek bu azalmaların gelecekte ciddi sıkıntılara yol açmaması için önlemler alınması gerekmektedir. Benzer şekilde bazı istasyonlarda AKM derişimlerinde ve yüklerinde de azalma eğilimleri saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Akarsular, Askıda katı madde, Debi, Zaman serisi, İstatistiksel yöntemler

INVESTIGATION OF THE LONG-TERM SUSPENDED SOLIDS TRENDS IN TURKISH STREAMS

ABSTRACT

In this study, statistical trend analysis has been conducted for flow and suspended solids in selected stream stations in Turkey for trends in the last quarter of the 20th century. In the analyses, nonparametric techniques have been utilized. These techniques are the Kendall test, a serial correlation modification to the Kendall test and the LOWESS technique for flow adjustment. As a result of the analyses, significant decreases are found in the flow of approximately half of the streams. Precautions need to be taken against serious water shortages likely to occur in the future due to these trends which might be caused by several reasons including climate change. Likewise, in some stations decreasing trends have been encountered for suspended solids and suspended solids loads.

Key words: Streams, Suspended solids, Flowrate, Time series, Statistical methods

¹ Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü İki Eylül Kampüsü 26470, Eskişehir

² e-posta: ealbek@anadolu.edu.tr Tel: 0-222-3350580-6405

1. GİRİŞ

Evsel, endüstriyel ve tarımsal kullanım için gerekli suyun önemli bir bölümünün temin edildiği akarsuların korunması için su kalitelerinin izlenmesi ve kalitedeki değişimlerin saptanması gerekmektedir. Ancak bu şekilde sağlıklı ve ekonomik bir su kalitesi yönetimi gerçekleştirilebilir ve hem bugün için hem de gelecek dönemler için su kaynaklarının etkili bir şekilde korunması sağlanabilir.

Askıda Katı Madde (AKM), akarsuların su kalitesinde önemli bir yere sahiptir. Askıda Katı Madde geniş anlamda sediment olarak da adlandırılır. Ancak sediment bir akarsu yatağında taşınan sürüntü maddesini de içerir. AKM ile askıda veya süspanse sediment sözcüğü eşleştirilir.

Bir akarsuyun taşıdığı AKM yükünün artması, akarsuyun havzasında noktasal veya yaygın kirletici kaynakların artması nedeniyle gerçekleşebilir. Yük azalması kirlenme kontrolü uygulamaları veya AKM'yi tutacak bir yapının (baraj gibi) akarsu üzerine inşası nedeniyle ortaya çıkabilir.

Akarsularda debinin ve su kalitesi parametrelerinin zaman içinde gösterdikleri eğilimler havza ve su kalitesi yönetimi uygulamaları açısından önem taşımaktadır. Su miktarının ve kalitesinin yıllar boyu süregelen değişimleri ileride çıkabilecek sorunların habercisi olabilir. Değişimlerin, bir diğer deyişle eğilimlerin izlenmesi suyun yeterli miktarda ve kalitede toplumun gereksinimlerine sunulması açısından büyük önem taşımaktadır.

Su kalitesi parametrelerinin yıllar boyu değişimlerinin belirlenmesi çalışmaları özellikle Avrupa ülkelerinde ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllardır yürütülmektedir. Bu çalışmalar, yeterli uzunlukta zaman serileri elde edilmesiyle, özellikle 1980'li yıllardan sonra artmıştır. Türkiye'de bu çalışmalar yok denecek kadar azdır. İki devlet kuruluşu, DSİ (Devlet Su İşleri) ve EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) akarsularda debi ölçümleri ve su kalitesi gözlemleri yürütmektedir. Ancak bu verilerin su kalitesi yönetimi açısından analizi istenen düzeyde değildir. Yalnızca DMI' de (Devlet Meteoroloji İşleri) ve bazı üniversitelerde meteorolojik ve hidrolojik zaman serileri üzerinde istatistiksel eğilim analizleri gerçekleştirilmektedir.

Albek (1999) Türkiye'deki önemli kıyı alanlarına süspanse sediment taşıyan akarsulardaki sediment yüklerinin yıllar boyu değişimlerini incelemiş ve bu kıyı alanlardaki plajlara sediment girişlerinin azaldığını tespit etmiştir. Albek (2000) Türkiye akarsularında klorürün yıllar boyu değişimini incelemiş, eğilimlerin su kalitesi yönetimi açısından önemlerini vurgulamıştır. Eskişehir için önemli bir yere sahip olan Porsuk Çayı'nda bazı önemli su kalitesi parametrelerinde 1980'li yıllardan sonra gerçekleşen değişimler gene Albek (2002) tarafından incelenmiştir. Albek ve Albek (2003), Trakya akarsularında

debinin ve bazı su kalitesi parametrelerinin eğilimlerini saptamışlardır.

Bu çalışmada, Türkiye genelinde seçilmiş 16 akarsu gözlem istasyonunda uzun yıllardır ölçülmüş bulunan debi ve AKM derişimleri ve yüklerinde eğilimler istatistiksel olarak saptanmış ve bu eğilimlerin su kalitesi ve havzaları etkileyen süreçler açısından analizi gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada debi ve AKM derişimleri ve yüklerindeki eğilimleri saptamak için Türkiye genelinde 16 akarsu seçilmiştir. Bu seçimde aşağıdaki kriterler göz önüne alınmıştır.

- Akarsu üzerindeki istasyondaki zaman serisinin uzunluğu: Çalışmada 25-30 yıl uzunluğunda zaman serileri kullanılmaya çalışılmıştır. Eğilim analizinde, zaman serisinin uzunluğu kısa dönemli eğilimlerin (bu tür eğilimler serisel korelasyon sonucu da ortaya çıkabilmektedirler) yanıltıcı sonuçlara yol açmasını engellemek amacıyla önemlidir. Özellikle iklim oynamalarının su miktarı ve kalitesi üzerindeki etkileri incelenmek isteniyorsa, 20-30 yıllık zaman serileri kullanılması uygundur.
- Zaman serisindeki eksiklikler: Çalışmada kullanılan zaman serileri Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden (EİE) temin edilmiştir. EİE aylık AKM ölçümleri yapmaktadır. Bazı dönemlerde de yüksek debilerde ek gözlemler gerçekleştirilmektedir. Ancak zaman zaman aylık gözlemler çeşitli nedenlerle yapılamamaktadır. Böylece gözlemlerde eksiklikler ortaya çıkmaktadır. Yıl bazında %20-30 üzerine çıkan eksiklikler özellikle mevsimsel bazda eğilim testlerinde zorluklar çıkarabilmektedir. Aynı zamanda yıllık toplam debi ve AKM yüklerinin hesaplanmasında da eksik veri nedeniyle güvenilirliği düşük sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda sözü edilen kriterler göz önüne alınarak seçilen 16 istasyon Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 1'de bu istasyonların ülke üzerinde dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 1. Seçilen İstasyonlar, Veri Aralıkları ve Veri Sayıları

İstasyon No	İstasyon Adı	Veri Aralığı	Veri Sayısı
E0302	M. Kemal Paşa Çayı – Döllük	1967-1995	325
E0316	Simav Çayı – Yahyaköy	1967-1995	334
E0601	Küçük Menderes Nehri – Selçuk	1974-1995	205
E0701	Çine Çayı – Kayırlı	1969-1995	330
E0902	Köprüçay – Beşkonak	1970-1995	302
E1335	Filyosçayı – Derecikviran	1969-1995	317
E1401	Kelkit Çayı – Fatlı	1968-1995	330
E1413	Yeşilirmak Nehri – Durucasu	1972-1995	300
E1501	Kızılırmak Nehri – Yamula	1969-1995	316
E1818	Seyhan Nehri – Üçtepe	1970-1995	292
E2004	Ceyhan Nehri – Misis	1967-1995	323
E2102	Murat Nehri – Palu	1964-1995	341
E2119	Fırat Nehri – Kemahboğazı	1970-1995	332
E2315	Çoruh Nehri – Karşıköy	1970-1995	304

E2316	Çoruh Nehri – İspir Köprüsü	1970-1995	297
E2605	Dicle Nehri – Diyarbakır	1967-1995	301

Tablo 2’de istasyonlardaki aylık ortalama debileri hakkında istatistiksel bilgiler verilmiştir. Tablo 3’de ise aylık ortalama AKM derişimleri hakkında istatistiksel bilgiler verilmektedir.

Tablo 2. Aylık Ortalama Debiler Hakkında İstatistiksel Bilgiler (Birimler m³/s cinsindedir)

İstasyon No	Ortalama	Ortanca	En Küçük	En Büyük	Sapma Katsayısı*
E0302	58.4	31.3	4.9	548.4	130.2
E0316	48.8	15.9	1.0	744.5	174.1
E0601	22.4	6.2	0.0	922.6	320.5
E0701	9.8	2.3	0.0	212.0	244.8
E0902	80.3	61.8	26.2	671.7	80.9
E1335	96.3	67.4	5.5	1055.4	111.4
E1401	80.4	39.3	4.4	514.4	111.4
E1413	78.4	54.4	6.0	414.9	90.8
E1501	81.8	36.8	6.7	1016.8	141.7
E1818	155.4	103.6	49.1	937.0	84.5
E2004	221.4	129.0	23.5	1711.6	101.3
E2102	256.5	102.2	17.4	2289.3	141.7
E2119	93.4	45.5	13.4	523.9	103.7
E2315	206.3	119.1	37.6	1210.7	91.6
E2316	44.1	16.4	6.6	349.5	120.1
E2605	88.3	31.6	3.9	2466.1	227.7

*Sapma Katsayısı yüzde olarak standart sapmanın ortalamaya oranıdır.

Tablo 3. Aylık Ortalama Askıda Katı Madde Derişimleri Hakkında İstatistiksel Bilgiler (Birimler m³/s cinsindedir)

İstasyon No	Ortalama	Ortanca	En Küçük	En Büyük	Sapma Katsayısı
E0302	58.4	31.3	4.9	548.4	130.2
E0316	48.8	15.9	1.0	744.5	174.1
E0601	22.4	6.2	0.0	922.6	320.5
E0701	9.8	2.3	0.0	212.0	244.8
E0902	80.3	61.8	26.2	671.7	80.9
E1335	96.3	67.4	5.5	1055.4	111.4
E1401	80.4	39.3	4.4	514.4	111.4
E1413	78.4	54.4	6.0	414.9	90.8
E1501	81.8	36.8	6.7	1016.8	141.7
E1818	155.4	103.6	49.1	937.0	84.5
E2004	221.4	129.0	23.5	1711.6	101.3
E2102	256.5	102.2	17.4	2289.3	141.7
E2119	93.4	45.5	13.4	523.9	103.7
E2315	206.3	119.1	37.6	1210.7	91.6
E2316	44.1	16.4	6.6	349.5	120.1
E2605	88.3	31.6	3.9	2466.1	227.7

Bu çalışmada, debi, AKM derişimi ve yükü zaman serilerinde eğilim analizi yapmak için parametrik olmayan Kendall yöntemi seçilmiştir. Parametrik regresyon yöntemleri zaman serilerinin eğilim analizlerinde sıklıkla kullanılmamaktadır. Bu yöntemlerde hipotez testlerini yapabilmek için bazı varsayımlar gerekmektedir. Bu varsayımların en başta geleni regresyon kalıntılarının normal dağılımıdır. Ancak hemen hemen tüm çevresel zaman serilerinde serilerin normal olmayan dağılımları ve sık

sık karşılaşılan aykırı değerler nedeniyle bu varsayım çoğu zaman geçerli olmamaktadır. Parametrik olmayan yöntemler bu tür varsayımlara dayanmadıklarından ve parametrik yöntemler kadar iyi sonuç verdiklerinden tercih edilmektedirler (Hirsch vd., 1982).

Aylık anlık debi ve derişimler için Mevsimsel Kendall yöntemi, yıllık ortalama debi ve toplam yük için ise Kendall yönteminin serisel korelasyon içeren seriler için uyarlanan bir modifikasyonuna başvurulmuştur. Yıllık yüklerin hesaplanmasında Beale Oran Tahmin Yöntemi (Beale’s Ratio Estimator Method) kullanılmıştır. Debinin derişimler üzerindeki etkisini gidermek için LOWESS (LOcally WEighted Scatterplot Smoothing) yöntemi uygulanmıştır.

2.1 Kendall Yöntemi

Çalışmada kullanılan Mevsimsel Kendall Testi herhangi bir mevsimde (bu çalışmada mevsimler ay olarak alınmıştır) yıllar boyu ardarda gelen değerlerin birbirleriyle karşılaştırılmasına dayanmaktadır (Hirsch vd., 1982). Herhangi bir ay için aşağıdaki toplam hesaplanmaktadır.

$$S_i = \sum_{k=1}^{n_i-1} \sum_{j=k+1}^{n_i} \text{sgn}(x_{ij} - x_{ik}) \quad (1)$$

Burada n_i i ayı için ardarda gelen veri sayısı, x ’ler de verilerdir. S_i ’nin işareti i ayı için eğilimin yönünü (artan veya azalan şeklinde) vermektedir. Bütün aylar için hesaplanan S değerlerinin toplamı ile de bütün zaman serisinin eğilimi ortaya çıkmaktadır. Toplam S ve S_i değerlerinin her biri birer rasgele değişkendir ve beklenen değerleri sıfırdır. S_i ’lerin varyansları aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Var}[S_i] = \frac{n_i(n_i-1)(2n_i+5) - \sum_{t_i} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (2)$$

Burada paydaki ikinci terim birbirine eşit olan değerleri hesaba katan bir düzeltme terimidir ve t_i o aya ait birbirine eşit olan terimlerin sayısıdır. Toplam S’in varyansı ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\text{Var}[S] = \sum_{i=1}^{12} \text{Var}[S_i] + \sum_{i=1}^{12} \sum_{l=1}^{12} \text{cov}(S_i, S_l) \quad i \neq l \quad (3)$$

Bu denklemdeki ikinci terim serisel korelasyon yoksa sıfıra eşittir. Eğer zaman serisinde serisel korelasyon saptanmış ise, 3 no’lu denklemdeki ikinci terimin hesaplanması gerekmektedir. Bu terim için kullanılan denklem (Hirsch ve Slack, 1984)’da verilmiştir.

S ve S_i değerleri kullanılarak, aşağıdaki gibi bir standart normal değişken hesaplanabilir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} & ; S > 0 \\ 0 & ; S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} & ; S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Buradan elde edilen Z değerleri, seçilmiş bir güvenilirlik değerine karşılık gelen kritik Z değerleri ile karşılaştırılır. Mevsimsel Kendall Testi bir hipotez testidir. Z değerlerinin karşılaştırılması ile sıfır hipotezi (eğilim yok) kabul veya red edilir. Alternatif hipotez eğilim var hipotezidir. Z değerleri kullanılarak p değerleri (elde edilen güvenilirlik düzeyi) de hesap edilebilir. p değeri ne kadar küçük ise sıfır hipotezinin red edilmesindeki hata o kadar az demektir. Bir başka deyişle, p değeri ne kadar küçük ise, bir eğilimin var olma olasılığı ve bu eğilimin inandırıcılığı o kadar yüksektir.

Mevsimsel Kendall Testi'nin yanısıra, eğilimin büyüklüğü de Kendall-Theil Eğim Tahmini ile hesaplanabilir. Bunun için herhangi bir mevsimdeki bütün veri çiftleri arasındaki eğim hesaplanır. Bu eğimlerin ortanca değeri alınarak o mevsim için ele alınan dönemdeki eğim belirlenir. Toplam eğim, bütün eğimlerin ortancası alınarak hesaplanır.

2.2 Kendall Yöntemi Serisel Korelasyon Modifikasyonu

Zaman serilerinde birbirini izleyen verilerin birbirleri ile olan negatif veya pozitif yönde anlamlı istatistiksel ilişkisi serisel korelasyon veya otokorelasyon olarak adlandırılır. Doğal süreçlerle ilgili pek çok zaman serisinde anlamlı serisel korelasyon mevcuttur. Mevsimsel Kendall yöntemi birbirini izleyen yıllarda aynı mevsimde alınmış verilerdeki eğilimleri incelemektedir (örneğin 1983 mart ve 1984 mart ayları). Birbirleriyle bir yıl arası olan verilerden oluşan zaman serilerindeki otokorelasyon Kendall yönteminde dikkate alınmaktadır. Ancak bu tür serilerde otokorelasyon-un çok yüksek olması beklenmemektedir. Anlık derişimler ayın herhangi bir gününde alındığı için bir önceki yılın değeri ile arasında anlamlı otokorelasyon olmadığı varsayılabılır. Ancak yıllık ortalama debiler ve toplam yüklerde otokorelasyon önemli olmaktadır. Bu otokorelasyonun Kendall yöntemi sonuçlarını etkilememesi ve yanlış yorumlara varılmaması için (otokorelasyon Z değerlerini, dolayısıyla da eğilim var veya yok denmesini etkilememektedir) Hamed ve Rao (1998) tarafından bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde Kendall yönteminde hesaplanan varyans formülüne bir ekleme yapılmaktadır ve yeni bir varyans $V(S)$ elde edilmektedir.

$$V(S) = \text{Var}(S) \frac{n}{n_s} \quad (5)$$

$\frac{n}{n_s}$ terimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{n}{n_s} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \rho_s(i) \quad (6)$$

Burada n veri sayısı ve $\rho_s(i)$ verilerin sıra numaraları arasındaki otokorelasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R(\tau) = \sum_{i=1}^{n-\tau} \frac{(x_i - \mu_x)(x_{i+\tau} - \mu_x)}{n - \tau} \quad (7)$$

Burada, $x_i, x_{i+\tau}$ sırasıyla i ve $i+\tau$ zamanlarındaki bağımlı değişken, $\tau =$ zaman gecikmesi, $\tau = 0, 1, 2, \dots, m$ olarak tanımlanır. μ ise x'lerin ortalama değeridir.

Otokorelasyon hesaplanırken zaman serisi herhangi bir yöntemle (Kendall-Theil veya regresyon) eğilimsiz hale getirilir. Bu çalışmada Kendall-Theil yöntemi kullanılmıştır. Kendall-Theil doğrusu hesaplanmış ve verilerden bu doğru çıkarılmıştır. Bu yolla zaman serisindeki eğilim önemli ölçüde ortadan kaldırılmıştır.

2.3 Beale Oran Tahmin Yöntemi

Yıllık toplam yüklerin hesaplanmasında değişik yöntemler mevcuttur (Preston v.d.,1989). Bu yöntemler, ortalama alınarak tahmin, oran tahmini ve regresyon yöntemleridir. Özellikle regresyon denklemleri sıklıkla yıllık toplam yüklerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Ancak yük ile debi arasındaki ilişkinin genel olarak logaritmik olması yük hesabına bir hata getirmektedir (Ferguson, 1986). Bu hata çeşitli yöntemlerle giderilmektedir (Cohn vd, 1989).

Bu çalışmada Beale oran tahmin yöntemi kullanılarak yıllık yük hesaplanmıştır (Young, 1988). Bunun nedeni, bu yöntemin hemen hemen bütün debi-AKM derişimi ilişkileri için en az hatalı yöntem olmasıdır. Beale yönteminde aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$L_{BRE} = Q \frac{\bar{l}}{q} \left\{ \frac{1 + \frac{1}{n} \left[\frac{\text{Cov}(l, q)}{\bar{l} \bar{q}} \right]}{1 + \frac{1}{n} \left[\frac{\text{Var}(q)}{q} \right]} \right\} \quad (8)$$

Burada, L_{BRE} Beale oran tahmini ile hesaplanan yıllık yük, Q yıllık toplam debi, \bar{q} debi ölçülen günlerdeki debi değerlerinin ortalaması, \bar{l} yük ölçülen günlerdeki yük ortalaması, $\text{Cov}(l, q)$ yük ve debinin

kovaryansı, $Var(q)$ debinin varyansı, n yılda ölçülen anlık debi ve yük değerleri sayısıdır. Bu denklemle yıllık AKM yükleri hesaplanmış, yıllık ortalama debilerle birlikte otokorelasyon düzeltmeli Kendall yöntemi ile yıllık eğilimler saptanmıştır.

2.4 Debi Ayarlaması

Debi sudaki kalite parametrelerinin derişimlerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Debi derişimleri AKM derişimleri ile doğru orantılıdır. Debinin derişim üzerindeki etkisi giderilirse, geriye kalan AKM derişimindeki eğilimler, havzadaki derişimlerden kaynaklanan etkileri içermektedir. Çoğu zaman AKM derişimindeki eğilimler tamamen debiye bağlı olmakta ve debi etkisi giderilince eğilimler ortadan kalkmaktadır.

Debi etkisinin giderilmesinde kullanılan yöntemler arasında en sıklıkla kullanılan LOWESS ile debi ayarlaması yöntemidir. LOWESS tekniği ile, derişim ve debi arasında parametrik olmayan, verilerdeki aykırı değerlerin etkisini en aza indiren ve yerel regresyon ile derişik oranlarda veri düzeltmesi (smoothing) yapabilen ilişkiler kurulabilmektedir. Bu çalışmada LOWESS ile AKM ve debi arasında bir ilişki kurulmuş ve elde edilen LOWESS eğrisi değerleri AKM derişimlerinden çıkarılarak debi ayarlı derişimler elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak eğilim analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Eğilim analizlerinin sonuçları Tablolar 4-8'da özetlenmiştir. Eğilimler Mevsimsel Kendall testi kullanılarak belirlenmiştir. Mevsimsel Kendall testinde her ay bir mevsim olarak kabul edilmiş ve her yılda 12 mevsim alınmıştır. Her mevsim için ayrı Kendall testi sonucu belirlenmiş ve bu sonuçlar Yöntem bölümünde anlatıldığı gibi birleştirilerek toplam bir sonuç elde edilmiştir. Ardarda gelen yılların serisel korelasyon gösterip göstermediği otokorelasyon fonksiyonlarının belirlenmesiyle saptanmıştır. Bu hesaplamalar sırasında bazı zaman serileri serisel korelasyon göstermiş, bazılarıysa göstermemiştir. Yöntem bölümünde sözü edilen düzeltmeler yapılarak serisel korelasyonun sonuçları üzerindeki etkisi azaltılmıştır.

Tablolarda, eğilimin var olup olmadığı konusunda karar verebilmek için kullanılacak olan p değerleri ve Kendall-Theil Eğim Tahmini hesaplamaları sonucu ortaya çıkan ortanca değerler ve tahminin parametrik olmayan alt ve üst sınırları verilmektedir. Kendall-Theil Eğim Tahmini'nin ortanca değerinin işareti eğilimin yönünü ($-$ = azalan, $+$ = artan şeklinde) vermektedir.

Eğilim olup olmadığı konusunda karar verebilmek için en sık kullanılan p -değeri, karşılaştırma kriteri %95 güvenilirliğe karşılık gelen 0.05'dir. Bu değerden daha düşük p değerine sahip istasyonlarda Kendall-Theil Eğim Tahmini'nin gösterdiği yönde ve büyüklükte bir eğilimin mevcut olduğu kabul edilmiş-

tir. Daha yüksek bir p değeri ise istasyonda istatistiksel açıdan %95 güvenilirlikte anlamlı herhangi bir eğilim olmadığı anlamına gelmektedir. Böyle bir durumda Kendall-Theil Eğim Tahmini sıfırdan farklı bir sonuç verebilir ancak bu anlamlı bir eğilim tahmini değildir. Ancak, 0.05 değerinin biraz üzerindeki bazı p değerlerinin de eğilim yönünden incelenmesi yerinde olabilir. Sonuçta %95 güvenilirlik göreceli bir kavramdır ve seçilmesi için sık sık kullanılmasının dışında bilimsel bir kıstas yoktur.

3.1. Anlık Aylık Debilerde Eğilimler

Anlık aylık debilerde 16 istasyondan 6 tanesinde anlamlı eğilimler saptanmıştır (Tablo 4). Bunlardan 2 tanesinde eğilimler pozitifdir. Anlık debilerle ortalama yıllık debiler arasında her akarsuda aynı tür bir eğilim sonucu çıkmamaktadır. Bu sonuç aylık eğilimlerin bazı durumlarda birbirlerinin etkilerini baskılayıcı özelliğinden ortaya çıkmaktadır. Bazı aylardaki pozitif eğilimler ile bazı aylardaki negatif eğilimler birbirlerinin etkilerini ortadan kaldırmaktadır.

16 istasyonun 6 tanesinde anlamlı olan veya olmayan pozitif eğilim vardır. Debilerde Türkiye genelinde azalma eğiliminin daha ağır bastığı görülmektedir.

Tablo 4. Anlık Aylık Debilerde Eğilim Analizi (%95 güvenilirlikte anlamlı olan p -değerleri koyu olarak belirtilmiştir)

İstasyon	p -değeri	Kendall Theil Eğim Tahmini		
		Alt Limit	Ortanca	Üst Limit
E0302	0.0038	-0.3730	-0.2762	-0.2143
E0316	0.1188	-0.1167	-0.0317	0.0115
E0601	0.0259	-0.0165	0.0000	0.0000
E0701	0.0071	-0.2421	-0.1765	-0.1399
E0902	0.3674	1.2583	1.6318	2.0639
E1335	0.9590	-0.0695	0.0786	0.2400
E1401	0.0015	-0.9125	-0.7472	-0.5267
E1413	0.2472	-0.8778	-0.7436	-0.5535
E1501	0.3527	-0.4349	-0.3311	-0.2686
E1818	0.2420	0.1269	0.3269	0.5273
E2004	0.5024	-2.1556	-1.5434	-0.9094
E2102	0.9352	-3.1000	-2.5770	-2.0762
E2119	0.0203	-0.5737	-0.3813	-0.2408
E2315	0.0465	-0.0902	0.3476	0.8046
E2316	0.1094	-0.0786	0.0017	0.0660
E2605	0.1443	-0.9800	-0.4631	-0.2968

3.2. Yıllık Ortalama Debiler

Tablo 5'de yıllık ortalama debiler kullanılarak yapılan eğilim analizleri verilmektedir. Yıllık ortalama debilerde 16 istasyonun 5'inde anlamlı bir eğilim mevcuttur. İki istasyonda (E1335 ve E2316) p değerleri 0.05 değerinin biraz üzerindedir. Bu istasyonlarda da eğilim olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak 16 istasyonun yedisinde eğilim saptandığı söylenebilir. Bu 7 istasyonun 5 tanesinde eğilimler negatiftir yani yıllık ortalama debiler azalmaktadır.

Bütün istasyonlar ele alındığında (p değerlerine bakılmaksızın) 16 istasyonun 10 tanesinde azalma görülmektedir.

Tablo 5. Yıllık Ortalama Debilerde Eğilim Analizi (%95 güvenilirlikte anlamlı olan p-değerleri koyu olarak basılmıştır)

İstasyon	p-değeri	Kendall Theil Eğim Tahmini		
		Alt Limit	Ortanca	Üst Limit
E0302	0.0022	-46242908	-41153340	-33367722
E0316	0.0038	-40600356	-36174052	-26926488
E0601	0.0016	-18930610	-14409525	-12876543
E0701	0.0418	-6951435.5	-5465583	-4005072
E0902	0.5666	-21544652	-13098915	622848
E1335	0.0515	-16403989	-8573856	-2585920
E1401	0.7074	-15042667	-7763104	2556167
E1413	0.6374	-3511018.75	14604408	33419146
E1501	0.9667	-11341152	1940291.375	10406874
E1818	0.5968	-5868851	18125922	37559372
E2004	0.7409	-102395992	-31512904	17712726
E2102	0.4044	26742544	64692940	90508288
E2119	0.8796	-26753024	-7554077.5	27357472
E2315	0.0218	47806624	64985200	82869104
E2316	0.0641	9487072	11646061	14700623
E2605	0.3986	-36329472	-18642106	-6412330.5

Bu sonuçlar Türkiye akarsularında (seçilen 16 istasyonun Türkiye genelini uygun bir şekilde temsil ettikleri kabul edilerek) yıllık ortalama debilerde azalma eğiliminin daha ağır bastığını göstermektedir. Bunun olası nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

- Su Kullanımındaki Artışlar : Türkiye’de tarımsal ve endüstriyel su kullanımı artmaktadır. Özellikle yağışın az olduğu bölgelerde akarsular üzerinde kurulan barajlar ve regülatörler geniş tarım arazilerine su sağlamaktadır. Akarsulardaki debi azalmalarının arkasında önemli ölçüde bu olgu yatmaktadır. Aynı zamanda endüstriyel su kullanımı da artmaktadır. Önemli bir su kullanıcı da termik santrallerdir. Bu tür tesisler akarsulardan çektikleri soğutma sularını belli bir buharlaşma kaybıyla akarsulara geri vermektedir.
- İklim Değişikliği: Dünyanın pek çok ülkesinde olduğu gibi Türkiye de sera etkisi nedeniyle değişen iklim koşullarıyla karşı karşıyadır. Kesin istatistiksel sonuçlara varılmamış olsa bile Türkiye’de 20. yüzyılın son çeyreğinde yağışların özellikle batı bölgelerinde bir azalma eğilimi gösterdiği gözlenmektedir. Aynı zamanda 1990 yılından sonra rekor derecede sıcak yazlar da yaşanmıştır. Yağışlardaki azalmalar ve hava sıcaklığının artması akarsu debilerini azaltıcı yönde etki etmektedir.
- Havzalarda İnsan Etkinlikleri: Akarsu havzalarında insan etkinlikleri (tarım, şehirleşme, endüstrileşme, madencilik, ormancılık) giderek artmaktadır. Bütün bu etkinlikler akarsuların su toplama sürecini değişik boyutlarda etkilemektedir. Bazı etkinlikler su miktarını arttırabilirken (geçirgen olmayan yüzeylerin artması, ormansızlaşma gibi), bazıları

da azaltmaktadır (buharlaşmayı arttırıcı etkinlikler gibi).

3.3. Anlık Aylık AKM Derişimlerinde Eğilimler

Anlık aylık AKM derişimleri için de Mevsimsel Kendall testi kullanılmıştır. Bu test sonucunda 16 istasyonun 9 tanesinde eğilim saptanmıştır (Tablo 6). Bu eğilimlerin hepsi negatiftir. Yani akarsularda AKM derişimleri azalmaktadır.

Akarsularda AKM derişimlerinin azalmasının en önemli nedenlerinden birisi debilerde görülen azalmadır. AKM’nin antropojen kaynakları da mevcuttur ve bu kaynaklar debi ile ters orantılıdır. Ancak havzalardan gelen yaygın kirletici kaynaklar (tarımsal etkinlikler, madencilik, erozyon) daha baskın olmaktadır. Bu kaynaklar debi ile doğru orantılıdır. Böylece debideki azalmalar AKM derişimlerindeki azalmaları da beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda akarsuların üzerindeki barajlar ve diğer su yapıları da AKM derişimlerini azaltıcı etki yapmaktadır. 16 istasyondan yalnızca 3 tanesinde anlamlı olan veya olmayan pozitif eğim mevcuttur.

Tablo 6. Anlık Derişimlerde Eğilim Analizi (%95 güvenilirlikte anlamlı olan p-değerleri koyu olarak basılmıştır)

İstasyon	p-değeri	Kendall Theil Eğim Tahmini		
		Alt Limit	Ortanca	Üst Limit
E0302	0.0000	-24.0556	-21.3095	-18.3000
E0316	0.0000	-8.6087	-5.9907	-4.0000
E0601	0.0205	-4.3750	-2.5455	-0.1429
E0701	0.9322	0.3222	0.6039	0.8824
E0902	0.7495	-0.7273	-0.3333	-0.1176
E1335	0.1037	-4.3333	-2.5167	-1.2941
E1401	0.0000	-44.1250	-37.6477	-33.1818
E1413	0.0059	-28.1250	-12.5193	-6.9826
E1501	0.0440	-5.4500	-2.6921	-0.4000
E1818	0.5549	1.1667	2.1683	3.2941
E2004	0.1169	-8.2500	-4.8784	-0.3240
E2102	0.1092	0.1571	0.6152	1.6000
E2119	0.0142	-5.1267	-3.3511	-2.1250
E2315	0.0218	-5.7143	-0.4044	3.4286
E2316	0.0014	-4.0000	-3.2519	-2.1538
E2605	0.1169	-2.4286	-0.5000	0.2105

3.4. Yıllık Toplam AKM Yükleri

Tablo 7’de yıllık toplam AKM yükleri kullanılarak yapılan eğilim analizleri verilmektedir. Aynı yıllık ortalama debilerde olduğu gibi, 16 istasyonun 7’sinde anlamlı eğilimler görülmektedir. Bu eğilimlerin 6 tanesi de negatiftir. Yıllık ortalama debiler ile yıllık toplam AKM yüklerinin ortak olarak eğilim gösterdikleri istasyon sayısı 3’tür. Yalnızca Batı Anadolu’daki istasyonlarda ortak bir eğilim söz konusudur. Bu durum, debi ile AKM yükü arasında doğru bir ilişki olduğu da göz önüne alındığında, eğilim yaratan mekanizmaların birden fazla olduğu

sonucunu ortaya koymaktadır. Böylece aradaki ilişkiden sapmalar açıklanabilir.

Akarsuların taşıdığı AKM yükleri barajlardan önemli ölçüde etkilenmektedir. Baraj yapımı bu açıdan azalmaların en önemli nedenlerinden biridir. Havzalardaki insan etkinlikleri ise genel olarak yükleri arttırma eğilimindedirler.

Tablo 7. Yıllık Toplam Yüklerde Eğilim Analizleri (%95 güvenilirlikte anlamlı olan p-değerleri koyu olarak basılmıştır)

İstasyon	p-değeri	Kendall Theil Eğim Tahmini		
		Alt Limit	Ortanca	Üst Limit
E0302	0.0182	-76810.9687	-53912.6328	-39490.7383
E0316	0.0000	-67382.8828	-60176.4492	-50633.0000
E0601	0.0038	-23524.5293	-19768.0156	-15506.9521
E0701	0.1821	-3069.6672	-1965.0756	-778.0175
E0902	0.9297	-5995.3750	-570.9891	1856.8136
E1335	1.0000	-48122.0508	-559.7500	38402.3164
E1401	0.0037	-284387.3438	-252294.4062	-204783.6250
E1413	0.6024	-131936.6875	-48166.8359	22556.0996
E1501	0.7075	-76265.3906	-26776.6367	15707.9170
E1818	0.6277	-11773.7393	26795.2227	57631.0781
E2004	0.0170	-297201.4375	-209504.4062	-142980.8906
E2102	0.0020	726035.6250	918477.0625	1096038.3750
E2119	0.0280	-132231.7500	-101929.2031	-75734.1172
E2315	1.0000	-74580.9609	1649.0000	67297.8750
E2316	0.1718	-31373.5000	-20286.1543	-14313.2773
E2605	0.2684	26869.6660	60532.6719	87012.5469

3.5. Debi Ayarlı Derişimlerde Eğilimler

Daha çok yaygın kaynaklardan akarsulara ulaşan AKM havzalara düşen yağış ve dolayısıyla yüzey akışı ile taşınmakta ve artmaktadır. Yüzey akışı debiyi arttırdığından AKM ile debi arasında aynı yönde bir ilişki vardır.

Debilerde görülen eğilimler bu ilişkiden dolayı AKM derişimlerine de yansımaktadır. Debilerde negatif eğilimler kendilerini AKM derişimlerinde düşüşler olarak hissettirmektedir. Aynı şekilde pozitif eğilimler de AKM derişimlerine pozitif eğilimler olarak yansımaktadır. Böylece akarsuyun havzasında AKM derişimlerini etkileyebilecek değişimlerin etkisi tam olarak yansıyamamaktadır. Bu değişimler örneğin ormansızlaşma veya şehirleşme olabilir. Bazı durumlarda debi eğilimleri bu tür etkileri tamamen maskeleyebilmekte ve yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir.

Debinin AKM üzerindeki bu etkisi debi ayarlı derişimler kullanılarak bir ölçüde giderilebilir. Debi ayarlı derişimler, akarsuyun havzasında süregelen süreçlerdeki eğilimleri AKM derişimlerine daha iyi yansıtabilmektedir. Tablo 8'da debi ayarlı derişimler kullanılarak elde edilen eğilimler verilmiştir.

15 istasyonun 7 tanesinde eğilimler mevcuttur ve bu eğilimlerin hepsi negatiftir. Bu sonuç debi ayarlanması yapıldıktan sonra da derişimlerde negatif eğilimlerin olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bazı akarsuların havzalarında debiden bağımsız bazı süreçler AKM derişimlerini etkilemektedir. Bu süreçlerin ne oldukları her bir havzanın topografik

özelliklerinin ve bitki örtüsü ve arazi kullanımının incelenmesi ile belirlenebilir.

Tablo 8. Debi Ayarlı Derişimlerde Eğilim Analizi (%95 güvenilirlikte anlamlı olan p-değerleri koyu olarak basılmıştır)

İstasyon	p-değeri	Kendall Theil Eğim Tahmini		
		Alt Limit	Ortanca	Üst Limit
E0302	0.0000	-21.1450	-18.4350	-15.0999
E0316	0.0000	-8.2121	-6.7816	-4.5711
E0701	0.3674	1.2583	1.6318	2.0639
E0902	0.9623	-0.7292	-0.3065	-0.0433
E1335	0.0754	-5.6177	-3.5205	-2.0299
E1401	0.0000	-42.8406	-38.3954	-33.8139
E1413	0.2279	-21.2899	-13.0291	-4.8590
E1501	0.0052	-9.2602	-4.7979	-2.1021
E1818	0.3059	-0.0495	0.6763	1.9082
E2004	0.0843	-7.1852	-2.8750	-0.0246
E2102	0.2423	4.0332	5.3286	6.7552
E2119	0.0008	-5.1106	-3.2766	-2.1732
E2315	0.1141	-7.1429	-1.6277	1.6001
E2316	0.0001	-6.8301	-5.1056	-3.5910
E2605	0.5992	1.4060	2.7571	5.5777

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu Başkanlığı tarafından desteklenmiş bulunan "Türkiye Akarsularında Askıda Katı Madde Derişimlerinin Yıllar Boyu İncelenmesi" adlı genel amaçlı proje (Proje No: 030257) kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından toplanan veriler kullanılmıştır. Proje ekibi olarak, desteği nedeniyle Anadolu Üniversitesi'ne ve Türkiye akarsularında elde ettiği verileri bilim dünyası ile paylaşan Elektrik İşleri Etüd İdaresi'ne teşekkürü borç biliriz.

5. KAYNAKÇA

Albek, E. ve Albek, M. (2003). Trend Analysis of Environmental Time Series to Assess Environmental Change: An Application to Thracian Streams. *Int. Symposium on Marine and Inland Pollution Control and Prevention, Journal of Environmental Protection and Ecology Special Issue*, 196-204, Turkey.

Albek, E. (2002). Statistical Analysis of Water Quality Trends: An Application to Porsuk Stream. *Anadolu University Journal of Science and Technology* 3.(2), 281-292.

Albek, E. (2000). Türkiye Akarsularında Klorür Derişimlerinin Mevsimsel Bazda Yıllar Boyu Değişimleri. *1. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

- Albek, E. (1999). Seasonal and Long-term Trends in Sediment Transport of Turkish Streams. *The Fourth International Conference on the Mediteranean Coastal Environment, The Fourth International Conference on Environmental Management of Enclosed Coastal Seas (MEDCOAST-EMECS)*, Antalya.
- Cohn, T.A., DeLong, L.L. ve Gilroy, E.J. (1989). Estimating Constiuent Loads. *Water Resources Research* 25, (5), 937-942.
- EIEI (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü) (2000). *Su Akım Aylık Ortalama [1935-1995]*, Ankara.
- EIEI (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü) (2000). *Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları*, Ankara.
- Ferguson, R.I. (1986). River Loads Underestimated by Rating Curves. *Water Resources Research* 22 (1), 74-76.
- Hamed, K.H. ve Rao, A.R. (1998). A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data. *Journal of Hydrology* 204, 182-196.
- Hirsch, R.M. ve Slack, J.R. (1984). A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data with Serial Dependence. *Water Resources Research* 20(6), 727-732.
- Hirsch, R.M., Slack, J.R. ve Smith, R.A. (1982). Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. *Water Resources Research* 18(1), 107-121.
- Newell, A.D. ve Skjelkvale, B.L. (1997). Acidification Trends in Surface Waters in the International Program on Acidification of Rivers and Lakes. *Water, Air and Soil Pollution* 93, 27-57.
- Preston, S.D., Bierman, V.J. ve Silliman, S.E. (1989). An Evaluation of Methods for the Estimation of Tributary Mass Loads. *Water Resources Research* 25(6), 1379-1389.
- Young, T.C. ve Depinto, J.V. (1988). Factors Affecting the Efficiency of Some Estimators of Fluvial Total Phosphorus Load. *Water Resources Research* 24, 1535-1540.



Erdem Albek, 1961 yılında İstanbul'da doğdu. Boğaziçi Üniversitesi'nden 1984 yılında mezun oldu. Yüksek lisans ve doktora öğrenimini Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü'nde tamamladı. Halen Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde

Doçent olarak görev yapmaktadır.



Serdar Göncü, 1978 yılında Eskişehir'de doğdu. Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimini Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde tamamladı. Halen aynı bölümde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.