

1. GİRİŞ

Tatlı su kaynaklarının artan kirliliği kullanılabilir su kaynaklarını azaltmakta ve canlıların yaşamları üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Hızlı nüfus artışı ve endüstriyel gelişmeye paralel olarak bu iki faktörün önemi Türkiye'de de artmakta, su kaynakları kalitelerinin takibi ve kontrolü üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır.

Su kalite eğilimlerinin takibi çalışmaları çerçevesinde, noktasal (point) ve yayılı (nonpoint) kirlilik kaynaklarının tanımlanması, takibi ve kontrolü işlemlerine önem verilmektedir. Bu amaçla başlatılan su kalitesi gözlem çalışmaları ile su kaynaklarının halihazır durumu, zamanla ortaya çıkabilecek kalite değişimleri ile konuma bağlı olabilecek değişimler araştırılmaktadır.

Su kalitesi gözlemleri hemen her ülkede eksik ve kesikli veri dizilerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla klasik istatistik (parametrik) metodların kalite gözlem verilerinde kullanılması bu verilerin düzensiz karakterde olmasından dolayı güvenilir sonuç vermemektedir. Bununla birlikte kalite verilerinin genelde normal dağılıma uymaması [1] ve bunlara ilave olarak ülkemizde genelde bu verilerin gözlem sürelerinin kısa olması problemi daha da zorlaştırmaktadır.

Kalite verilerinde ortaya çıkan bu güçlükleri aşabilmek amacıyla su kalitesi trend analizi için literatürde değişik nonparametrik testler ileri sürülmüştür [2, 3, 4, 5, 6]. Bu testler verilerde normal dağılıma uygun, doğrusal, bağımsız olma gibi özellikleri dikkate almadığından parametrik yöntemlere göre daha esnekler ve yukarıda açıklanan problemleri aşabilmektedirler.

Ülkemizde kalite eğilimlerinin nonparametrik yöntemlerle belirlenmesi çalışmaları İçağa [7], İçağa ve Harmancıoğlu[8] ve DEBAG90-DPT [9] projesi çerçevesinde yapılmıştır. Tüm bu çalışmalarda kalite gözlemleri kısa süreli olduğundan test sonuçlarının güvenilirliğinin sınanması mümkün olmamıştır. Bu çalışmada ise nisbeten düzenli karakterde olan ve parametrik testlerle de

kullanılabilecek yeterlikte veri üzerinde çalışma yapılmış, araştırmacıların en çok önerdiği nonparametrik testlerden biri olan Spearman'ın rho testi ile parametrik Doğrusal Regresyon analizi kalite verilerine uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Gediz havzası kalite gözlem verileri kullanılmıştır.

2. EĞİLİM ANALİZİ YÖNTEMLERİ

Su kalitesi eğilimleri literatürde monotonik ve sıçrama türü eğilim olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kalite gözlemlerinin ortalamalarının ani olarak kabul edilebilecek kısa süreli zaman dilimlerinde değişim göstermesi sıçrama, sürekli olarak artan veya azalan bir değişim göstermesi ise monotonik eğilim olarak tanımlanmaktadır. Monotonik eğilim ise doğrusal ve eğrisel olarak ikiye ayrılabilir.

Gözlenmiş bir veri dizisinde eğilim (trend) aranması tümüyle istatistik veri analizi niteliğindedir. Söz konusu analiz, zamana göre toplanmış gözlemlerin olasılık dağılımlarının belirlenmesi ve zamana göre regresyon ve korelasyon analizlerinin yapılmasını gerektirir. Sonuçların da yine uygun istatistik testlerle sınanması zorunludur. Bu tür klasik yaklaşımlarda, eğilimin mevcudiyeti ve mertebesi Student-t istatistiği ile sınanmaktadır. Trend analizlerinde kullanılan klasik istatistik yöntemler kalite değişkenleri için belirli olasılık dağılım fonksiyonlarının varsayımı esasına dayandığından, uzun süreli ve düzenli gözlenmiş veri dizilerine ihtiyaç göstermektedir.

Trend analizlerinde uygulanan parametrik yöntemler, elde edilen verilerin nümerik değerlerini direkt olarak kullanan tekniklerdir [10].

Kalite gözlemlerinin yeterli sayıda olmaması, mevsimsellik etkisi altında bulunması ve bazı durumlarda da ölçüm değerlerinin belli sınır değerlerinden küçük olması nonparametrik yöntemlerin trend analizlerinde kullanılması gerekliliğini doğurmuştur. Gerçekten de nonparametrik testler bu tip problemler için daha esnek ve kullanışlıdır.

Nonparametrik testler örnek istatistiklerinin örnekleme dağılımlarına bağlı değildirler. Bu yüzden bu testler serbet dağılımlı metodlar olarak da adlandırılır.

Konu ile ilgili ilk çalışmaları yapan Lettenmaier [2] doğrusal eğilim analizi için Spearman rho testinin diğer parametrik testlere göre iyi performans gösterdiğini ifade etmektedir. Monoton değişim türündeki eğilimlerin analizinde Spearman, Kendall ve sıra istatistikleri gibi nonparametrik testler geçerli olmaktadır. Bu testlerden bazıları içsel bağımlılık ve periyodisite içeren dizilerde iyi sonuç vermemekte, Spearman ve Kendall testleri bu iki karaktere sahip dizilerde de iyi sonuç vermektedir [5].

Ülkemizde su kalitesi eğilimlerinin nonparametrik yöntemlerle belirlenmesi ilk defa İçağa [7] tarafından Gediz havzası kalite gözlemlerinde yapılarak monotonik ve sıçrama türü eğilimler belirlenmiştir. İçağa ve Harmancıoğlu [8] Yeşilirmak havzasında kirlilik eğilimlerinin araştırılması işlemini nonparametrik yöntemlerle yapmışlardır. Bu konuda ülkemizde en son yapılan çalışmalardan birisi olan DEBAG90-DPT no'lu araştırma projesi [9] tüm Türkiye havzalarında İçağa'nın [7] çalışması temel alınmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda monotonik ve sıçrama türü eğilim araştırmışlardır. Monotonik eğilim araştırılması işleminde öncelikle kalite değişkenlerimin akarsu debisine bağımlı olup olmadığı ve gözlem dizisinde içsel bağımlılık ve periodisite varlığı araştırılarak gözlem dizisinden uzaklaştırılmış, son olarak da Spearman'ın rho ve Orjinal-Mevsimsel Kendall testleri ile eğilim araştırılmıştır.

Berryman vd. [5] parametrik eğilim analizlerinin, sabit varyanslı, normal dağılımlı ve bağımsız hata terimleri içeren gözlemler gerektirdiğini vurgulamıştır. Birçok nonparametrik test ise sadece bağımsız hata terimleri içeren terimler gerektirir. Normal olmayan dağılım gösteren örneklerde parametrik testler nonparametrik testlere göre daha zayıf sonuçlar vermektedir. Berryman toplum dağılımı normal olmayan örneklerin incelenmesinde nonparametrik testlerin kullanılmasını tavsiye etmiştir.

3. UYGULANAN YÖNTEM

3. 1. Spearman'in Rho Testi

Gözlemlerden elde edilen serilerin iki sınıflandırması arasında korelasyon olup olmadığını araştırmak amacıyla kullanılan Spearman'ın rho testi, genellikle rank korelasyonu olarak da adlandırılır. Rank, gözlemlerin küçükten büyüğe sıralanıp sıra numarası verilmesinden ibarettir. Gözlem değerlerinin aynı olması halinde, bu gözlemlerin rank sayılarının ortalaması hesabı esas rank sayısı olarak uygulanır. Gözlemlerden meydana gelen vektör, $X=X_1, X_2, \dots, X_n$ olmak üzere; iki yönlü test ile tanımlanan sıfır hipotezine göre X_i ($i=1, 2, \dots, n$) değerleri aynı toplumdandır gelmektedir ve alternatif hipoteze göre X_i değerleri i ile artar veya azalır.

Test istatistiği r_s ile gösterilirse;

$$r_s = 1 - 6.T/(n^3 - n)$$

olarak verilir.

$$T = \sum_{i=1}^n (R(X_i) - i)^2$$

$R(X_i)$: i 'inci gözlemin rank değeri

i : gözlem sırası

n : gözlenmiş serilerin toplam sayısı

Monotonik eğilim araştırılmasında en uygun testlerden birisi olan Spearman'ın rho testi için Spearman, belirtilen olasılık seviyesinde rank sayıları arasında bağımlılık olmadığını gösteren maksimum r_s değerlerini bir tablo ile vermiştir [11].

$n > 30$ için r_s dağılımı normale yaklaşacağından normal dağılım tabloları kullanılabilir.

Bu halde r_s 'nin standart hatasının hesaplanması gerekmektedir. r_s 'nin varyansı:

$$\text{Var}(r_s) = \sigma_r^2 = 1/(n-1)$$

ve test istatistiği :

$$z = r_s / \sigma_r$$

Eğer z değeri α anlamlılık seviyesinde standart normal dağılım tablolarından bulunan z değerinden büyükse, X_i değerlerinin aynı toplumdaki geldiği hipotezi reddedilir[11].

3.2. Doğrusal Regresyon

Doğrusal eğilim içeren veri dizisinin parametrik gösterimi

$$Y_i = \varepsilon_i + i \tau + \gamma$$

şeklinde[2]. Burada ε_i : $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ ortalaması sıfır, varyansı σ_ε^2 olan normal dağılımlı değişken; τ eğilimin büyüklüğü; ve γ işlemin taban seviyesidir. Klasik iki değişkenli doğrusal regresyon olarak gösterildiğinde:

$$Y_i = \tau X_i + \gamma + \varepsilon_i$$

ve τ 'nin τ tahmini

$$\tau = ((\sum x_i y_i) / (\sum x_i^2))$$

olarak verilir. Burada

$$x_i = X_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

ve Y_i : i'nci gözlem olmak üzere

$$y_i = Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

değeridir. τ nun varyansı:

$$\text{Var}(\tau) = \sigma_\varepsilon^2 / (\sum_{i=1}^n x_i^2)$$

ile hesaplanabilir. T test istatistiği τ normal dağılımlı ise serbestlik derecesi $v=n-2$ için

$$T=|\tau| - t_{1-\alpha/2, v} \sigma_{\epsilon} / [(\sum_{i=1}^n x_i^2)^{1/2}]$$

olması halinde $\tau=0$ olarak verilen H_0 hipotezi , $T \leq 0$ ise kabul, $T \geq 0$ ise reddedilir. Burada σ_{ϵ} : σ_{ϵ} nin örnek tahmini olmak üzere;

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (Y_i - i\tau - \gamma)^2$$

ve

$$\gamma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - \tau \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

ile hesaplanabilir.

4. UYGULAMA

Gediz havzasında su kalite eğilimlerinin belirlenmesi için DSİ tarafından kalite gözlem ağı teşkil edilmiştir (Şekil 1). Her iki yöntemde de uygulanabilecek veri özelliklerine sahip olan gözlemleri bulunan 6 adet istasyonun, Tablo 1'de özellikleri, Şekil 1'de de konumları verilmiştir. Bu istasyonlarda DO: (Dissolved Oxygen Deficit) (mg/l); EC: (Electrical Conductivity) ($\mu\text{mhos/cm}$); $\text{NO}_3\text{-N}$: (Nitrat Azotu) (mg/l); $\text{NO}_2\text{-N}$: (Nitrit Azotu) (mg/l); $\text{NH}_3\text{-N}$: (Amonyak Azotu) (mg/l) ve SS: (Suspended Sediment) (mg/l) değişkenlerinin gözlemlerine Doğrusal Regresyon analizi ve Spearman'ın rho testi uygulanmış, istatistik açıdan %95 güven seviyesinde var olan eğilimler DO, EC, SS için Tablo 2'de Azot grubu parametreler için Tablo 3'te verilmiştir. Bu tablodaki (-) işareti eğilimlerin zamana göre azalan; (+) işaret ise artan karakterde olduğunu göstermektedir.

Sularda tuzluluğun ölçüsü olarak kullanılan elektriksel iletkenlik (EC) bütün istasyonlarda pozitif olmak üzere Urganlı, Killik, Muradiye, ve Menemen istasyonlarında da zaman ile artan bir eğilime sahiptir. Aynı sonuçlar Killik hariç olmak üzere parametrik testte de ortaya çıkmaktadır.

Sulamadan dönen sular, sürüntü maddeleri, evsel ve sanayi atıkları ile meydana gelen askıda katı maddenin (SS) Baklacı ve Medar Köprüsü istasyonları haricinde diğer dört istasyonda zamana karşı bağımlılık içerdiği Spearman'ın rho testi sonuçlarına göre söylenebilmektedir. Muradiye, Menemen istasyonlarının mansapta bulunması; Killik istasyonunun ise evsel atıklar ve yörede bulunan yoğun halıcılık işletmeleri sebebiyle bu bağımlılığı gösterdikleri düşünülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus bağımlılığın negatif olduğudur. Regresyon analizi sonuçları da Muradiye istasyonu hariç aynı sonucu vermiştir.

Daha çok kanalizasyon ve sulamadan dönen suların gübre taşınması sebebiyle oluşan azot grubu parametreler ($\text{NH}_3\text{-N}$; $\text{NO}_2\text{-N}$; $\text{NO}_3\text{-N}$) den $\text{NH}_3\text{-N}$ konsantrasyonunun Spearman'ın rho testi sonuçlarına göre SS değişkenine benzer şekilde Urganlı, Killik, Muradiye, ve Menemen istasyonlarında zamana bağlı olduğu ancak Killik istasyonunda bağımlılığın pozitif (artan) şekilde olduğu görülmektedir. Bu değişken için regresyon analizi sonuçları negatif olmak üzere Urganlı ve Menemen istasyonlarında bağımlılık vermiştir.

$\text{NO}_2\text{-N}$ için Urganlı, Muradiye ve Menemen istasyonlarında, $\text{NO}_3\text{-N}$ için ise Urganlı ve Menemen istasyonlarında Spearman'ın rho testine göre negatif eğilim olduğu görülmektedir. Bu iki değişken için regresyon analizi istatistik açıdan anlamlı eğilim sonucu vermemiştir.

6. SONUÇ

Su kalitesi değişkenlerinin ortak özelliği olan veri eksikliği, kesikli veri ve herhangi bir dağılıma uymama gibi nedenler parametrik testlerin su kalitesi değişkenlerinde kullanılmasını zorlaştırmakta ve hatta mümkün kılmamaktadır. Bu çalışmada yeterli gözleme sahip olan altı istasyondaki altı kalite değişkeni için hem zaman hem debi ilişkisi parametrik ve nonparametrik testlerle sınanmıştır. Sınama neticesinde iki ayrı yöntemin

sonuçlarının tutarlılığı karşılaştırılarak su kalitesi değişkenleri için eğilim analizinde Spearman'ın rho testinin kullanılıp kullanılmayacağı tesbit edilmeye çalışılmıştır.

Kalite değişkeninin zamana bağlı olarak değişimi test edilidiğinde parametrik ve nonparametrik test sonuçlarının genelde tutarlı olduğu görülmüştür. Test sonuçlarına göre Spearman'ın rho testi sonuçları %69.4 oranında regresyon analizi sonuçlarıyla uyuşmaktadır. Ayrıca mevcut eğilimlerin işaretlerinin %100 tutarlı olduğu görülmektedir. Bu iki yöntem Azot grubu değişkenlerde çok tutarlı sonuç vermemiştir. Azot grubu parametreler dikkate alınmadığında yöntemlerin tutarlılığı %89 a çıkmaktadır. Bu sonuçlara göre Azot grubu parametreler hariç olmak üzere kalite değişkenleri için yetersiz veri olması halinde nonparametrik test kullanılmasının eğilim analizi için olduğua iyi bir yaklaşım olacağı sylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Hirsch, R.M., &Slack, J.R., A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence, *Water Resources Research*, 20(6), 727-732, (1984).
- [2] Lettenmaier, D.P., Detection of Trends in Water Quality Data From Records With Dependent Observations, *Water Resources Research*, 12 (5), 1037-1046, (1976).
- [3] Hirsch, R.M., Slack, J.R.,&Smith, A., Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data, *Water Resources Research*, 18(1), 107-121, (1982).
- [4] Van Bell, G., & Hughes, J.P., 1984, Nonparametric Test for Trend in Water Quality, *Water Resources Research*, 20 (1), 127-136, (1984).
- [5] Berryman, D., Bobee, B., Cluis, D., & Haemmerli, J., Nonparametric Tests For Trend Detection in Water Quality Time Series, *Water Resources Bulletin*, 24(3), (1988).

- [6] Lettenmaier, D.P., Multivariate Nonparametric Tests For Trend in water Quality, *Water Resources Research*, 24(3), 505-512, (1988).
- [7] İağa, Y., Analysis of Trends in Water Quality Using Nonparametric Methods, Thesis of Master Degree in Civil Engineering Hydraulics-Hydrology and Water Resources Division, Dokuz Eylöl University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmır, 174p, (1994).
- [8] İçağa, Y., & Harmancıoğlu, N., Yeşilırmak Havzasında Su Kalite Eğilimlerinin Belirlenmesi. TMMOB, Türkiye İnşaat Mühendisliği 13. Teknik Kongre ve Sergisi, Ankara., (1995).
- [9] Harmancıoğlu, N., Alpaslan, N., Özkul, S., Fıstıkoğlu, O., İçağa, Y., Türkiye Akarsularında Kalite Eğilimlerinin Belirlenmesi. TÜBİTAK, Deniz Bilimleri ve Balıkçılık Araştırma Grubu (DEBAG) için adlı, DEBAG-90/DPT nolu araştırma projesi, raporu, 102 s., İzmır, Ocak 1996 (Proje yöneticisi: Prof. Dr. N. Harmancıoğlu).
- [10] Lettenmaier, D.P., Hooper, E.R., Wagoner, C., & Faris, K.B. 1991 Trends in Stream Quality in the Continental United States 1978-1987. *Water Resources Research* 27(3), 327-339, (1991).
- [11] Köksal, B.A. 1985, İstatistik Analiz Metodları, Üçüncü Baskı., Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 530s, (1985).
- [12] İağa, Y., Spatial Optimization of Hydrometric Data Networks by Systems Analysis Techniques, Hydraulics-Hydrology and Water Resources Division, Dokuz Eylöl University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmır, 227p, (1998):
- [13] Hirsch, R.M., Alexander, R.B., & Smith, R.A., 1991, Selection of Methods for the Detection and Estimation of Trends in Water Quality, *Water Resources Research*, 27(5), 803-813, (1991).