



Su Kalitesi Gözlem Ağlarının Performansının Değerlendirilmesi için Bir Yöntem Önerisi ve Gediz Havzasında Uygulanması

A Method Proposal for Evaluation of the Performance of Water Quality Monitoring Networks and Application in Gediz River Basin

Cem Polat Çetinkaya^{1*}, **Sezer Dilek Yiğit¹**

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: cem.cetinkaya@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 13.11.2018

Kabul Tarihi / Accepted: 24.01.2019

DOI:10.21205/deufmd.2019216214

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/How to cite: ÇETİNKAYA, C.P., YİĞİT, S.D. (2019). Su Kalitesi Gözlem Ağlarının Performansının Değerlendirilmesi için Bir Yöntem Önerisi ve Gediz Havzasında Uygulanması. DEUFMD, 21(62), 483-497.

Öz

Su kalitesi gözlem ağlarının tasarımı ve mevcut ağların iyileştirilmesi problemi; gözlem sürekliliği, ölçüm sıklığı ve gözlem konumlarının seçimi ile ilgili belirsizlikler, diğer yandan ise gözlem amaçlarının zaman içerisinde değişmesi gibi nedenlerden dolayı halen çözümü araştırılan bir problemdir. Bu nedenle gözlem ağı tasarımı ve mevcut gözlem ağlarının iyileştirilmesi konusu çok kriterli değerlendirmeye ihtiyaç duymaktadır ve zaman içinde değişen gözlem amaçlarına göre de var olan sistemin uyumlandırılması gerekliliği vardır. Problemin varolan karmaşık yapısı nedeniyle halihazırda kesin bir yöntem bulunmamaktadır. Çok kriterli optimizasyon ve karar verme yöntemleri ile yapılan önceki çalışmalarda özellikle kriterlere atanan önem ve ağırlık katsayılarının seçimi gözlem ağı ile ilgili verilen kararları doğrudan etkilemektedir. Sunulan çalışma, ağırlık katsayılarının tayinini gerektirmeyen bir çok kriterli karar verme yöntemi olan Referans Noktası Yöntemini (RNY) esas alarak, su kalitesi gözlem ağı performansını irdelemeyi amaçlamaktadır. Yöntem Gediz havzasına uygulanarak, 1985-2000 yılları arasında gözlemlenen veriler ile mevcut su kalitesi gözlem ağı amaçlarına göre istasyon bazında performans belirlenmiş ve çıkan sonuçlar irdelenmiştir. Referans Noktası Yöntemi gözlem ağı performansı değerlendirmesinde kolaylıkla kullanılabilir bir yöntem olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Yüzeysel Su Kalitesi Gözlem Ağı, Gözlem Ağı Performansı, Referans Noktası Yöntemi, Gediz Havzası*

Abstract

Water quality monitoring network design, evaluation and improvement problem is still investigated due to challenges and uncertainties such monitoring continuity, frequency, location and temporal changes in monitoring objectives. Regarding these issues, design and improvement of monitoring networks require multi-criteria evaluation and adaptation of the system to the temporal changes in monitoring objectives. Due to the complex nature of this problem, there is no exact solution yet. Many previous studies employed multi-criteria optimization and decision-making methodologies, however, it is revealed that the elicitation of importance and weighting coefficients assigned to criteria affect the decisions given for the monitoring networks. The presented study aims to evaluate the performance of these networks through the utilization of a multi-criteria decision-making method

called "Reference Point Approach", which does not necessitate the assignment of these weights. The method is applied to Gediz Basin and station based network performance is assessed through the use of observations between the years of 1985 and 2000 regarding the existing monitoring objectives. The obtained results indicate that reference point approach is useful in providing reliable results.

Keywords: Surface Water Quality Monitoring Network, Monitoring Network Performance, Reference Point Approach, Gediz Basin

1. Giriş

Su kalitesi; suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özniteliklerinden oluşur. Bu özniteliklerin tanımlanıp sınıflandırılması, mevcut kalitenin korunması ve gerekliyse iyileştirilmesi için belirli kriterler oluşturulması gözlem yapma adımı ile gerçekleşir [1]. Gözlem, belirli amaçlar için veri toplanmasına dayanır ve mevcut durum hakkında bilgi sağlar. Gözlem yapma ihtiyacı; eğilimi belirlemek, modelleme yapmak, uzun dönem tahminlerinde bulunmak gibi amaçlardan doğar. Gözlem yapma ihtiyacında neyin gözlemlendiğini anlamak için "bilgi döngüsü"nü anlamak gerekir. Bilgi döngüsünün oluşturulması için ihtiyaçlar belirlenmeli ve hangi kaynağın hangi bölümden toplanacağını belirleyen bilgi stratejisi hazırlanmalıdır. Bir sonraki adım olan veri toplama, verilerin türüne göre gözlem veya modelleme yoluyla gerçekleştirilebilir. Toplanan veriler analiz edilir ve sonuçlar bilgi ihtiyaçlarına göre yorumlanır [2].

Gözlemlenecek değerlerin belirlenmesi tek başına yeterli değildir. Su kalitesi gözlemi için en önemli adım gözlem ağı tasarımıdır. Gözlemlerin yapılmasında ölçüm yerlerinin seçimi, sıklığın belirlenmesi ve kalite değişkenlerinin tanımlanması gereklidir. Verilerin toplanacağı istasyonların seçimi, belirli kısıtlar altında gerçekleşmelidir. Bu aşamada; istasyonun kurulması gereken akarsu bölümü (makrolokasyon), yapılan deşarj ve akarsu öznitelikleri göz önünde bulundurularak bölgeye kurulacak istasyonun kesin yeri (mikrolokasyon) ve numune alınacak akarsu bölümünde su özniteliklerini en iyi temsil eden noktanın belirlenmesi (temsili lokasyon) aşamaları dikkate alınmalıdır. Ayrıca havza topografyası, akım özellikleri, kirlilik deşarjları gibi öznitelikler de yer seçiminde önemli role sahiptir [1]. Gözlem ağı tasarımında kullanılan yöntemler; verinin kullanılabilirliğinin ve içerdiği bilginin tanımlı olmaması, ölçüm konumu ve sıklığına bağlı bilgi transfer

yöntemlerinin kısıtlılığı gibi sebeplerle yetersiz kalmaktadır [3].

Su kalitesi gözlem ağı tasarımı ve ve tasarlanan ağların hem alansal hem de bilgi içeriği açısından optimizasyonu birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir ve halen inceleme konusudur. Sharp, bir ağın çıkışındaki kirletici kaynağının saptanmasındaki belirsizliği ölçmek için Horton 'un yaklaşımını kullanarak dış kolların sayısının temsili su kalitesi değişkeninin kirlilik yüküne dayalı olarak atanmasını önermiştir [4-5]. Tirsch ve Male, çok değişkenli doğrusal regresyon modelini önermişlerdir [6]. Özkul, bilgi teorisinin entropi prensibini su kalitesi gözlem ağlarının alansal ve zamansal olarak belirlenmesinde kullanılabilecek metotlar olarak önermiş ve uygulamıştır [7]. Benzer şekilde, Al-Zahrani ve Moied, kentsel su dağıtım sistemlerinde optimum su kalitesi örnekleme noktalarının belirlenmesinde Genetik Algoritma (GA) temelli bir metodoloji geliştirmişlerdir [8]. Çetinkaya ve Harmancıoğlu, Gediz Havzası'nda Dinamik Programlama Yöntemi (DPY) ile su kalitesi gözlem ağına korunması gereken minimum istasyon sayısını ve dinamik programlama yönteminde alt havza sayısı seçiminin yöntemin sonuçlarına etkisini incelemiş ve alt havza sayısının tespiti için bir metodoloji geliştirmişlerdir [9]. Villas-Boas v.d. Piabamha Nehri (Brezilya) var olan su kalitesi gözlem istasyonlarının makrolokasyonunu "kendi eşleşen sinir ağı" yöntemi ile irdeleyerek, en az üç adet istasyonun yerlerinin doğru tayin edilmediğini bulmuşlardır [10]. Benzer şekilde Asadollahfardi v.d. Sefid-Rud Nehri su kalitesi gözlem ağını genetik algoritma ile irdelemişlerdir [11]. Mokin v.d. "kompleks dinamik çok değişkenli ve alansal dağılımlı sistem (DMVSDS)" tanımından yola çıkarak Güney Bug (Ukrayna) Nehri su kalitesi gözlem ağının performansını su bütçesi ve yönetim bölgelerini temel alan bir yöntem ile değerlendirmiş ve tanımlanan amaçlara göre bir istasyon sıralaması elde etmişlerdir [12]. Önceki yapılan birçok çalışmada su kalitesi gözlem ağı tasarımında suyun özellikleri, kullanım amaçları

ve verilerin bilgi içeriğine yönelik hedefler göz önüne alınarak çözümler geliştirilmiştir [13]. Su kalitesi gözlem ağı tasarımında ön görülen amaçlar; su kalitesindeki değişimlerin tespiti, su kirliliği kontrol programlarının geliştirilmesi, belli bir amaç için kullanılan suyun kalite kontrolü, su kalitesi yönetiminin değerlendirilmesi v.b. olarak özetlenebilir. Yapılan önceki çalışmalar değerlendirildiğinde, su kalitesi gözlem ağlarının tasarımı ve mevcut ağların iyileştirilmesi problemlerine farklı yaklaşımlar uygulanırken problemin genel çözümüne halen ulaşılammıştır. Bugüne kadar ortaya konulan yöntemlerin çoğu gözlem ağından elde edilen verilerin, istatistiksel bilgi üretimine katkısına odaklandığı için, var olan ağın hangi amaçla kurulduğu ve bu ağın elemanları olan istasyonların (ya da örnekleme noktalarının) bu amaca ya da amaçlara hizmet edip etmedikleri sorusuyla ilgilenmemektedirler. Elde edilen verilerin istasyon ağının işletme amaçlarına ne kadar hizmet ettiği veya var olan istasyonların işletmedeki kolaylık ya da zorluklarını bir arada değerlendirme gerekliliği zaman içinde ortaya çıkmaktadır. İşletilmesinde sorunlar olan gözlem ağlarının genel amaca ne kadar hizmet ettiğini değerlendiren yöntemler de tam anlamıyla geliştirilememiştir. Diğer yandan zaman içinde değişen amaç ve hedeflere yönelik gözlem ağlarının değerlendirilmesi gerekliliği de mevcut ağların öngörülen amaçlara yönelik performanslarının ölçülmesini gerektirmektedir.

Önceki birçok çalışma, amaçların önem sıralarını belirlemek için ağırlık katsayılarına dayanmaktadır ve bu ağırlık katsayılarının tayini genel olarak nesnel değil öznel çıkarımlara dayanmaktadır. Bu sorunu aşmaya yönelik olarak, "Referans Noktası Yöntemi" ağırlık katsayısı tayin etme zorunluluğu olmadan sıralama yapabilmektedir.

Yapılan çalışmada Gediz Nehri Havzası'nda 1985-2000 yılları arasında işletilen 33 adet su kalitesi gözlem istasyonu ele alınmıştır. 1985-2000 yılları arasındaki sıcaklık (T), Na, Ca, Cl, elektriksel iletkenlik (EC), bulanıklık (Turb), NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, SS (askıda katı madde), BOD₅, DO (çözünmüş oksijen), COD (Kimyasal oksijen ihtiyacı) olmak üzere 13 adet kalite değişkeni değerlendirilmiştir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) verilerinden elde edilen kalite değişkenleri, temsil ettikleri kirlilik çeşitlerine göre sınıflandırılmış ve iki grup altında değerlendirilmiştir. Daha sonra her bir istasyonun drenaj alanı, sulama alanı, nüfus v.b.

öznitelikleri değerlendirilerek, bu özniteliklerin katkı koyduğu amaçlar tayin edilmiştir. Su kalitesinin modellenmesi, mevcut durumun tespiti ve uzun süreli değişimlerin tespiti olmak üzere 3 amaca (kriter) göre gözlem ağı performansı referans noktası yöntemi ile değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Referans noktası yöntemi ve gözlem ağı performansının değerlendirilmesi problemine uygulanması

Referans noktası yöntemi, enerji, arazi kullanımı, çevresel modeller, ticaret uygulamaları ve mühendislik tasarımına yönelik çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan bir yöntemdir [14-15-16]. Özellikle, bölgesel su kalitesi yönetimi, arazi kullanımı planlanması, kentsel imar planları, çevresel su tahsisi v.b uygulamalarda bu yöntem başarı ile uygulanmıştır [17]. Referans noktası yaklaşımı, her bir kriter için belirlenen ya da fiziksel olarak var olan en iyi (minimum ya da maksimum) referans değerlerinin tanımlanmasını ve çok kriterli karmaşık problemlerin analizinde var olan seçeneklerin bu referans düzeylerine uzaklık ya da yakınlıklarının ölçülerek sıralanmalarına dayanır [18]. Bu yaklaşımın temel amacı, her kritere tayin edilebilecek subjektif ağırlık katsayılarını kullanmadan daha objektif ve amaç odaklı sonuçların elde edilmesidir [19]. Yöntem, birden fazla referans noktası ile tanımlanan karmaşık bileşenli amaçları olan karar verme problemlerinin çözümünde de kullanılmaktadır [20].

Sunulan çalışmada referans noktası yöntemi, su kalitesi gözlem ağlarının performansının değerlendirilmesinde, gözlenen su kalitesi değişkenlerinin çokluğu, her değişkenin farklı kirlilik kaynaklarını tarif etmesi, verilerin düzensizliği ve devamlı olmayışı, her istasyonun işletme sürelerinin ve işletme amaçlarının farklılığı gibi nedenlerle tercih edilmiştir. Burada vurgulanması gereken en önemli nokta, yukarıda anılan etkenlerin istasyon performansına olan katkılarının tayininde yöntemin ağırlık katsayılarının atanmasına ihtiyaç duymamasıdır. Yöntemin su kalitesi gözlem ağı performansının ölçülmesine uyarlanmasında öncelik, birden fazla amaca hizmet eden ağı istasyon bazında performans değerlendirmesini yaparak en iyi ve en kötü istasyonları tespit etmektir.

Gözlem amaçlarının gerçekçi ve spesifik olarak tanımlanmaması, ölçüm ağından beklenen bilgi ile üretilen bilgi arasında uyumsuzluklara neden olmakta ve ihtiyaç duyulan bilginin sağlanamamasına yol açmaktadır. Mevcut bir gözlem ağının irdelenmesinde, ağ hakkındaki bilgiler, sorunlar, beklenen bilgi ile yeterliliği, ağın konum ve ölçüm sıklığı ve istasyonun spesifik amaçlarının belirlenmesi gereklidir. Bu belirleme çalışması, amaçların sağlanıp sağlanmadığının değerlendirilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Bu özelliklerin periyodik olarak değerlendirilmesi ölçüm ağının sağlıklı ve güvenilir biçimde gelişimini de sağlamaktadır. İstasyonların sıklık, ulaşılabilirlik, veri sayısı, online istasyon olması gibi ortak öznitelikleri ve gözlemlenen verilerin kirlilik temsili açısından sınıflandırılması ölçüm ağı için belirlenmiş gözlem amaçları doğrultusunda yapılmalıdır. İstasyonlarda gözlemlenen çok sayıdaki su kalitesi parametresi arasından seçim yapabilmek ve performansı ölçebilmek için kirlilik envanterlerinin oluşturulması, kalite standartlarına göre kirlilik sınıflarının tayini, potansiyel kirlilik kaynaklarının belirlenmesi gibi ön araştırmalar da gerçekleştirilmelidir [21].

2.1.1. İstasyonları temsil eden özniteliklerin seçimi

Bir gözlem ağındaki her istasyon, havza yönetim hedeflerine ve operasyonel kriterlere uygun öznitelikleriyle tanımlanmalıdır. Bu öznitelikler, gözlem istasyonunu etkileyen fiziki koşulları da göz önünde bulundurarak drenaj alanı, nüfus yoğunluğu, sulama alanı, istasyonun işletme süresi, istasyonun teknolojisi, istasyonun ulaşılabilirliği, istasyonun bulunduğu bölgede anlık akım gözlem istasyonlarının varlığı vb. olarak seçilebilir. İstasyona özgü öznitelikleri tanımlamak için gözlem sayısı, verilerin istatistiksel parametreleri, gözlem süresinin uzunluğu ve benzeri öznitelikler de göz önüne alınabilir. İstasyonların öznitelikleri istasyonun istenilen performansını amaca göre ölçen göstergeler olarak değerlendirileceği için, özniteliklerin seçimi ağ performansının istasyon bazında değerlendirilmesi sürecinde önemlidir. Seçilen öznitelikler, ağıdaki genel durumu yansıtmalı ve toplanan verilere dayanarak elde edilen bilgiler de dahil olmak üzere istasyonun temel özniteliklerini de belirtmelidir. Öte yandan seçilen öznitelikler, ağı oluşturan tüm istasyonlar için geçerli olmalıdır ve her bir özelliğin her istasyon için hesaplanması kolay

olmalıdır. Bu durum, istasyonlar arasında bir sıralama oluşturarak karşılaştırma yapılmasını mümkün kılar [22].

Belirlenen gözlem ağı işletme amaçlarına, diğer bir deyişle kriterlere hizmet eden öznitelikler farklı birimlerde olacağından istasyonlar için hesaplanan her bir öznitelik değeri tüm değerler göz önüne alınarak önce normalize daha sonra da üniformize edilmelidir. Hesaplanan öznitelik değerlerinin (0, 1) aralığında boyutsuz değerler almalarını sağlamak için her istasyona ait öznitelik değerleri Box-Cox dönüşümü Denklem (1) ile normalize edilir.

$$y_i = \frac{x_i^\lambda - 1}{\lambda} \quad \lambda \neq 0 \text{ için} \quad (1)$$

Box-Cox dönüşümünde y_i dönüştürülen veri, x_i orijinal çarpık veriler ve λ , deneme yanılma yöntemi ile tahmin edilecek olan bir parametre değeridir. λ değeri çarpıklık katsayısını sıfır ya da sıfıra yakın yapacak bir değer olmalıdır [23]. Normalize edilmiş değerler, Olasılık-İntegral Dönüşümü kullanılarak (0, 1) aralığı için üniform bir dağılım fonksiyonuna sahip olmak üzere bir kez daha dönüştürülür. Olasılık İntegral Dönüşümünde, herhangi bir X rasgele değişkeninin tanımlı ve sürekli F_x toplam olasılık dağılımı kullanılarak $Y = F_x(X)$ dönüşümüyle üretilen rasgele değişken Y, başlangıç aralığı (0,1) boyunca uniform olasılık dağılımına sahiptir. Kümülatif fonksiyon $F(x)$, Denklem (2) kullanılarak $F(z)$ olarak standartlaştırılabilir.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

Burada, z standartlaştırılmış normal veri, x: öznitelik verileri; μ : aritmetik ortalama; ve σ : standart sapmadır. Bu dönüşümden sonra, standartlaştırılmış kümülatif normal dağılım fonksiyonu $F(z)$, Olasılık-İntegral Dönüşüm teoremine göre kümülatif uniform dağılım fonksiyonuna $F(y)$ 'ye eşit olur:

$$F(z) = F(y) = \frac{y-a}{b-a} \quad (3)$$

ve böylece

$$y = (b - a)F(z) + a \quad (4)$$

elde edilir. Uniform dağılımın sınırları olarak $b = 1$ ve $a = 0$ değerleri alınırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$y = F(z) \quad (5)$$

Burada y , normal dağılım fonksiyonlu öznitelik değeri olan x 'in üniformize edilmiş verileri ve $F(z)$, x 'in standartlaştırılmış kümülatif normal dağılım fonksiyonudur[23].

Buradan hareketle tanımlanan Y ve $F(y)$ fonksiyonları, özniteliklerin ve referans noktasının çok boyutlu birimsiz bir karar alanında birer nokta veya vektör ile tanımlanmasını mümkün kılar. Bu karar alanını tanımlayan boyutlar ise gözlem ağının amaçlarını temsil eden kriterlerden oluşmaktadır. Bu sebeple herhangi bir istasyonun özniteliklerinin toplamı ile tarif edilen kriter skoru ve bu kriterlerin karar uzayında temsil ettikleri nokta o istasyonun değerini belirler ve referans noktasına olan mesafesi aracılığı ile de istasyonun performansı belirlenir. Referans noktası, tüm kriterlerin en iyi değerlerinden oluşan bir noktadır.

Normalize ve üniformize işlemlerinden sonra her bir a_{ij} niteliği değeri (0, 1) aralığında birimsiz au_{ij} değerlerine dönüşecektir. Bu sayede i inci gözlem istasyonu için n sayıdaki öznitelik ile ilişkili olan m inci kriterin skoru (SC_{im}), üniformize edilmiş j inci öznitelik değerlerinin (au_{ij}) toplamı üzerinden aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$SC_{im} = \sum_{j=1}^n au_{ij} \quad (6)$$

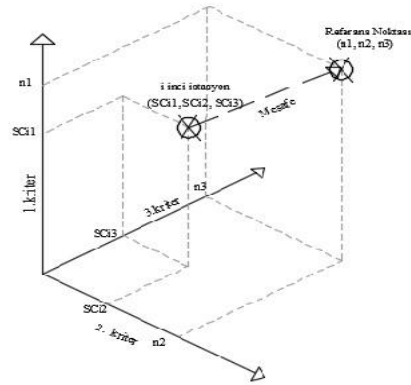
Her bir özniteliğin maksimum alabileceği değerin "1" olacağı göz önüne alındığında her bir kriterin tarif ettiği referans değeri, özniteliklerin (au_{ij}) toplamından ibaret hale gelecektir. Diğer yandan n adet kriterin tanımlandığı bir karar uzayının boyutları da kriter sayısı kadar olacaktır. Burada her bir istasyon için hesaplanan kriter skorları n boyutlu uzayda bir noktayı tarif ederler. Buna göre tanımlanmış referans noktasına en yakın olan istasyon, kriterlerin tümünü en iyi başaran istasyon olacaktır. Bu yakınlığın ölçümünde Öklid mesafesi kullanılır; örneğin iki boyutlu bir Öklid uzayında A ve B gibi iki nokta arasındaki mesafe $A(x_A, y_A)$ ve $B(x_B, y_B)$ koordinatları biliniyorsa;

$$D_{A-B} = ((x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanır.

Bir başka örnek vermek gerekirse, üç boyutlu bir karar uzayında herhangi bir "i" istasyonu $\{SC_{i1}, SC_{i2}, SC_{i3}\}$ koordinatlarıyla tek bir noktada temsil edilir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, benzer biçimde referans noktası da her kriter ile ilişkili

özniteliklerin toplam sayısına karşılık gelen üç boyutlu koordinatlara $\{n1, n2, n3\}$ sahiptir. Örneğin 3 adet öznitelik ile tanımlanan 1 no.lu kriterin referans noktasındaki koordinatı bu özniteliklerin alabileceği maksimum değer olan "1" değerlerinin toplamı olan " $n1 = 3$ " değeri olacaktır. Herhangi bir istasyonun bu değere olan uzaklığı o istasyonun performans değeri olacağından bu uzaklıkların küçükten büyüğe doğru sıralanması ile de en iyiden en kötüye doğru istasyonların sıralaması elde edilecektir.



Şekil 1. Bir gözlem istasyonunun üç boyutlu karar alanındaki performansı

3. Uygulama

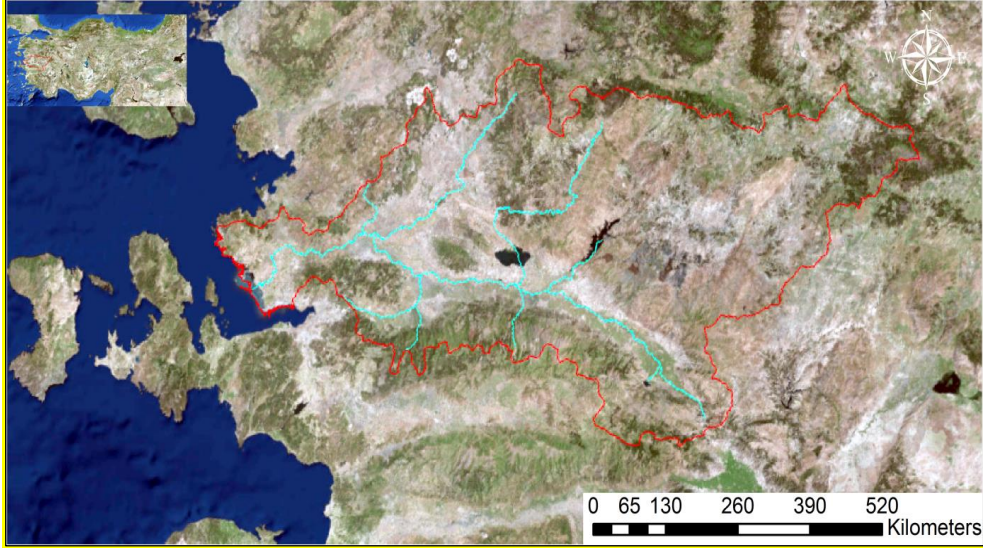
3.1. Gediz havzası ve su kalitesi gözlem ağı

Gediz Havzası Türkiye'nin batısında Ege Bölgesi'nde yer alır. Kuzey Ege, Susurluk ve Küçük Menderes Havzaları komşudur (Şekil 2). 1.703.394 ha alanı kaplayan havza, yükseklikleri 2000 m'yi bulan dağlar ile çevrelenmiş olup Ege Denizi'ne kadar uzanır. Havzanın adını aldığı Gediz Nehri 275 km uzunlukta olup, Murat Dağları'ndan doğar, Deli İniş, Demrek, Kum, Alaşehir ve Nif dereleri ile birleşerek Salihli ve Menemen Ovaları boyunca devam eder. Menemen Ovası'nı da geçerek Foça yakınlarında Ege Denizi'ne dökülür [24]. Havzada içmesuyu temini, sulama, taşkın koruma ve enerji üretimi amaçlı kullanılan 4 adet baraj ve birçok gölet bulunmaktadır. Havza genelinde sulama, kentsel, endüstriyel, çevresel koruma amaçlı su kullanımları ve Demirköprü barajında hidroelektrik enerji üretimi de mevcuttur.

Havzada Manisa, Kemalpaşa, Uşak ve Menemen gibi birçok sanayi bölgesi ve Manisa, Akhisar, Turgutlu, Salihli gibi önemli yerleşimler bulunmaktadır. Bu bölgelerin ve yerleşimlerin atıksuları arıtılarak ya da doğrudan Gediz

Nehri'ne deşarj edilmektedir. Diğer yandan orta ve aşağı bölgelerde bulunan tarımsal alanlardan da yayılı kirlilik Gediz Nehri'ne karışmaktadır [25]. Bu nedenlerle Gediz Nehri, hem su kalitesi hem de miktarı açısından tehdit altındadır ve

Özellikle su kalitesi gözlem ağından elde edilecek bilgilere göre yönetim hedeflerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

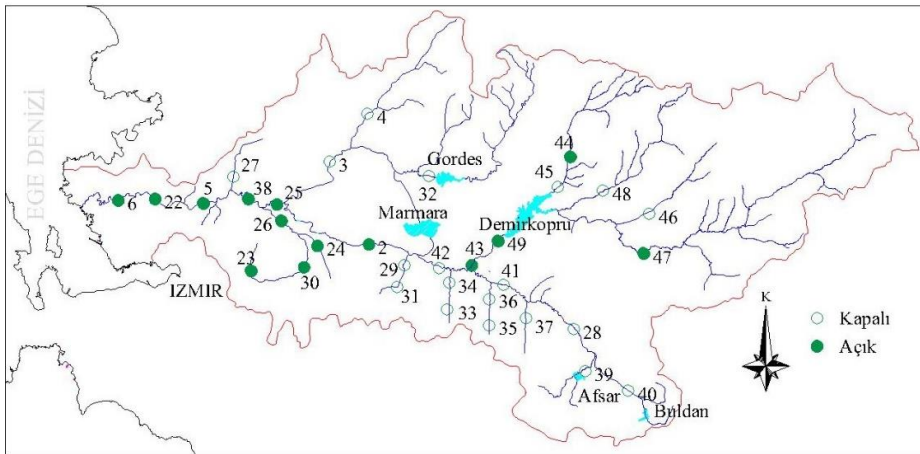


Şekil 2. Gediz Havzası sınırları

3.2. Su kalitesi gözlem ağı

Yapılan çalışmada daha önce DSİ tarafından işletilen 1985-2000 yılları arasına ait 33 adet su kalite gözlem istasyonu verileri kullanılmıştır. Şekil 3'te çalışma kapsamında incelenen 1985-2000 yılları arası Gediz Havzası su kalitesi gözlem istasyonları gösterilmektedir. Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği ve Yzeyssel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği'nde verilen genel şartlar ve ana parametre gruplarına göre sıcaklık,

sodyum, kalsiyum, klor, elektriksel iletkenlik, bulanıklık, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, askıda katı madde, znmş oksijen, BOD₅ (biyolojik oksijen ihtiyaı), COD (kimyasal oksijen ihtiyaı) olmak üzere 13 adet parametre ile su kalitesi sınıfları tespit edilip, temsil ettikleri kirlilik gruplarına göre 2 gruba ayrılmıştır. Su kalitesi değişkenleri grupları Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışma kapsamında incelenen 1985-2000 yılları arası Gediz Havzası su kalitesi gözlem istasyonları

Tablo 1. Su kalitesi değişkenleri grupları.

| Grup Adı | QSUM ₁ | QSUM ₂ |
|-----------------------------|--|---|
| Temsil Edilen Kirlilik Yüğü | Sulama ve inorganik maddelerden kaynaklı yayılı kirlilik | Organik madde, fosfat-azot, evsel ve sulama kaynaklı kirlilik |
| Değişkenler | T, Na, Ca, Cl, EC, Turb | NH ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, SS, BOD ₅ , DO |

3.2.1. Amaç ve özniteliklerin belirlenmesi

Gediz Havzası su kalitesi gözlem ağı için, su kalitesinin modellenmesi, mevcut durumun tespiti ve uzun süreli değişimlerin tespiti olmak üzere 3 amaç (kriter) belirlenmiştir. Su kalitesi modelleri; akarsu boyunca kalite değişimlerinin tespiti, elde edilen matematiksel modeller ile ortaya çıkabilecek ani değarj v.b. durumlarda etkilenecek akarsu kesimlerinin tayini ve buna bağlı olarak alınabilecek önlemlerin kestirilmesi için kullanılan karar verme araçlarından biridir. Bu nedenle gözlem ağının hizmet edeceği amaçlardan biri olarak tayin edilmiştir. İkinci amaç olan mevcut durumun tespiti amacı, gözlem ağından elde edilen veriler ile su kalitesinin akarsu boyunca durumunu belirlemek ve sorunlu akarsu kesimlerinin tespitini sağlamayı kapsar. Uzun süreli değişimlerin tespiti amacı ise su kalitesinde var olan eğilimlerin belirlenmesi, bir yandan alınacak önlemleri tespit etmek diğer yandan da önceden alınmış önlemlerin etkisini ölçmek işleri için gereklidir. Her bir amacı (kriteri) gerçekleştirmek için gerekli istasyon öznitelikleri (drenaj alanı, işletme süresi, değişken gruplarının ortalama değerleri, gözlem sayısı, istasyon devamlılığı vb.) belirlenerek gruplandırılmıştır. Önceki bölümlerde de belirtildiği üzere, tanımlanan özniteliklerin tüm istasyonlar için geçerli olmasına, ölçülebilmesine ya da hesaplanabilir olmasına dikkat edilmiştir. Özniteliklerin tümü maksimizasyon esasına göre tayin edilmiştir, diğer bir deyişle öznitelikleri diğerlerinden büyük olan istasyonlar amaçlara daha iyi hizmet eden istasyonlar olarak değerlendirilmiştir. Bu özniteliklerin normalizasyon ve üniformizasyon işlemleri sonucunda (0,1) aralığında boyutsuz değerleri bulunarak, her kriter için toplam değerleri alınmış ve referans noktası değerlerine göre mesafeleri bulunarak bir sıralama elde edilmiştir.

Göz önüne alınan öznitelikleri daha detaylıca açıklamak gerekirse; Drenaj alanı (DrA)

akarsudaki akışın kalite değişkenlerinin taşıyıcı ortamı olduğu için, dikkate alınan önemli özniteliklerden birisidir. Evsel kirliliğin belirlenmesi açısından nüfus (Pop), tarımsal ve sulama kaynaklı noktasal olmayan kirliliklerin belirlenmesi açısından sulama alanı (IrA) da öznitelik olarak seçilmiştir. İstasyonun getireceği bilginin ölçüsü olarak sayılabildiği için gözlem adedi (Snum) (ölçüm adedi fazla ise bilgi içeriğinin yüksek olması beklenir), uzun süreli gözlemlere sahip istasyonların korunması tercih edildiği için de işletme süresi (Oper) özniteliklere dahil edilmiştir. Ölçüm istasyonunda gözlenmiş su kalitesi değişkenlerinin ortalama değerlerini ifade eden kalite değişkenleri (Qsum#), istasyonun veri toplamadaki sürekliliği (Cont.), örneğin yapılacak bir su derleme yapısı gibi spesifik bir amaca hizmet etme durumu (Pro), istasyonun ulaşılabilirliği (ulaşım) ve su kalitesi gözlem istasyonunun olduğu bölgede akım gözlem istasyonunun varlığı (AGİ) gibi öznitelikler de göz önüne alınmıştır. Su kalitesi değişkenlerinin ortalama değerlerini ifade eden kalite değişkenlerinin (Qsum#) belirlenmesi için kullanılacak standart bir yöntem bulunmadığından sulama ve inorganik maddelerden kaynaklı yayılı kirlilik ile evsel ve sulama kaynaklı kirlilik olmak üzere 2 grupta değerlendirilmiştir.

Su kalitesi gözlem ağı istasyonları performans değerlendirmesi için hedeflenen üç amaçta; su kalitesi modelleme için drenaj alanı, işletme süresi ve veri adedi amacı gerçekleştirmede önem arz eden öznitelikler olarak alınmıştır. Mevcut durum tespiti için nüfus yoğunluğu, sulama alanı, işletme süresi, veri adedi ve her bir grubu temsil eden kalite değişkenleri seçilmiştir. Uzun süreli değişim tespiti için ise nüfus yoğunluğu, sulama alanı, işletme süresi, veri adedi, ölçüm sıklığı, istasyonun ulaşılabilirliği, akım gözlem istasyonunun varlığı, spesifik bir amaca hizmet edip etmediği gibi öznitelikler

DEU FMD 21(62), 483-497, 2019

hesaba katılmıştır. Özellikle bu amaç su kalitesindeki iyiye ya da kötüye olan eğilimlerin belirlenmesinde önemlidir ve seçilen öznitelikler o istasyonun bu amaca hizmet etmekteki başarısını ölçmekte kullanılmıştır. Diğer yandan kirlilik gruplarındaki kalite değişkenlerinin ortalamaları ve değerleri birbirinden çok farklıdır, bu nedenle her bir istasyon için temel bileşenler analizi yapılmış ve parametre gruplarında (Qsum) gözlenen parametrelerin kirlilik türüne yaptıkları katkı yüzde cinsinden hesaplanmıştır. Bu yüzdeler ile Qsum değerlerinin her istasyon için ortak ağırlıklı ortalamaları hesaplanarak üniformize edilmiştir. Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te sırası ile su kalitesi modelleme, mevcut durum tespiti ve uzun süreli değişim tespiti amacıyla göre istasyon öznitelik değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Su kalitesi modelleme amacıyla göre istasyon özellikleri.

| İstasyon No | Drenaj Alanı (DrA) (km ²) | Gözlem Sayısı (Snum) (adet) | İşletme Süresi (Oper) (yıl) |
|-------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2 | 1.951,75 | 990,00 | 16 |
| 3 | 1.221,80 | 361,00 | 8 |
| 4 | 512,00 | 253,00 | 8 |
| 5 | 179,30 | 1.057,00 | 16 |
| 6 | 168,40 | 750,00 | 16 |

DEU FMD 21(62), 483-497, 2019

Tablo 3. Mevcut durum tespiti amacına göre istasyon özellikleri.

| İstasyon No | Nüfus (Pop) | Sulama Alanı (IrA) (ha) | İşletme Süresi (Oper) (yıl) | Gözlem Sayısı Snum (adet) | QSUM ₁ | QSUM ₂ |
|-------------|-------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| 2 | 68.314 | 26.830,00 | 16 | 990,00 | 948,09 | 161,40 |
| 3 | 120.017 | 3.483,75 | 8 | 361,00 | 772,91 | 310,29 |
| 4 | 23.963 | 6.755,24 | 8 | 253,00 | 593,78 | 186,70 |
| 5 | 113.567 | 1.252,70 | 16 | 1.057,00 | 1.097,15 | 170,80 |
| 6 | 162.069 | 6.997,00 | 16 | 750,00 | 1.014,81 | 170,54 |
| 22 | 3.079 | 2.088,87 | 11 | 753,00 | 1.088,61 | 42,17 |
| 23 | 5.100 | 1.893,42 | 11 | 436,00 | 695,95 | 35,89 |
| 24 | 18.207 | 42.157,10 | 10 | 662,00 | 1.113,11 | 47,69 |
| 25 | 45.457 | 13.053,25 | 2 | 202,00 | 939,87 | 24,10 |
| 26 | 18.887 | 13.712,50 | 11 | 772,00 | 1.116,35 | 100,01 |
| 27 | 5.978 | 2.491,99 | 2 | 148,00 | 604,39 | 17,91 |
| 28 | 20.762 | 16.010,00 | 2 | 110,00 | 1.447,58 | 31,18 |
| 29 | 5.407 | 4.766,40 | 2 | 127,00 | 431,87 | 21,57 |
| 30 | 30.506 | 4.629,00 | 10 | 759,00 | 2.279,81 | 72,42 |
| 31 | 886 | 855,10 | 2 | 244,00 | 489,86 | 15,93 |
| 32 | 25.642 | 9.638,12 | 2 | 118,00 | 498,03 | 18,17 |
| 33 | 803 | 464,19 | 2 | 239,00 | 677,24 | 16,55 |
| 34 | 886 | 488,62 | 2 | 236,00 | 679,72 | 18,22 |
| 35 | 886 | 158,80 | 2 | 239,00 | 523,08 | 16,17 |
| 36 | 221 | 280,96 | 2 | 174,00 | 431,58 | 17,06 |
| 37 | 886 | 1.062,76 | 2 | 88,00 | 320,02 | 15,47 |
| 38 | 57.018 | 2.430,91 | 10 | 669,00 | 965,07 | 44,79 |
| 39 | 20.600 | 4.275,46 | 2 | 249,00 | 858,31 | 13,24 |
| 40 | 13.504 | 2.846,24 | 2 | 230,00 | 715,30 | 13,91 |
| 41 | 64.439 | 16.760,00 | 10 | 515,00 | 877,43 | 45,67 |
| 42 | 87.905 | 2.683,00 | 2 | 239,00 | 862,34 | 27,86 |
| 43 | 7.172 | 2.207,11 | 10 | 624,00 | 984,72 | 28,63 |
| 44 | 31.716 | 7.023,98 | 10 | 518,00 | 823,94 | 35,57 |
| 45 | 6.499 | 976,89 | 2 | 183,00 | 1.240,99 | 26,56 |
| 46 | 19.333 | 6.962,90 | 2 | 203,00 | 838,74 | 18,56 |
| 47 | 38.227 | 2.218,00 | 10 | 612,00 | 985,50 | 52,82 |
| 48 | 14.695 | 6.352,12 | 2 | 170,00 | 728,03 | 14,57 |
| 49 | 40.034 | 17.114,65 | 10 | 641,00 | 802,19 | 20,72 |

Tablo 4. Uzun süreli değişim tespiti amacına göre istasyon özellikleri.

| İstasyon No | Nüfus (Pop) | Sulama Alanı (IrA) (ha) | İşletme Süresi (Oper) (yıl) | Gözlem Sayısı Snum (adet) | Süreklilik (Cont) | Amaç (Pro) | Ulaşım | AGİ |
|-------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|------------|--------|-----|
| 2 | 68.314 | 26.830,00 | 16 | 990,00 | 0,22 | 1 | 0,33 | 1 |
| 3 | 120.017 | 3.483,75 | 8 | 361,00 | 0,16 | 0 | 0,00 | 0 |
| 4 | 23.963 | 6.755,24 | 8 | 253,00 | 0,11 | 0 | 0,00 | 0 |
| 5 | 113.567 | 1.252,70 | 16 | 1.057,00 | 0,24 | 1 | 0,66 | 1 |
| 6 | 162.069 | 6.997,00 | 16 | 750,00 | 0,17 | 1 | 1,00 | 0 |
| 22 | 3.079 | 2.088,87 | 11 | 753,00 | 0,25 | 1 | 0,66 | 0 |
| 23 | 5.100 | 1.893,42 | 11 | 436,00 | 0,14 | 1 | 1,00 | 1 |
| 24 | 18.207 | 42.157,10 | 10 | 662,00 | 0,24 | 1 | 0,33 | 1 |
| 25 | 45.457 | 13.053,25 | 2 | 202,00 | 0,37 | 0 | 0,00 | 0 |
| 26 | 18.887 | 13.712,50 | 11 | 772,00 | 0,25 | 1 | 0,66 | 1 |
| 27 | 5.978 | 2.491,99 | 2 | 148,00 | 0,27 | 0 | 0,00 | 0 |
| 28 | 20.762 | 16.010,00 | 2 | 110,00 | 0,20 | 0 | 0,00 | 0 |
| 29 | 5.407 | 4.766,40 | 2 | 127,00 | 0,23 | 0 | 0,00 | 0 |
| 30 | 30.506 | 4.629,00 | 10 | 759,00 | 0,28 | 1 | 1,00 | 0 |
| 31 | 886 | 855,10 | 2 | 244,00 | 0,44 | 0 | 0,00 | 0 |
| 32 | 25.642 | 9.638,12 | 2 | 118,00 | 0,21 | 0 | 0,00 | 0 |
| 33 | 803 | 464,19 | 2 | 239,00 | 0,43 | 0 | 0,00 | 0 |
| 34 | 886 | 488,62 | 2 | 236,00 | 0,43 | 0 | 0,00 | 0 |
| 35 | 886 | 158,80 | 2 | 239,00 | 0,43 | 0 | 0,00 | 0 |
| 36 | 221 | 280,96 | 2 | 174,00 | 0,32 | 0 | 0,00 | 0 |
| 37 | 886 | 1.062,76 | 2 | 88,00 | 0,16 | 0 | 0,66 | 1 |
| 38 | 57.018 | 2.430,91 | 10 | 669,00 | 0,24 | 1 | 1,00 | 0 |
| 39 | 20.600 | 4.275,46 | 2 | 249,00 | 0,45 | 0 | 0,00 | 0 |
| 40 | 13.504 | 2.846,24 | 2 | 230,00 | 0,42 | 0 | 0,00 | 0 |
| 41 | 64.439 | 16.760,00 | 10 | 515,00 | 0,19 | 1 | 0,66 | 1 |
| 42 | 87.905 | 2.683,00 | 2 | 239,00 | 0,43 | 0 | 0,00 | 0 |
| 43 | 7.172 | 2.207,11 | 10 | 624,00 | 0,23 | 0 | 0,33 | 1 |
| 44 | 31.716 | 7.023,98 | 10 | 518,00 | 0,19 | 1 | 1,00 | 0 |
| 45 | 6.499 | 976,89 | 2 | 183,00 | 0,33 | 0 | 0,00 | 0 |
| 46 | 19.333 | 6.962,90 | 2 | 203,00 | 0,37 | 0 | 0,00 | 0 |
| 47 | 38.227 | 2.218,00 | 10 | 612,00 | 0,22 | 1 | 1,00 | 0 |
| 48 | 14.695 | 6.352,12 | 2 | 170,00 | 0,31 | 0 | 0,00 | 0 |
| 49 | 40.034 | 17.114,65 | 10 | 641,00 | 0,23 | 1 | 0,67 | 0 |

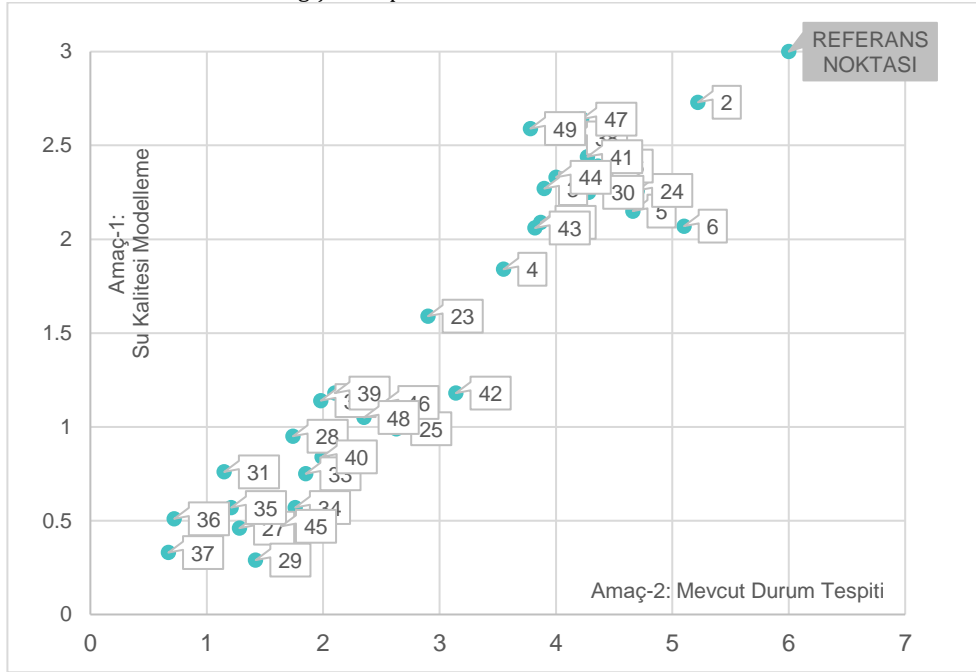
Temel Bileşenler Analizi birden çok değişkenin birbirinden bağımsız olmamaları durumunda, aralarındaki bağımlılığın yok edilmesi veya boyut indirgeme amacıyla kullanılmaktadır [26,27,28]. Çalışmada, Qsum gruplarını oluşturan parametre birimleri ve gözlem uzunluklarının birbirinden farklı olması nedeniyle, her grubu en iyi temsil eden değişken ve kovaryansın tespiti için Temel Bileşenler Analizi kullanılmış ve analizin varyans-kovaryans matrisinden yararlanılmıştır. Değişkenler, ortak gözlem yılları matrisi oluşturularak grupları temsil etme derecelerine göre sıralanmıştır. Grupları oluşturan parametrelerin ortak gözlemlendiği dönemlere

göre gruba %10 ve üzeri oranda sağladıkları katkıya göre parametrelerin grubu temsil ettiği kabul edilmiştir. Farklı parametrelerin Qsum grubuna koyduğu katkı yani kirlilik temsil yüzdeleri kullanılarak her istasyon için Qsum değerleri hesaplanmış ve bu değerler normalize ve üniformize edilerek Qsum skorları belirlenmiştir.

Yöntemde kullanılan toplam modelinin birim uyumsuzluğu sorunuyla başa çıkmak için, tanımlanan öznitelikler de benzer şekilde 0 ile 1 aralığı arasında normalize ve üniformize edilmiştir. Bununla birlikte, süreklilik, ulaşılabilirlik, akım gözlem istasyonunun varlığı

ve istasyonun spesifik bir amaca hizmet edip etmemesi var ve yok yani "0" ve "1" değerlerini aldıkları için oldukları gibi kullanılmıştır. Her istasyonun tayin edilen amaçlara göre skoru (SC_{im}) Eşitlik 6'da verilen toplam modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada her amaç için tanımlanan öznelik değerleri toplanmıştır. Elde edilen bu skor o amaç için o istasyonun karar uzayındaki koordinatlarından biri haline gelmektedir. Gözlem kriterleri göz önüne alındığında, mükemmel bir istasyonun tüm öznelik skorları "1" olacağından o amaç için referans noktası koordinatı dikkate alınan özneliklerin sayısı haline gelmektedir. Buna göre, "su kalitesi modelleme" kriteri için mükemmel bir istasyon "3", "mevcut durum tespiti" kriteri için "6" ve "uzun süreli değişim tespiti" kriteri için "8" skoruna sahip olmalıdır. İki amaca göre değerlendirmede "su kalitesi modelleme" ve "mevcut durum tespiti" çift amacı için referans karar uzayı iki boyutlu bir düzlem haline gelmekte ve referans noktası koordinatı (3,6) olmaktadır. Benzer şekilde "su kalitesi modelleme" ve "uzun süreli değişim tespiti" ikili

amacında referans noktası (3,8), "mevcut durum tespiti" ve "uzun süreli değişim tespiti" amaç çiftinde (6,8) değerlerini almaktadır. Her üç amaç birden değerlendirildiğinde karar uzayı Şekil 1'de olduğu gibi üç boyutlu bir hal alacak ve referans noktası (3,6,8) koordinatlarında bulunacaktır. Bu noktalara daha yakın koordinatlarda bulunan istasyonlar, belirtilen gözlem kriterleri açısından o amaçların herbirine daha iyi hizmet eden istasyonlardır. Diğer bir deyişle Eşitlik 7'de verilen Öklid mesafesi referans noktasına en kısa olan istasyon gözetilen amaçları en iyi yerine getiren istasyondur. Şekil 4'te Amaç 1 ve Amaç 2'nin değerlendirildiği karar uzayı örnek olarak verilmiştir. Bu yolla her bir kriterle göre ayrı ayrı, ikili ve üçlü amaçların birden değerlendirildiği durumlarda istasyonların referans noktasına yakınlıklarına göre bir sıralama elde edilmiştir. Tablo 6'da tek amaç, Tablo 7'de amaç çiftleri ve Tablo 8'de her üç amaç birden gözetildiğinde elde edilen istasyon performans sıralamaları verilmektedir.



Şekil 4. Amaç 1 ve Amaç 2'nin birlikte değerlendirildiği alternatif istasyonların skorları ve referans noktası

DEU FMD 21(62), 483-497, 2019

Tablo 6. Tek amaçlı referans noktası yaklaşımının sonuçları.

| Sıra No | (Amaç-1) | | (Amaç-2) | | (Amaç-3) | |
|---------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | <i>İstasyon</i> | <i>Uzaklık</i> | <i>İstasyon</i> | <i>Uzaklık</i> | <i>İstasyon</i> | <i>Uzaklık</i> |
| 1 | 2 | 0,27 | 2 | 0,78 | 41 | 1,82 |
| 2 | 47 | 0,36 | 6 | 0,90 | 2 | 1,84 |
| 3 | 49 | 0,41 | 24 | 1,30 | 26 | 1,97 |
| 4 | 38 | 0,46 | 5 | 1,34 | 5 | 2,15 |
| 5 | 41 | 0,56 | 26 | 1,64 | 24 | 2,25 |
| 6 | 26 | 0,61 | 30 | 1,72 | 6 | 2,44 |
| 7 | 44 | 0,67 | 41 | 1,73 | 30 | 2,77 |
| 8 | 3 | 0,73 | 47 | 1,78 | 49 | 2,79 |
| 9 | 24 | 0,74 | 38 | 1,86 | 23 | 2,80 |
| 10 | 30 | 0,75 | 44 | 2,00 | 44 | 2,86 |
| 11 | 5 | 0,85 | 3 | 2,10 | 38 | 2,87 |
| 12 | 22 | 0,91 | 22 | 2,13 | 47 | 3,05 |
| 13 | 6 | 0,93 | 43 | 2,18 | 22 | 3,86 |
| 14 | 43 | 0,94 | 49 | 2,22 | 43 | 4,13 |
| 15 | 4 | 1,16 | 4 | 2,45 | 3 | 4,68 |
| 16 | 23 | 1,41 | 42 | 2,86 | 4 | 5,08 |
| 17 | 42 | 1,82 | 23 | 3,10 | 25 | 5,27 |
| 18 | 39 | 1,82 | 25 | 3,37 | 42 | 5,43 |
| 19 | 32 | 1,86 | 46 | 3,48 | 39 | 5,61 |
| 20 | 46 | 1,87 | 48 | 3,65 | 46 | 5,66 |
| 21 | 48 | 1,95 | 39 | 3,90 | 37 | 5,72 |
| 22 | 25 | 2,01 | 40 | 4,01 | 28 | 5,80 |
| 23 | 28 | 2,05 | 32 | 4,02 | 32 | 5,82 |
| 24 | 40 | 2,16 | 33 | 4,15 | 48 | 5,89 |
| 25 | 31 | 2,24 | 34 | 4,24 | 40 | 5,92 |
| 26 | 33 | 2,25 | 28 | 4,26 | 29 | 6,35 |
| 27 | 34 | 2,43 | 45 | 4,36 | 27 | 6,45 |
| 28 | 35 | 2,43 | 29 | 4,58 | 31 | 6,49 |
| 29 | 36 | 2,49 | 27 | 4,72 | 45 | 6,51 |
| 30 | 45 | 2,53 | 35 | 4,79 | 33 | 6,59 |
| 31 | 27 | 2,54 | 31 | 4,85 | 34 | 6,59 |
| 32 | 37 | 2,67 | 36 | 5,28 | 35 | 6,64 |
| 33 | 29 | 2,71 | 37 | 5,33 | 36 | 6,92 |

Tablo 7. İki amaçlı referans noktası yaklaşımının sonuçları.

| Sıra No | (Amaç-1-2) | | (Amaç-2-3) | | (Amaç-1-3) | |
|---------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | <i>İstasyon</i> | <i>Uzaklık</i> | <i>İstasyon</i> | <i>Uzaklık</i> | <i>İstasyon</i> | <i>Uzaklık</i> |
| 1 | 2 | 0,8216 | 2 | 1,9993 | 2 | 1,8616 |
| 2 | 6 | 1,2927 | 41 | 2,5121 | 41 | 1,9081 |
| 3 | 24 | 1,4928 | 5 | 2,5291 | 26 | 2,0622 |
| 4 | 5 | 1,5833 | 26 | 2,5614 | 5 | 2,3073 |
| 5 | 26 | 1,7480 | 24 | 2,5932 | 24 | 2,3652 |
| 6 | 47 | 1,8167 | 6 | 2,5962 | 6 | 2,6084 |
| 7 | 41 | 1,8169 | 30 | 3,2652 | 49 | 2,8219 |
| 8 | 30 | 1,8800 | 38 | 3,4260 | 30 | 2,8741 |
| 9 | 38 | 1,9213 | 44 | 3,4942 | 38 | 2,9116 |
| 10 | 44 | 2,1134 | 47 | 3,5340 | 44 | 2,9405 |
| 11 | 3 | 2,2201 | 49 | 3,5691 | 47 | 3,0741 |
| 12 | 49 | 2,2610 | 23 | 4,1798 | 23 | 3,1384 |
| 13 | 22 | 2,3126 | 22 | 4,4077 | 22 | 3,9666 |
| 14 | 43 | 2,3772 | 43 | 4,6757 | 43 | 4,2386 |
| 15 | 4 | 2,7133 | 3 | 5,1265 | 3 | 4,7361 |
| 16 | 42 | 3,3915 | 4 | 5,6423 | 4 | 5,2129 |
| 17 | 23 | 3,4064 | 42 | 6,1372 | 25 | 5,6404 |
| 18 | 25 | 3,9265 | 25 | 6,2558 | 42 | 5,7231 |
| 19 | 46 | 3,9476 | 46 | 6,6417 | 39 | 5,8958 |
| 20 | 48 | 4,1413 | 39 | 6,8303 | 46 | 5,9610 |
| 21 | 39 | 4,3064 | 48 | 6,9323 | 32 | 6,1131 |
| 22 | 32 | 4,4327 | 32 | 7,0795 | 28 | 6,1519 |
| 23 | 40 | 4,5578 | 40 | 7,1487 | 48 | 6,2074 |
| 24 | 33 | 4,7252 | 28 | 7,1991 | 40 | 6,2989 |
| 25 | 28 | 4,7276 | 33 | 7,7870 | 37 | 6,3132 |
| 26 | 34 | 4,8894 | 37 | 7,8155 | 31 | 6,8654 |
| 27 | 45 | 5,0380 | 29 | 7,8345 | 29 | 6,9073 |
| 28 | 29 | 5,3219 | 45 | 7,8360 | 27 | 6,9357 |
| 29 | 31 | 5,3361 | 34 | 7,8383 | 33 | 6,9618 |
| 30 | 27 | 5,3618 | 27 | 7,9975 | 45 | 6,9857 |
| 31 | 35 | 5,3751 | 31 | 8,1000 | 34 | 7,0226 |
| 32 | 36 | 5,8334 | 35 | 8,1868 | 35 | 7,0700 |
| 33 | 37 | 5,9591 | 36 | 8,7030 | 36 | 7,3543 |

Tablo 8. Üç amaçlı referans noktası yaklaşımının sonuçları.

| Sıra No | Amaç 1-2-3 | | Sıra No | Amaç 1-2-3 | |
|---------|-----------------|----------------|---------|-----------------|----------------|
| | <i>İstasyon</i> | <i>Uzaklık</i> | | <i>İstasyon</i> | <i>Uzaklık</i> |
| 1 | 2 | 2,0172 | 19 | 46 | 6,9003 |
| 2 | 41 | 2,5742 | 20 | 39 | 7,0696 |
| 3 | 26 | 2,6333 | 21 | 48 | 7,2021 |
| 4 | 5 | 2,6671 | 22 | 32 | 7,3191 |
| 5 | 24 | 2,6970 | 23 | 40 | 7,4684 |
| 6 | 6 | 2,7582 | 24 | 28 | 7,4841 |
| 7 | 30 | 3,3509 | 25 | 33 | 8,1065 |
| 8 | 38 | 3,4573 | 26 | 34 | 8,2056 |
| 9 | 47 | 3,5525 | 27 | 45 | 8,2336 |
| 10 | 44 | 3,5582 | 28 | 37 | 8,2598 |
| 11 | 49 | 3,5926 | 29 | 29 | 8,2890 |
| 12 | 23 | 4,4116 | 30 | 27 | 8,3909 |
| 13 | 22 | 4,5005 | 31 | 31 | 8,4029 |
| 14 | 43 | 4,7686 | 32 | 35 | 8,5411 |
| 15 | 3 | 5,1788 | 33 | 36 | 9,0515 |
| 16 | 4 | 5,7607 | | | |
| 17 | 42 | 6,4001 | | | |
| 18 | 25 | 6,5714 | | | |

4. Bulgular

Gediz Havzası üzerinde, 1985-2000 yıllarına ait 33 adet su kalitesi gözlem istasyonunun farklı gözlem amaçları için değerlendirilmesi sonucunda özellikle 2, 5, 6, 24, 26, 30, 41 ve 44 numaralı istasyonların ön plana çıktığı görülmektedir. 38, 47 ve 49 numaralı istasyonlarda birçok durumda sıralamanın üst kesiminde bulunmaktadır. Daha önce yapılmış olan ve 33 adet istasyonun 14 adede indirgenmesini hedefleyen TÜBİTAK YDABAG-100Y102 numaralı projede [21] olduğu gibi bir ağ daraltma durumunda Referans Noktası Yöntemi'ne göre su kalitesi gözlem ağında öncelikli olarak tutulması gereken istasyonlar yukarıda belirtilen istasyonlar olmalıdır. Değişik amaçların seçilmesi durumunda ise farklı istasyonlar ön plana çıkabilmektedir. Örneğin, "uzun süreli değişim tespiti" amacına göre 23 no lu istasyon, "uzun süreli değişim tespiti" kriterini oluşturan AGİ ve Pro öznitelikleri açısından diğer istasyonlara göre daha iyi durumda olduğu için, yukarıda anılan istasyonlara ek olarak ilk 14 sıralamasına girebilmektedir. İki ve üç amaçlı durumlarda amaçların birisi "uzun süreli değişim tespiti" olduğu sürece 23 numaralı istasyon ilk 14 istasyon arasında kendine yer bulmaktadır.

5. Tartışma ve Sonuç

Devlet Su İşleri'nin Gediz Havzası'nda işlettiği 33 istasyonlu su kalitesi gözlem ağı 1998 yılında olduğu gibi daha az sayıya düşürülerek daraltılmak istendiğinde, ağın amaçları göz önüne alınarak korunacak istasyonlar Referans Noktası Yöntemi ile elde edilen sıralamadaki ilk 14 istasyon olarak belirlenebilmektedir. Bu sayede ağda tutulacak istasyonların hangileri olması gerektiğine yöntem ile karar verilebilir. Diğer yandan Referans Noktası Yöntemi farklı amaçların tek tek ya da bir arada gözetilmesi durumunda bu amaçlara en iyi hizmet eden istasyonların tespitinde de kullanılabilir. Tersine bir çıkarım olarak da kötü durumda olan istasyonlar da ortaya çıkmakta ve bu istasyonların iyileştirilmesi gereken yönleri de irdelenebilmektedir. Örneğin, AGİ bulunmayan bir istasyon belirli amaca hizmet açısından düşük performans gösterirken, AGİ açılması kararı ile daha iyi bir hale gelebilir. Bu haliyle yöntem ağın işletilmesi ve amaçların yerine getirilmesi durumlarını irdelemekte rahatlıkla kullanılabilir.

Referans noktası yöntemi, karar vericinin farklı birimdeki değişkenleri ve bağlı oldukları kriterleri ortak bütünde değerlendirmesini ve basit bir şekilde karar almasını sağlamaktadır. Karar vericiye farklı performans değerlendirme modellerini kullanma esnekliği de sunmaktadır. Herhangi bir ağırlık katsayısı gerektirmediği için, diğer yöntemlerde ortaya çıkabilecek öznitelik değerlendirmelerin etkilerini en aza indirmekte ve nesnel bir yaklaşım sağlamakta, karşılaşılan amaç sayısı, kriter ve öznitelikler arası önem sıralaması ve ağırlıklandırılması sorununu ortadan kaldırarak karar verme sürecini daha objektif temellere oturtmaya yardımcı olmaktadır [14, 29]. Bu durum hedeflerin, kriterlerin ve özniteliklerin doğru olarak tanımlanması koşuluyla yöntemin değişebilecek her amaca göre adaptasyonunu kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, bir öznitelik birden fazla amaca katkıda bulunabiliyor olması özelliği, sınırlı ve düzensiz veriler içeren durumlarda karar vermeyi mümkün kılmaktadır. Belirtilen hedefler, karar alanının yalnızca bir boyutunu oluşturmaktadır, bu sebeple birçok paydaş birden fazla tercihi aynı anda sunabilir ve alternatifler arasındaki dengeler karar sonrası analiz sırasında daha şeffaf olarak belirlenebilir. Yöntemin uygulanmasında ortak amaç ve öznitelikler tarif edilebildiği sürece, sadece havza değil, meteorolojik, sismik, hava kalitesi v.b. gözlem ağlarının da olduğu gibi bölgesel hatta ulusal ölçekte performans değerlendirmesi de yapılabilmektedir. Öte yandan, yöntem tek bir istasyonu kendi operasyonel amaçlarına göre de değerlendirebilir. Bu özellik de yöntemin bölge, ülke gibi büyük ölçeklerde kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Kaynakça

- [1] İcağa, Y. 1998. Spatial Optimization of Hydrometric Data Networks by System Analysis Techniques. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164s, İzmir.
- [2] Timmerman, J. G. 2014. Information Needs for Water Management. First edition. CRC Press Taylor & Francis Group, 234s, ISBN-13: 978-1466594746, ISBN-10: 1466594748.
- [3] Özkul, S. 2001. Su Kalitesi Gözlem Ağlarının Entropi Yöntemi ile Değerlendirilmesi. Turk J Engin Environ Sci 25: 435-452.
- [4] Sharp, W. E. 1971. A Topologically Optimum Water - Sampling Plan for Rivers and Streams. Water Resources Research, 7 (6), 1641-1646. DOI: 10.1029/WR007i006p01641.
- [5] Horton, R. E. 1945. Erosional Development of Streams. Geological Society Am. Bull., 56 (3), 275-

- 370, DOI:10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2.
- [6] Tirsch, F. S. ve Male, J. W. 1984. River Basin Water Quality Monitoring Network Design: Options for Reaching Water Quality Goals. In T.M. Schad (Ed.). Proceedings of Twentieth Annual Conference of American Water Resources Associations, AWRA Publications, 149-156.
- [7] Özkul, S. 1996. Space/Time Design of Water Quality Monitoring Networks by the Entropy Method (İngilizce). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 196s, İzmir.
- [8] Al-Zahrani, M. A., ve Moeid, K. 2001. Locating Optimum Water Quality Monitoring Stations in Water Distribution System. In Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges, 1-9, DOI: 10.1061/40569(2001)393.
- [9] Çetinkaya, C. P. ve Harmancıoğlu, N. B. 2011. Assessment of Water Quality Sampling Sites by a Dynamic Programming Approach. Journal of Hydrologic Engineering 17.2: 305-317, DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000420.
- [10] Villas-Boas M.D., Olivera F., de Azevedo J.P.S 2017. Assessment of the Water Quality Monitoring Network of the Piabanha River Experimental Watersheds in Rio De Janeiro, Brazil, Using Autoassociative Neural Networks. Environmental Monitoring Assessment Cilt 189: 439 DOI 10.1007/s10661-017-6134-9
- [11] Asadollahfardi G., Heidarzadeh N., Mosalli A., Sekhavati A. 2018. Optimization of Water Quality Monitoring Stations Using Genetic Algorithm, A Case Study, Sefid-Rud River, Iran. Advances in Environmental Research, Cilt. 7, No. 2 87-107. DOI: <https://doi.org/10.12989/aer.2018.7.2.087>
- [12] Mokin V.B., Kryzhanovskiy Y.M., Yascholt A.R., Sobko B.Y., Slobodianuk O.V. et al. 2018. The Method of Multi-Criteria Ranking of Monitoring Stations for Waterdischarge in Rivers for Determining Priorities of their Location. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108082Q; doi:10.1117/12.2501640
- [13] Harmancıoğlu, N. B., Özkul, S. D. Ve Alpaslan, M. N. 1998. Water Quality Monitoring and Network Design. Environmental data management. Springer Netherlands, 61-106, DOI:10.1007/978-94-015-9056-3_4.
- [14] Vujic B., Srdjevic Z., Srdjevic B. 2017. Reference Point Approach for Multi-objective Assessment and Reduction of Ground-Level O3 Air Quality Monitoring Network in Vojvodina Province, Serbia. Environ Model Assess (2017) 22:491–501. DOI 10.1007/s10666-017-9560-8
- [15] Kallio, M., Lewandowski, A., & Orchard-Hays, W. 1980. An Implementation of the Reference Point Approach for Multiobjective Optimization. WP-80-35. IIASA, Laxenburg, Austria, 29s.
- [16] Wierzbicki, A. P. 1980. The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization. In Fandel G. and Gal T. editors, MCDM Theory and Applications, Springer, Berlin, s 468-486, DOI: 10.1007/978-3-642-48782-8_32.
- [17] Wierzbicki, A. P. 1998. Reference Point Methods in Vector Optimization and Decision Support. IR-98-017, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 43s.
- [18] Wierzbicki, A. P. 2007. Reference Point Approaches and Objective Ranking. In Jürgen Branke, Kalyanmoy Deb, Kaisa Miettinen and Roman Slowinski, editors, Practical Approaches to Multi-Objective Optimization, number 06501 in Dagstuhl Seminar Proceedings, Dagstuhl, Germany. Internationales Begegnungs- und Forschungszentrum für Informatik, Schloss Dagstuhl, Germany, 20s, ISSN: 1862-4405.
- [19] Ogryczak, W. 2010. Ordered Weighted Enhancement of Preference Modeling in the Reference Point Method for Multiple Criteria Optimization. Soft Computing 14.5 : 435-450, DOI: 10.1007/s00500-009-0457-6.
- [20] Wierzbicki, A. P., Makowski, M., ve Wessels, J. 2000. Model Based Decision Support Methodology with Environmental Applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 475s, ISBN: 978-0-7923-6327-9.
- [21] Harmancıoğlu, N. B., Özkul, S., Fıstıkoğlu, O., Onuşluoğlu, G., Gül, A., Çetinkaya, C.P., İçağa, Y., Barbaros, F., Akyar, H., Kahramanoğlu, N., Seyrek, K., Baltacı, F., Onur, A. K., Yılmaz, N., Celtemen, S. P. ve Alpaslan, A. 2003. Efficiency Analysis and Network Optimization in DSI's Water Quality Monitoring Networks II (in Turkish). Report prepared for the Research Project granted by TUBITAK, Scientific and Technical Research Council of Turkey, Project code: YDABAG 100Y1002, İzmir.
- [22] Çetinkaya, C. P. 2007. Spatial Optimization of Hydrologic Monitoring Networks on Rivers. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 128s, İzmir.
- [23] Gibbons, J. D. ve Chakraborti, S. 1992. Nonparametric Statistical Inference. 3rd edition. Marcel Dekker, Inc. New York, 572s, ISBN-10: 0824786610, ISBN-13: 978-0824786618.
- [24] Çetin, H.C. ve diğer. 2009. Gediz Nehri Su Kalitesi Parametrelerinin Eğilim Analizi. TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, İzmir, 603-611.
- [25] TÜBİTAK MAM 2013. Gediz Havzası Nihai Raporu. <http://gediz.ormansu.gov.tr/gediz/Files/Gediz%20Havzas%C4%B1%20Nihai%20Raporu.pdf> (Erişim Tarihi: 02.11.2018).
- [26] Arnold, S.F. 1981. The Theory of Linear Models and Multivariate Analysis. John Wiley and Sons, Inc., USA, 475s, ISBN 0-471-05065-2.
- [27] Ludwig, J.A. ve Reynolds, J. F. 1988. Statistical Ecology. A Wiley-Interscience Publication., USA, 337s, ISBN 0-471-83235-9.
- [28] Sharma, S. 1996. Applied Multivariate Techniques. John Wiley and Sons, Inc., USA, 493s, ISBN 0.471.31064.6.
- [29] Lictevout E., Gocht M. 2018. Hydrometric Network Design in Hyper-Arid Areas: Example of Atacama Desert (North Chile). Hydrology Research 49 (4): 1208-1220. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.004>