



Su Kalitesi Gözlem İstasyonlarında Örneklenerek Değişkenlerin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Desteği ile Belirlenmesi: Gediz Havzası Örneği

Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 24.11.2023

Kabul/Accepted: 08.08.2024

Yayımlandı/Published: xx.xx.xxxx

Determination of Variables to be Sampled at Water Quality Observation Stations with Analytical Hierarchy Process (AHP) Support: Gediz River Basin Case Study

Filiz BARBAROS

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Akarsu havzalarında yüzeysel su kalitesi izleme çalışmalarında örneklenerek su kalitesi değişkenlerinin seçimi, aralarından seçim yapılabilecek değişken sayısının çok olması nedeni ile önemli maliyet sonuçları olan oldukça karmaşık bir konudur. Bu sorunu ele almak için farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bazı durumlarda, su kalitesi gözlemlerine ilişkin kimyasal, fiziksel ve biyolojik parametreler, çeşitli su kullanımlarına dayanarak belirlenirken; bazı durumlarda ise, bir gözlem ağı için her düzeyde farklı değişkenler içerecek şekilde izleme seviyeleri tanımlanmaktadır. İstatistiksel temelli olan bir yaklaşım, gözlemi yapılacak değişkenlerin sayısını azaltmak için, düzenli olarak izlenen su kalitesi değişkenleri ile az sayıda gözlemleri olanlar arasındaki ilişkileri araştırmaktır. Sunulan çalışma, ölçüm ağlarında gözlenmesi gereken değişken seçimi ve sonrasında karar verici makamlar için değerlendirme sürecini kolaylaştırabilecek bir yaklaşım önermektedir. Önerilen yaklaşım, değişken seçiminden önce izleme hedeflerinin tanımlanmasını ve bunu, hedeflere göre önceden seçilen değişkenlerin sayısını azaltmak için ilave seçim kriterlerinin takip edilmesini gerektirmektedir. Sunulan çalışmada su kullanımları ve etki değerlendirmeleri dikkate alınarak öncelikli izlenecek değişkenler belirlendikten sonra, karar vermede yaygın şekilde kullanılan çoklu kriterli karar verme yöntemi Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak bu değişkenlerin aynı değerlendirme düzlemine alınması prensibi benimsenmiştir. Burada, su kullanımları suyun halk tarafından faydalı kullanımını hedeflerken, etki değerlendirmesi noktasal ve noktasal olmayan suların kalite özelliklerinin belirlenmesini hedeflemektedir. Çalışmada, Gediz Nehri Havzası örneğinde, yoğun faaliyet alanı içindeki 6 istasyonda öncelikli izlenecek değişkenler belirlenmiş, değişkenlere ait ağırlıklı katsayılar belirlenmiş ve ölçüm güvenilirlikleri çerçevesinde yorumlanmıştır. Önerilen yaklaşım, mevcut veya yeni kurulacak su kalitesi gözlem ağında, gözlemi yapılan/yapılacak değişkenlerin alıcı ortam kirlilik düzeyini en doğru şekilde temsil edilebilmesi için etkili bir araç olacaktır.

Abstract

Selection of water quality variables to be sampled is a highly complex issue with significant cost implications due to the large number of variables to choose from. In some cases, chemical, physical and biological parameters related to water quality observations are determined based on various water uses; where different monitoring levels are defined for a network, including different variables at each level. A statistically based approach is commonly used to investigate the relationships between regularly observed water quality variables and those with few observations, to reduce the number of variables to be observed. The presented study proposes an approach that can facilitate the selection of variables to be observed for the use of decision-making authorities. In the presented study, the principle of getting the variables to the same evaluation level was adopted by using the Analytical Hierarchy Process (AHP), a multi-criteria decision-making method that is widely used in decision-making, considering water use and impact assessments. Here, while water use targets the beneficial use of water by the public, impact assessment aims to determine the quality characteristics of point and non-point inputs. In the study, the variables to be monitored primarily in six stations in Gediz River Basin case study were determined, the weighted coefficients are executed, and the results are evaluated within the framework of measurement reliability. The proposed approach will be an effective tool to represent the environmental pollution level of the observed variables in the existing or newly established water quality observation network in the most accurate way.

Anahtar Kelimeler: Su Kalitesi Değişkenleri; Su Kullanımı; Kirlilik Etkisi; Analitik Hiyerarşi Süreci; Gediz Nehri Havzası.

Keywords: Water Quality Variables; Water Use; Pollution Impact; Analytical Hierarchy Process; Gediz River Basin

1. Giriş

Su kalitesi ölçüm ağı tasarımında, istasyon yeri seçimi kadar istasyonlarda ölçülecek kalite değişkenlerinin seçimi de büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde bu alanda süregelen uygulama, akım gözlemi amacıyla kurulmuş istasyonlarda, alıcı ortamda standart denetiminin yapılmasını sağlayacak veya o yöredeki teknik ve laboratuvar imkanları çerçevesinde, ya da tamamen rastgele seçilmiş bazı değişkenlerin gözlenmesi şeklinde yer almaktadır. Bu tür bir yaklaşımın, ilgili bilimsel literatürde sıkça işaret edilen sistematik bir ölçüm ağı kavramına uymadığı, bu şekilde akarsudaki kalite değişiminin sağlıklı olarak gözleminin yapılmasının mümkün olamayacağı; bunun da havza yönetiminde isabetli kararlar verilmesini engelleyeceği açıktır. Dolayısıyla, ölçüm ağı tasarımında gözlemi yapılacak değişkenlerin de belli bir sistematik yaklaşım çerçevesinde belirlenmesi zorunlu olmaktadır.

Ölçüm ağı tasarımı, performansının belirlenmesi ve örneklenecek su kalitesi değişkenlerinin seçimi, su kaynaklarının yönetiminde ele alınan önemli başlıklardan biridir (Canter 1985, Çetinkaya ve Yiğit 2019, Çetinkaya ve Engin 2018, İnt.Kay.1). Doğru seçilmiş değişkenlerin sistematik şekilde gözleminin yapılması, sürdürülebilir bir izleme planının ve dolayısıyla planlı bir yönetim planının yapılabilmesindeki temel adımlardandır (Gündüz 2015). Bu adımda tanımlanmış belirli bir prosedürün olmaması günümüzde hala konu üzerinde çeşitli zorluklar yaşanmasına neden olmaktadır. Bu amaçla, sunulan çalışmada değişken seçimi özelinde, bahsedilen konunun bir bölümüne çözüm alternatifleri sunulmaktadır.

Örneklenecek su kalitesi değişkenlerinin seçimi, aralarından seçim yapılacak değişken sayılarının büyük miktarları nedeniyle oldukça karmaşık bir konudur. Seçim yöntemlerinden bazılarında, “su kullanımı” başlığı gözlemi yapılacak değişkenler için ana ölçüt olarak dikkate alınırken; bazılarında ise “örnek izleme çeşitliliği” (gözetim, yoğun kontrol veya proje odaklı programlar türünden) dikkate alınmaktadır (UNESCO-WMO 1972). Yevjevich ve Harmancıoğlu (1985) ve Harmancıoğlu ve Yevjevich (1986), sürekli olarak örneklenmesi gereken ve diğer değişkenlerle korelasyonları aracılığıyla tahmin edilebilen değişkenleri belirlemek amacıyla, günlük gözlenen su kalitesi değişkenleri arasındaki bilgi transferini araştırmışlardır. Benzer çalışmalar Harmancıoğlu vd. (1987) tarafından kirlilik değerleri yüksek bir nehir havzasına ait aylık gözlem verileri üzerinde örneklendirilmiştir. Regresyon yoluyla bilgi transferinin uygunluğunu değerlendirmek üzere bu çalışmalarda entropi temelli ölçümler kullanılmıştır. Bu

çalışmaların sonuçları, temelde su kalitesi değişkenlerinin birçoğu arasındaki ilişkinin önemsiz olduğunu ortaya koymuştur.

Huthmann (1979), bir su kalitesi değişkeni üzerinde, mabdan toplanan verileri kullanarak, mansap noktasındaki değişken değerlerini simüle etmiş; aynı zamanda, nehir için “çoklu giriş-tek çıkış sistemi modeli” geliştirerek örnekleme istasyonlarının sayısını ve zamansal frekansları azaltma sorununu da ele almıştır. Ölçülecek değişken sayısının azaltılması amacıyla uygulanabilecek bir yaklaşım da gözlenmiş kalite değişken değerleri arasında korelasyon ve regresyon analizi yapılmasıdır. Elde edilen korelasyon sonucunda, aralarındaki korelasyon katsayısı yüksek bulunan herhangi iki değişkenden birinin ölçülmesi; diğerinin ise, aralarındaki matematiksel ilişkiden kestirilmesi yoluna gidilebilir. Ancak bugüne kadar yapılan çeşitli çalışmalarda, su kalitesi değişkenleri arasında güvenilir ve anlamlı ilişkilere rastlanamamıştır (Harmancıoğlu vd 1986, 1987, Harmancıoğlu ve Yevjevich 1986; Sanders vd. 1983). Diğer çalışmalarda gözlemi yapılacak değişkenlerin sayısını azaltmak için, temel bileşen analizi gibi çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılmış (Karpuzcu vd. 1987) ve bu tür yöntemler ile temsil kapasitesi en yüksek su kalitesi değişkenlerinin, geleneksel korelasyon analizleri ile elde edilen sonuçlara göre daha iyi tahmin edildiği iddia edilmiştir. Tüm bu çalışmalar, gözlem istasyonları tasarımlarında temel alınan adımlar olmuştur (Literathy 1997).

Örneklenecek değişkenlerde daha fazla azaltma sağlamak için, regresyon ve temel bileşen analizleri de uygulanabilmekte olup sonuçlar gözlemi yapılacak değişkenlerinin seçimine bir temel oluşturabilir (Harmancıoğlu vd. 1999a, Yılmaz ve Özçelik 2018, Abed vd. 2019). Bu seçim, su kalitesine yönelik değerlendirme ihtiyacı temelinde, izlemeden kaynaklanan maliyetlerin minimizasyonu açısından oldukça önemlidir. Herhangi bir ölçüm ağına ölçülen değişkenlerin irdelenmesinde veya yeni bir ölçüm ağı için değişken seçilmesinde kullanılacak standart bir yöntem veya yaklaşım mevcut değildir. Bu amaçla, Harmancıoğlu vd. (1993, 1994, 1998, 1999a, 1999b ve 2003), değişken seçimi veya değerlendirme prosedürünü kolaylaştırmak için Chapman (1992) tarafından yapılan bir çalışmaya dayalı bir yaklaşım önermiş ve temel adımlarını aşağıdaki şekilde detaylandırmıştır.

- ölçüm ağı için değişken seçimi, önceden belirlenen izleme amaçları çerçevesinde yapılmalıdır;
- ölçüm ağının, gözlemi yapılan değişkenler ve sıklık gibi teknik özellikler açısından birbiriyle uyumlu

- çalışan istasyonlardan oluşması gerektiği; başka bir deyişle, ölçüm ağının sistematikliği dikkate alınmalıdır;
- (c) gözlemi yapılacak değişkenler, sucül ekosistemin biyokimyasal yapısının tanımlanmasına, doğal ve antropojen faktörlerin su kalitesine olası etkilerinin belirlenmesine olanak sağlayacak tür ve nitelikte olmalıdır;
- (d) çok sayıda değişken arasından seçim yapabilmek adına şu faktörler; (i) kirlilik envanterleri; (ii) su kullanımları açısından uyulması gereken su kalitesi standartları ve kriterleri; (iii) havzada potansiyel kirlilik kaynaklarının belirlenmesine yönelik ön araştırmaların sonuçları ve (iv) niteliği bilinmeyen yeni kirleticiler; dikkate alınmalıdır;
- (e) değişken seçiminde ölçüm ekonomisi önemli rol oynadığından, maliyet analizi için gerekli olan tüm bilgiler ölçüm yapan kuruluş tarafından detaylı olarak kaydedilip saklanmalıdır.

Mazlum (2002), ölçülmesi gereken su kalitesi değişkenlerinin belirlenmesi için yukarıda özetlenen izlenmesi gereken adımları uluslararası platformlara da sunma imkânı bulmuştur.

2000 yılı itibari Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifleri (SÇD)'nin yürürlüğe girmesi ile su kaynaklarının korunması çerçevesinde birçok alt başlığa temel oluşturmuş (İnt.Kay.3) ve 30/11/2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan ve 2015 yılında güncellenen "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" ile de su kalitesi izlenmesi belirli çerçeve ile tanımlanmıştır (İnt.Kay.2). SÇD'nin Türkiye'de su kaynakları yönetimine etkisi, direktifler kapsamında biyolojik kalite unsurları ile su kalitesinin gözlemi yapılması gereken değişkenlerinin tespiti için yapılan çeşitli çalışmalar ile konu detaylı bir şekilde çalışma alanı bulmuştur (Bulut ve Birben 2019, Uyanık ve Cebe 2017, Doğanay vd. 2019).

WWF (World Wildlife Fund)'nin Türkiye temsilcisi olan Doğal Hayatı Koruma Vakfı'nın "Yaşayan Nehirler, Yaşayan Ege Projesi" kapsamında, 4 Mayıs 2012 tarihinde gerçekleştirdiği "Su Kalitesi ve İzleme Çalıştayı" 'nda tartışılan temel başlıklardan biri su kalitesinin izleme yöntemleridir. Konu paydaşlar tarafından çeşitli açılardan ele alınmış; su kaynaklarının kalite ve miktarının birlikte ele alınarak bütüncül yaklaşımların benimsenmesi, Türkiye'de su kalitesi izlemenin sistematik olarak geliştirilmesi için gerekli çalışmaların yapılması yönünde ortak karara varılmıştır (İnt.Kay.4). Karar içeriğinde SÇD'ne uyum sağlanması da desteklenmiştir.

Sunulan çalışma ile su kaynakları yönetimi çerçevesinde, su kalitesinin izlenmesinde önemli bir temel oluşturan

yukarıda listelenen adımların, karar vericiler için uygulanabilirliği pratik bir araç olabilmesi amacı ile, karar vermede yaygın şekilde kullanılan çoklu kriterli bir karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak değişken seçiminde ortak bir değerlendirme düzlemi oluşturulması da amaçlanmıştır. AHS su kalitesinin değerlendirilme süreçlerinde etkin kullanım alanı bulmuş bir yöntemdir (Barış vd. 2007, Pang vd. 2008, Do vd. 2013). AHS yöntemi, değerlendirilmeye alınan bölgelere özgü su kullanımları ve etki değerlendirilmeleri dikkate alınarak belirlenen öncelikli su kalitesi değişkenlerinin ortak bir kıyas düzlemine alınarak, öncelikli olarak nitelendirilen su kalitesi değişkenlerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Önerilen yaklaşım, mevcut su kalitesi gözlem ağlarında gözlemi yapılan değişkenler açısından akarsu boyunca su kirliliğinin tespitinde verimli ve ekonomik güncellemeler sağlayacağı gibi, yeni tasarımı yapılacak ölçüm ağında gözlemi yapılması gereken değişkenlerin seçiminde etkili bir araç olacaktır.

Gözlem istasyonlarında su kalitesini belirlemek için kullanılan geleneksel yöntemlerde, tüm kalite parametrelerinin ölçülmesi genellikle maliyetli ve zaman alıcı olacağından, öncelikli değişkenlerin ölçülmesi, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan sağlanabilecek faydalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- ✓ Sadece öncelikli değişkenlerin ölçülmesi, laboratuvar ve ekipman maliyetlerini azaltabilir,
- ✓ Öncelikli değişkenlerin daha hızlı ölçülmesi, karar alma süreçlerini hızlandırabilir ve uygulamada verimliliği artırabilir,
- ✓ Daha az sayıda numunenin analiz edilmesi, laboratuvar atıklarının azaltılmasına yardımcı olabilir,
- ✓ Daha az ölçüm için daha az enerji tüketimi gerekebilir, bu da karbon ayak izini azaltabilir,
- ✓ Sınırlı su kaynaklarının yönetiminde daha etkili ve hızlı kararlar alınabilir,
- ✓ Öncelikli parametrelerin izlenmesi, suyun insan sağlığına olan etkilerinin daha iyi anlaşılmasına ve koruma önlemlerinin alınmasına yardımcı olabilir.

Bu faydalar, su kalitesi yönetimindeki stratejilerin geliştirilmesine ve sürdürülebilir su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunabilir. Ancak, öncelikli değişkenlerin belirlenmesi ve bu değişkenlerin su kaynaklarının özelliklerine göre uygun şekilde seçilmesi önemlidir. Bu seçim süreci, yerel koşullar ve su kaynaklarının özellikleri göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Sunulan çalışma, Gediz Nehri Havzası örneğinde, yoğun faaliyet alanı içindeki 6 gözlem istasyonunda hâlihazırda

gözlemi yapılan değişkenler üzerinde uygulanmıştır. İlk adım olan Chapman (1992) tarafından önerilen öncelikli değişken seçimi ve ağırlıklı katsayılar hesabı yapıldıktan sonra, gözlemi yapılan değişkenler öncelikleri ve ölçüm güvenilirlikleri çerçevesinde yorumlanmıştır. Yöntem, araştırmacılar ile paylaştığı günden bugüne hala güncelliğini koruyabilmiş, konu ile ilgili ilave somut öneriler mevcut yapının korunarak yürütülmesi şeklinde yapılmıştır.

2. Kalite Değişkenlerinin Seçiminde Geleneksel Yöntem

Öncelikli değişken seçimi yaklaşımı, Chapman (1992) tarafından tanımlanan;

- a) her istasyonda gözlemi yapılacak baz değişkenler,
- b) su kullanımına göre gözlemi yapılması gereken değişkenler,
- c) etki değerlendirmesi açısından gözlemi yapılması gereken değişkenler,

olmak üzere üç değişken grubunun ele alındığı bir çalışmaya dayanmaktadır.

İkinci ve üçüncü gruplar (b ve c) ayrıca endüstriyel ve endüstriyel olmayan su kullanımı ve etki değerlendirme değişkenleri olarak tekrar ikiye ayrılır. Harmancıoğlu vd. (1994) aşağıdaki başlıkları da tanımlamak için bu yaklaşımı bir adım daha geliştirmiştir;

- a) havza çapında bir ağıdaki her istasyonda örneklenmesi gereken değişkenler,
- b) her istasyonda özel olarak örneklenmesi gereken değişkenler.

Bu yaklaşım, gözlemi yapılacak değişkenleri belirlemek için, istasyonların havza drenaj özelliklerini ile bölgesel hidrolojik ve meteorolojik özelliklerini dikkate alınarak, önem derecelerine göre sıralanır. Örnekleme maliyeti, dikkate alınan değişkenin zamansal değişkenliği ve örnekleme kolaylığı gibi diğer hususlar da sıralamada dikkate alınabilmektedir.

2.1 Baz değişkenlerin seçimi

Baz değişkenler, doğal veya kirletilmemiş akarsuların su kalitesinin ortaya konmasında önem taşır. Bu değişkenler, bir havzanın, su ortamındaki iyon dengelerine, mineral kalitesine ve biyolojik doğası üzerine etkisi olacak, yerel jeolojik, biyolojik ve iklimsel özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler, su içindeki mineral kalitesini, iyon dengesini ve su kütlesindeki biyolojik döngüleri kontrol ederler. Su ortamında kalitenin korunabilmesi, doğal dengenin mevcudiyetine bağlıdır. Suyun baz değişkenlerinin bilinmesi, çeşitli su kullanımlarının ve antropolojik etkilerin söz konusu dengelye ne yönde etkileyeceğinin tahmini için gereklidir ve su kalitesinde olan değişimlerin

açısından bu değişkenler bir baz oluştururlar. Chapman (1992), "Arka Plan Su Kalitesi" olarak adlandırdığı ve baz değişkenler ile temsil edilen bu durumun, "suyun kullanımı için uygunluğunu değerlendirmek ve gelecekteki insan etkilerini tespit etmek" amacıyla gerekliliği üzerinde durmuştur. Yöntemin ortaya konması üzerinden uzun yıllar geçse de, 1992 de tanımlanan "Arka Plan Su Kalitesi" kavramı, yıllar içinde antropojenik etkilerden zarar gören bölgelerdeki koşulları araştırmak üzere "kontrol" işlevi görmesi özelliği ile çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Mast vd. 2007, Erina vd. 2021, Debasitis 2022).

Baz değişkenler, havzadaki gözlem istasyonlarının tümünde gözlemi yapılması gereken kalite değişkenleri olup, havzanın bütün istasyonlarında aynıdır. Baz değişkenler, yukarıda bahsedildiği gibi, çeşitli havza özelliklerine bağlı olmakla birlikte, birçok havzada sıralanan ortak değişkenleri içerir. Chapman (1992) bu değişkenleri üç öncelik sınıfına göre ayırmıştır. Birincil öncelikli değişkenler olarak, sıcaklık, pH, askıda katı madde, çözünmüş oksijen ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ); ikincil öncelikli değişkenler olarak, renk, iletkenlik, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), azot/fosfor bileşikler, toplam organik karbon (TOK), klorür ve magnezyum ve üçüncül öncelikli değişkenler olarak ise bulanıklık, kalsiyum (Ca), sodyum (Na), sülfat (SO₄), klorofil-a, amonyak (NH₃) ve potasyum (K) listelenmiştir (Chapman, 1992).

2.2 Diğer değişkenlerin seçimi

Su kalitesi gözlem ağlarında ölçülmesi gereken diğer değişkenlerin belirlenmesi için, ölçüm amaçlarının ortaya konması gerekir. Amaçlar, gözlem ağının teknik tasarımını önemli ölçüde etkilemekte olup, iyi tanımlanmamış amaçlar gereksiz verinin toplanmasına ve gereksiz para, işgücü ve zaman kaybına neden olmaktadır. Ölçüm amaçları, temel olarak su kalitesinin mevcut durumunun ve zamana göre değişim eğilimlerinin belirlenmesi şeklinde tanımlanır. Bu hedeflerin temelinde ise iki ana unsur bulunmaktadır. Bunların birincisi, su kullanımı ve su kalitesinin mevcut veya değişen özelliklerinin, çeşitli kullanım amaçları için uygun olup olmadığının bilinmesi; ikinci unsur ise, etki değerlendirmesidir. Bu da, su kalitesinin yine mevcut ve değişen özelliklerine etki eden faktörlerin, akarsuya yapılan çeşitli deşarjlar dikkate alınarak ortaya konması işlevini tanımlamaktadır.

Bir havzada gözlemi yapılacak değişkenler, bir taraftan suyun kullanım amaçlarına, diğer taraftan kirleticilerin etkilerinin belirlenmesine yardımcı olan değişkenlerin süperpozisyonu olan bir liste olarak ortaya çıkar. Temel

olarak, bir izleme programı için seçilecek değişkenler hem su kullanımı hem de etki odaklı olabilmektedir.

Havzadaki farklı bölgeler, farklı etkileri ve farklı su kullanım amaçlarını yansıtabilirler. Bu nedenle, bir ağdaki her istasyon farklı bir değişken listesini izlemek zorunda kalabilir. Bu durum, istasyonlar arasında bilgi transferini azaltarak sistematik olmayan bir ağ işleyişine yol açabilir. Ancak yine de tüm istasyonlar aynı temel değişkenleri izlediğinden ve birkaç değişken hem su kullanımına hem de etki değerlendirme amaçlarına hizmet edebileceğinden, bu sorun pek sık ortaya çıkmaz. Böylece iki amaç için ortak bir liste oluşturulabilir. Ayrıca, su kullanımları ve etkileri kesinlikle belirli bir sahaya özgü değildir ve farklı bölgelerde su kalitesinin gözleminin yapılmasını gerektirebilir. Buna göre, belirli bir istasyonda gözlemi yapılacak değişkenlerin listesi, su kullanımı ve/veya etki değerlendirme amaçları ile ilgili baz değişkenler ve diğer değişkenler üst üste getirilerek elde edilmelidir (Harmancıoğlu vd. 2003).

Su kullanımlarıyla ilgili olarak, insanların suyu yaşam faaliyetleri çerçevesinde pek çok alanda kullandığı açıktır. Çeşitli su kullanımlarında önem ya da öncelik sırasını, toplumun ihtiyaçları belirlemektedir. Söz konusu kullanım yerleri aşağıdaki gibi listelenebilir:

- (a) Evsel su ihtiyacı
- (b) Endüstriyel su ihtiyacı
- (c) Tarımsal su ihtiyacı
- (d) Enerji üretimi
- (e) Balık yetiştiriciliği
- (f) Kabuklu su ürünleri yetiştiriciliği
- (g) Hayvan yetiştiriciliği
- (h) Yüzme ve diğer su sporları
- (i) Rekreatif ve estetik
- (j) Ekolojik/ can suyu ihtiyacı
- (k) Atıklar için alıcı ortam olarak kullanım

Yüzeysel sular, havzada bulunan doğal veya insan kaynaklı kirletici kaynaklardan etkilenirler. Bu kirletici kaynaklar, yüzeysel sulara ya yeni kirleticiler verirler ya da yüzeysel sulara mevcut bulunan kirletici konsantrasyonlarında artışa neden olurlar. Etki değerlendirmesi, bu kirletici kaynakların akarsulara verdiği kirlilikleri gözlem yapmak suretiyle belirlemeyi amaçlamaktadır. Doğal ve antropolojik kirletici kaynakları, kirlilik yüklerini alıcı su ortamına noktasal ya da yayılı kaynak biçiminde boşaltırlar. Noktasal kaynak kirliliği başlıca endüstriyel işletmelerden ve kentsel faaliyetlerden kaynaklanmakta ve yüzeysel sulara meydana gelen kirliliklerin ana kirletici kaynağını oluşturmaktadır. Noktasal olmayan kaynak kirliliği ise, su kullanımlarını olumsuz yönde etkileyen maddelerin yayılı halde alıcı sulara ulaşması biçiminde tanımlanabilir. Yayılı kaynak kirliliği, genellikle yağmur suyunun (veya kar suyunun) yüzeysel akışı veya zirai

sulama suyunun drenajı vasıtasıyla toprağın yüzeyinden veya arasından taşınır.

Değişken seçiminde su kullanımları ile bölgedeki etkin sektörlerin belirlenmesinden sonra, etki değerlendirmesi amacıyla da gözlemi yapılması gereken değişkenlerin saptanması, havzadaki noktasal, noktasal olmayan, endüstriyel ve endüstriyel olmayan kirletici kaynakların belirlenerek bu kaynakların denetimi için gözlemi yapılması zorunlu değişkenlerin, yine amaca göre önem sırası belirtilerek listelenmesine olanak sağlamaktadır. Su kullanımı değişkenlerinin seçiminde ülkeden ülkeye değişebilen su kalitesi standartları, yönetmelikleri, kılavuzları veya kriterleri etkin rol oynamaktadır. 2018 yılında T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından 2019-2023 yılları için hazırlanan “Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği” başlıklı On Birinci Kalkınma Planı’na göre ülkemiz su kaynaklarının yaklaşık %73’ü sulama, %11’i sanayi ve %16’sı kentsel tüketim için kullanılmaktadır (T.C. Kalkınma Bakanlığı 2018). Ülkemiz koşullarında, alıcı ortam korunması amacı ile hâlihazırda geçerli çevre mevzuatı ve etkin su kullanım sektörleri öncelikleri çerçevesinde, gözlenmesi gereken su kalitesi değişkenlerinin, su kullanımları ve etki değerlendirilmesi açısından listelenmesinden sonra, “endüstriyel” ve “endüstriyel olmayan” şeklinde iki alt başlıkta daha detaylandırılmasının uygun olduğu görülmüştür. Böylelikle, su kullanımı odaklı değişkenlerin tüketimi ile çeşitli noktasal ve noktasal olmayan kaynakların yaydıkları kirleticiler açısından önem dereceleri listelenmiş olmaktadır.

Değişken seçimi için önerilen yaklaşımın birinci adımı olarak baz değişkenler, sonrasında ise “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği” ile tanımlanan su kalitesi değişkenleri arasından, su kullanım sektörlerine ve etki değerlendirmesine yönelik ilgili değişkenleri içeren, gözlemi yapılması öncelikli su kalitesi değişkenleri belirlenmiş; su kullanımı ve etki odaklı değişkenler, endüstriyel ve endüstriyel olmayan tüketimlere göre ayrıldıktan sonra, her birine öncelik belirleyici işaretler verilmesi yoluyla listelenmiştir (Harmancıoğlu vd. 1993, 1999b, 2003).

Öncelikli değişkenlerin ülke çapında belirlenmesinden sonra, havza ölçeğine geçilerek, incelenen havzaya özgü ölçülmesi gereken değişkenlerin belirlenmesi hedeflenir. Bunun için, havzadaki tüm su kullanım düzenleri ile noktasal/noktasal olmayan kirletici kaynaklarının tür ve konumları saptanır. Bu çalışma sonunda, baz değişkenler değişmeyecek; buna karşılık su kullanımları ve etki odaklı sektörler havzaya özel olarak güncellenir. Havzada özel kirletici kaynakların mevcudiyeti saptanmış ise, bunlar

etki değerlendirmesi değişkenleri listesine yine önem derecelerine göre ilave edilir (Harmancıoğlu vd. 1999b, 2003).

Önerilen yaklaşımın üçüncü aşamasında ise, havza bazında oluşturulan tablolar esas alınarak, değişken seçimi istasyon bazına indirilir. Buna göre, mevcut istasyonlar civarındaki endüstriyel ve endüstriyel olmayan su kullanımları ve kirlenici kaynakları saptanır; daha sonra havza bazında belirlenen öncelikli değişkenler yardımıyla, bu kez istasyonların her biri için gözlemi yapılacak kalite değişkenleri ve bunların önem derecelerini gösteren listeler oluşturulur (Harmancıoğlu vd. 1999b, 2003).

Su kalitesi gözlem istasyonları özelinde belirlenen öncelikli değişkenler listesi, havzada etkili karar vermek amacı ile ilgili süreçlerde kullanılmak üzere alt yapı oluşturacak veri tabanını teşkil etmiş olur.

3. Kalite Değişken Seçimi için Önerilen AHS Destekli Yöntem

Su kalitesinin izlenmesinde önemli bir temel oluşturan ve Chapman (1992) tarafından önerilen ve sonrasında Harmancıoğlu vd. (2003) tarafından geliştirilen öncelikli su kalitesi değişkenlerinin belirlenmesi adımlarından sonra, karar vericiler için pratik bir araç olabilmesi amacı ile karar vermede yaygın şekilde kullanılan çoklu kriterli bir karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak değişken seçiminde ortak bir değerlendirme düzlemi oluşturulur. Anılan yöntem ile değişkenlere ait ağırlıklı katsayılar belirlenir ve tüm değişkenlerin ortak bir düzlemde değerlendirilmesi imkânı sağlanır.

Adımları sonraki bölümlerde detaylandırılan yaklaşımın uygulanması ile her kalite gözlem istasyonunda, o bölgeye ait su kalitesinin belirlenmesinde etkili olan/olmayan tüm değişkenlerin izlenmesi yerine, sadece ilgili değişkenlerin gözleminin yapılması, ölçüm maliyetlerinin azaltılmasının yanı sıra doğrudan amaca yönelik ölçümler yapılarak gereksiz işgücünü de ortadan kaldıracaktır.

Etkili bir karar verme sürecinde, hedeflenen amaçlara ulaşabilmek için mevcut seçenekler arasından en uygununu seçmek üzere kullanılan, Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHS yöntemi en yaygın olarak kullanılan karar verme mekanizmasıdır. AHS, karmaşık problemlerin çözümünde basit bir karar verme aracıdır (Saaty 2006). Süreç, bir olayda etkili kriterlerin birbirleri ile ilişkilerinin belirlenmesinin yanı sıra, olayda etkili mekanizmaların ağırlıklarının belirlenmesinde de kullanılır. Havzaya ve sonrasında istasyon özelinde değişkenlerin aldığı önceliklendirme işaretleri sayısallaştırılarak, değişkenler, alacakları ağırlık katsayılarına göre ortak bir değerlendirme düzlemine

alınmış olur. Değişkenlerin AHS ağırlık katsayıları aşağıdaki Eş. 1 ile hesaplanır.

$$X_{ij} = \sum W_i * a_j \quad (1)$$

Burada; W_i , önceliklendirme listesinde i değişkeninin sahip olduğu sayısal önem değeri; a_j , j sektörüne ait sektör ağırlık oranı ve X_{ij} , AHS ağırlık katsayısıdır.

AHS Değerlendirme Ölçeği'ne (Saaty 1980) göre, sektörler özelinde belirlenen değişkenlerin, sektör ağırlık oranları değerinde, AHS ağırlık katsayıları belirlenir. Bu değerlendirme işlemleri seçilen havza bazında ve istasyonlar özelinde yapılır. Önceliklendirme listelerinde değişkenlere atanan öncelik değerleri inceleme kriteri olarak kabul edilir. Bu inceleme kriteri, o istasyon özelinde belirlenen ve eşit önemde kabul edilen su kullanımı ve etki odaklı sektörler göre kıyaslanır.

Eğer uygulama mevcut bir gözlem ağının güncellenmesi için yapılıyor ise, değerlendirme sonucunda öncelikli olarak belirlenen su kalitesi değişkenleri, mevcut ölçüm güvenilirlikleri ile kıyaslanmaya tabi tutularak, mevcut sistemin etkinliği değerlendirilebilir. Eğer uygulama yeni bir gözlem ağının tasarımında kullanılıyor ise, hesaplamalar sonucunda belirlenen önceliklere göre ölçüm ağının oluşturulması çevresel ve ekonomik açılardan avantaj sağlayacaktır.

4. Yöntem ve Uygulama

Su kalitesi gözlem istasyonlarında ölçümü yapılacak değişkenlerin seçimi işlemine önceki bölümlerde tanımlandığı gibi, standart ve yönetmeliklerde listelenen değişkenlerin tamamı yerine öncelikle, Chapman (1992) tarafından tanımlanan ve Çizelge 1'de listelenen baz değişkenlerden (Barbaros ve Harmancıoğlu 2019) başlanmalıdır. "Arka Plan Su Kalitesi" ni tanımlayan bu değişkenler, sonrasında, bölgedeki su kullanımları ve etki değerlendirilmesi kapsamındaki kirlilik deşarjları dikkate alınarak, inceleme yapılan bölge özelinde literatür değerler ve uzman görüşlerine de dayandırılacak şekilde güncellenmelidir. Güncellemeler, her bir değişkene ait öncelikler özelinde, o değişkene verilen "*" değerlerine göre işlenmelidir. Öncelikli değişkenler listeleri oluşturulurken, istasyonun konumuna göre farklı su kullanımı ve etki odaklı değişkenlerin listelenmesi mümkündür. Farklı sayıda su kullanımı ve etki odaklı sektörler listelendiğinde, yine bölgeye özel literatür değerleri ve uzman görüşleri ışığında, sektörlerin farklı derecede öneme sahip oldukları dikkate alınmalıdır. Sonrasında ise önceliklendirme işlemin sayısallaştırılması yapılmalıdır. Sayısallaştırılmış değerler, Eş. 1 kullanılarak

her bir değişken için hesaplanan ağırlık katsayılarıdır. Bu katsayılar hesaplandıktan sonra, katsayı değerlerine göre değişkenler büyükten küçüğe doğru sıralanmalı ve ilgili istasyonda ölçülmesi gereken birincil, ikincil ve üçüncül derecede öncelikli değişkenler belirlenmelidir.

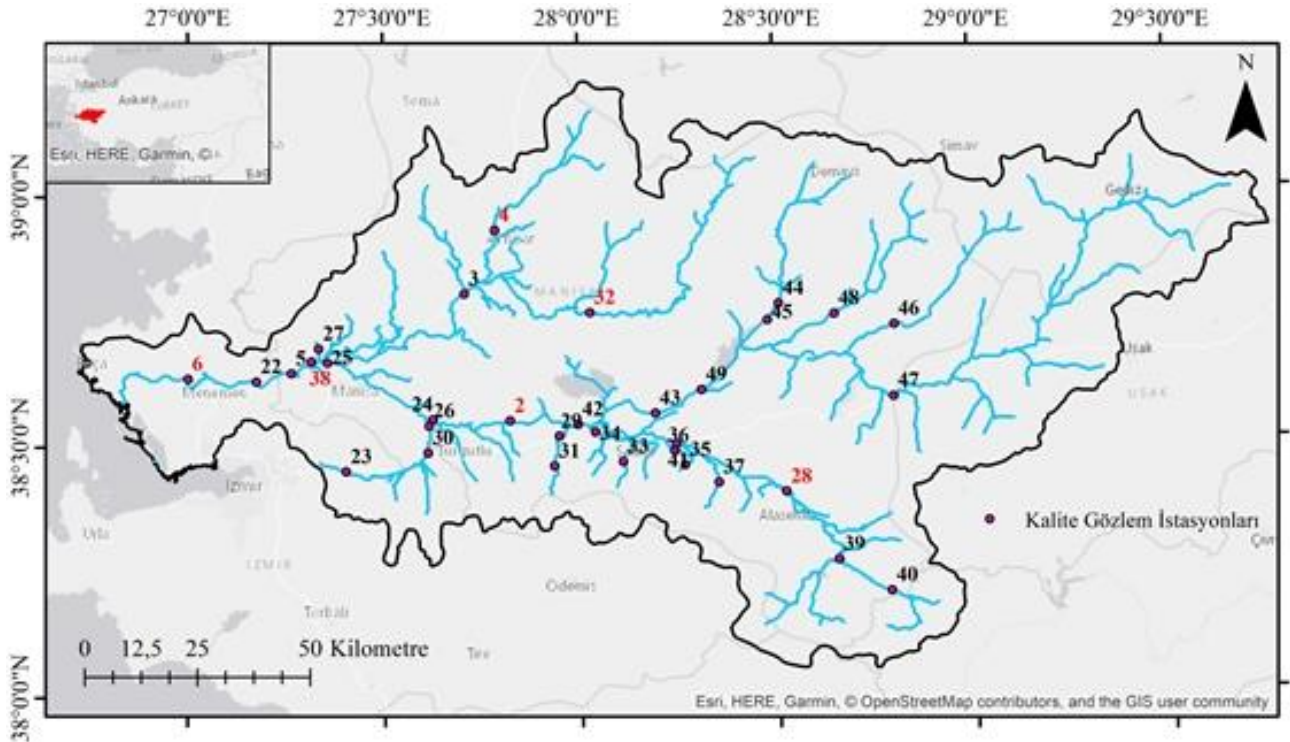
Sunulan çalışmada önerilen yaklaşım, Türkiye'nin batısında yer alan Gediz Nehri Havzası'ndaki izleme çalışmalarının programlanması için uygulanmıştır. Gediz Nehri Havzası, tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu nüfusu yüksek bir bölgedir. Nehir, 16775 km²'lik bir drenaj alanına sahiptir ve su kalitesi, konumları Şekil 1'de sunulan 33 örnekleme istasyonunda izlenmektedir.

Çalışma kapsamında nehrin farklı noktalarını temsil etmesi amacıyla seçilerek değerlendirilmesi yapılan, konumları Şekil 2'de gösterilen 6 istasyona ait su kullanımları ve deşarj kaynaklarına göre etkili olan faaliyet alanları Çizelge 2'de özetlenmiştir. Seçilen istasyonlar Şekil 1'de de farklı renk gösterimleri ile belirtilmiştir.

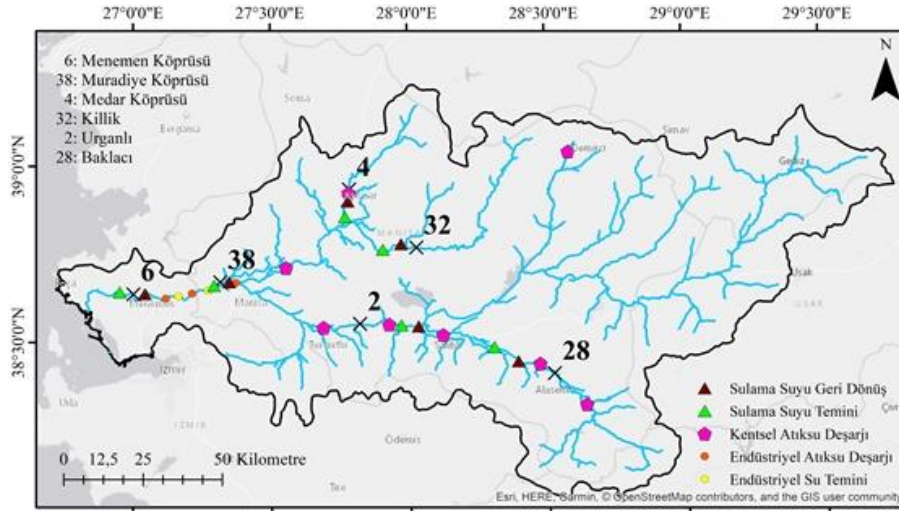
Gediz Nehri Havzası'nın yoğun faaliyet alanı içindeki bu 6 istasyonu için, önerilen yaklaşımın tüm adımları tamamlanmış, örnek olması açısından sadece 6 no.lu Menemen Köprüsü istasyonuna ait işlemler detayları ile sunulmuştur.

Çizelge 1. Baz değişkenler (Barbaros ve Harmancıoğlu 2019).

Değişkenler	Önem derecesi	Değişkenler	Önem derecesi
Genel		Organik Madde	
Sıcaklık	***	Toplam organik karbon	**
Renk	**	KOİ	**
Askıda katılar	***	BOİ	***
Bulanıklık/geçirgenlik	*	İyonlar	
İletkenlik	**	Sodyum	*
pH	***	Potasyum	*
Çözünmüş Oksijen	***	Kalsiyum	*
Klorofil a	*	Magnezyum	**
Besi Maddesi		Klorür	**
Amonyak	*	Sülfat	*
Nitrat/nitrit	**		
Fosfor/fosfat	**		



Şekil 1. Gediz Nehri Havzası'ndaki su kalitesi gözlem istasyonları.



Şekil 2. Gediz Nehri Havzası'ndaki su kullanımları ve havzaya yapılan deşarjlar.

Çizelge 2. Değerlendirmeye alınan 6 istasyonda etkili olan faaliyetler ve birim sektör ağırlık oranları.

İstasyonlar		Su Kullanımları		Etki Değerlendirmesi		Her bir faaliyet alanı için alınan birim sektör ağırlık oranı a_j
No.	Adı	Endüstriyel Olmayan	Endüstriyel	Endüstriyel Olmayan	Endüstriyel	
2	Urganlı	Sulama suyu	-	Sulama geri dönüş suyu Evsel atıksu (Salihli, Ahmetli ve Demirci)	-	0,33
4	Medar	Sulama suyu	-	Sulama geri dönüş suyu	-	0,33
6	Menemen	Sulama suyu	-	Sulama geri dönüş suyu Evsel atıksu (Akhisar)	Petrol (Petkim), Kâğıt (Viking), Makina Üretimi (Manisa OSB)	0,20
28	Baklacı	Sulama suyu	-	Sulama geri dönüş suyu	-	0,33
32	Killik	Sulama suyu	-	Sulama geri dönüş suyu	-	0,50
38	Muradiye Köprüsü	Sulama suyu	Petrol (Petkim) Kâğıt (Viking)	Sulama geri dönüş suyu Evsel atıksu (Saruhanlı ve Manisa)	Gıda, kimya ve makina sanayi (Nif Çayı)	0,125

Baz değişkenler listesine ilave olarak, Menemen Köprüsü istasyonuna ait öncelikli değişkenler listesi, bölgede yapılan önceki çalışmalar, literatür değerleri ve uzman görüşleri ile desteklenerek Çizelge 3'te sunulduğu şekli ile genişletilmiştir. Çizelge incelendiğinde, Menemen Köprüsü istasyonunun bulunduğu bölgedeki "su kullanımı kaynaklı" faaliyetin sadece sulama olduğu; bunun yanında "etki kaynaklı" faaliyetlerin (kirlilik kaynağı faaliyetlerin) sulama ile petrol, kâğıt ve makine endüstrileri olduğu görülmektedir. Çizelgedeki "*" değerleri, değişkenlerin hangi öncelikte ölçülmesi gerektiği konusunda bilgi vermekte; örneğin, makine endüstrisinden kaynaklı kirliliği tespit etmek üzere ilgili istasyonda ağır metallerin ölçümünün yapılmasının, fekal koliform ölçümü yapılmasına göre daha öncelikli olduğunu; ağır metallerin

"***", fekal koliformun ise "*" değerini alması ile tanımlanmaktadır.

Önceliklendirme işleminde su içeriğinin, istasyonun bulunduğu kayaç yapısının ve/veya suya deşarj edilen kirlilik derecesinin herhangi bir etkisi dikkate alınmamakta, sadece bölgede etkin olan kullanım ve deşarjların belirlenebilmesine yönelik izleme yapılan istasyonlarda hangi değişkenlerin öncelikli olarak ölçülmesi gerektiğine yönelik literatür ve uzman bilgileri değerlendirilmeye alınmaktadır. İlgili değişken ölçümü yapıldıktan sonra kirlilik dereceleri ile ilgili ileri çalışmalar yapılabilir.

Seçilen 6 istasyona ait farklı sayıda su kullanımı ve etki odaklı sektörler listelense de çalışma kapsamında bu sektörlerin etki değerlendirmesinde eşit öneme sahip oldukları kabul edilmiştir. Örneğin, sunulan çalışmada,

Menemen Köprüsü istasyonu için tanımlanan 5 farklı temel sektörün bölgede eşit ağırlıkta etkili olduğu düşünülerek, birim sektör ağırlık oranı 0,20 olarak alınırken; bölgesinde 3 farklı temel sektörü olan Urganlı istasyonu için ise birim sektör ağırlık oranı 0,33 olarak alınmıştır (Çizelge 2). Önerilen yaklaşım farklı çalışma alanlarına uygulanırken, o bölgeye özgü olarak alınan bu oranlar, sektör adedi ve/veya etki derecelerine göre değişiklik gösterebilir. Bir sonraki adımda, Çizelge 3'te verilen önceliklendirme işaretlerinin (“*”) sayısallaştırma işlemine geçilmiştir. Menemen Köprüsü istasyonuna ait su kullanımları ve etki değerlendirmelerine ait sayısallaştırılmış değişkenler listesi, her bir değişkene ait sektör ağırlık oranları ve Eş. 1 kullanılarak her bir değişken için hesaplanan AHS ağırlık katsayıları Çizelge 4'te verilmektedir. Önerilen yaklaşımda

kullanılan “*” adetleri 1 ila 3 arasında olduğundan, birincil öncelikli kabul edilen “****” toplam değerinin sayısallaştırıldıktan sonra 1 olması için, her bir yıldız değeri, 0,33 puana karşılık gelecek şekilde değerlendirmeye alınmıştır. Gediz Nehri Havzasından seçilen 6 istasyon için tüm bu adımlar tekrarlanmış ve Çizelge 5'te sunulduğu şekilde, su kullanımı ve etki odaklı sektörlerin ağırlıklı katsayılarına göre istasyonlarda öncelikli olarak ölçülmesi gereken değişkenlerin listesi belirlenmiştir. Bu liste belirlenirken, değişkenlere ait katsayılar % 30'luk dilimler üzerinden 3 gruba ayrılmış ve öncelik sıralandırılması bu üç grup özelinde renklendirilerek Çizelge 5'te sunulmuştur. Diğer bir deyişle; 0,70 – 1,00 aralığı “Birincil Öncelikli”, 0,30 – 0,69 aralığı “İkincil Öncelikli” ve 0 – 0,29 aralığı “Üçüncül Öncelikli” değişkenler olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Gediz Nehri Menemen Köprüsü İstasyonu için su kullanımı ve etki odaklı değişkenlerin öncelikleri.

Değişkenler	Su Kullanımı Kaynaklı		Etki Kaynaklı		
	Endüstriyel olmayan		Endüstriyel		
	Sulama	Sulama	Petrol	Kâğıt	Makina
Ağır Metaller	*		**	*	***
Amonyak		***	**	*	*
Arsenik ve Selenyum	*	***			*
Askıda Katılar		***	***	***	***
Bakır		**			
BOİ		***	**	***	*
Bor	**	*	*	*	*
Bulanıklık	*	**	***	***	***
Cıva		***			
Çözünmüş Oksijen		***	***	***	*
Deterjanlar		*	**	*	*
Diğer Organikler				***	
Eh (redoks potansiyeli)		*	*	*	*
Fekal Koliform	***	**			
Fenoller			**	***	
Florür	*		*		
Fosfor bileşikleri		***			*
Kalıntı madde		***	*	*	*
Kalsiyum	*	*	*	*	*
Karbonat bileşikleri	*		*		
Klorür	***	***	**	*	*
KOİ		*	*	***	*
Koku		*	*	*	*
Magnezyum		*	*	*	
Mineral yağ	*		***		***
Nitrat/Nitrit		***		*	
Organik Azot		***		*	
Organik çözücüler				***	*
Patojen	*	**			
Pestisitler		***			
pH	**	*	*	*	*
Potasyum		*	*		
Renk		*	*	*	*
Sertlik		*	*	*	*
Sıcaklık		*	*	*	*
Silis			*		*
Siyanür					*
Sodyum	***	**	*		
Sülfat		*	**	***	*
Sülfid		*	***	***	
Toplam Çözünmüş Katılar	***				
Toplam Organik Karbon		*	*	***	*

***: Birincil öncelikli değişkenler

** : İkincil öncelikli değişkenler

*: Üçüncül öncelikli değişkenler

Çizelge 4. Gediz Nehri Menemen Köprüsü İstasyonu için su kullanımı ve etki odaklı değişkenlerin AHS ağırlık katsayıları.

Değişkenler	Etkin Sektörlerde değişkenin sahip olduğu sayısal önem değeri, W_i						Sektör Ağırlık Oranları, $W_i * a_j$				Değişkene ait AHS ağırlık katsayıları $X_{ij} = \sum W_i * a_j$
	Su Kullanımı Kaynaklı		Etki Kaynaklı				Su Kullanımı Kaynaklı				
	Endüstriyel olmayan	Endüstriyel olmayan	Endüstriyel olmayan	Endüstriyel			Sulama	Petrol	Kâğıt	Makina	
				Sulama	Petrol	Kâğıt					
Ağır Metaller	0,33	0	0,66	0,33	0,33	0,99	0	0,132	0,066	0,198	0,462
Amonyak	0	0,99	0,66	0,33	0,33	0,33	0	0,198	0,066	0,066	0,462
Arsenik ve Selenyum	0,33	0,99	0	0	0,33	0,33	0,066	0	0	0,066	0,33
Askıda Katılar	0	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0	0,198	0,198	0,198	0,792
Bakır	0	0,66	0	0	0	0	0	0,132	0	0	0,132
BOİ	0	0,99	0,66	0,99	0,33	0,33	0	0,198	0,132	0,198	0,594
Bor	0,66	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,132	0,066	0,066	0,066	0,396
Bulanıklık	0,33	0,66	0,99	0,99	0,99	0,99	0,066	0,132	0,198	0,198	0,792
Cıva	0	0,99	0	0	0	0	0	0,198	0	0	0,198
Çözünmüş Oksijen	0	0,99	0,99	0,99	0,33	0,33	0	0,198	0,198	0,066	0,66
Deterjanlar	0	0,33	0,66	0,33	0,33	0,33	0	0,066	0,132	0,066	0,33
Diğer Organikler	0	0	0	0,99	0	0	0	0	0,198	0	0,198
Eh (redoks potansiyeli)	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,066	0,066	0,066	0,264
Fekal Koliform	0,99	0,66	0	0	0	0	0,198	0,132	0	0	0,33
Fenoller	0	0	0,66	0,99	0	0	0	0,132	0,198	0	0,33
Florür	0,33	0	0,33	0	0	0	0,066	0	0,066	0	0,132
Fosfor bileşikleri	0	0,99	0	0	0	0,33	0	0,198	0	0,066	0,264
Kalıntı madde	0	0,99	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,198	0,066	0,066	0,396
Kalsiyum	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,066	0,066	0,066	0,066	0,33
Karbonat bileşikleri	0,33	0	0,33	0	0	0	0,066	0	0,066	0	0,132
Klorür	0,99	0,99	0,66	0,33	0,33	0,33	0,198	0,198	0,132	0,066	0,66
KOİ	0	0,33	0,33	0,33	0,99	0,33	0	0,066	0,066	0,198	0,396
Koku	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,066	0,066	0,066	0,264

Çizelge 4. (Devamı).

Değişkenler	Etkin Sektörlerde değişkenin sahip olduğu sayısal önem değeri, W_i						Sektör Ağırlık Oranları, $W_i * a_j$						Değişkene ait AHS ağırlık katsayıları $X_{ij} = \sum W_i * a_j$		
	Su Kullanımı Kaynaklı		Etki Kaynaklı				Su Kullanımı Kaynaklı		Etki Kaynaklı						
	Endüstriyel olmayan	Sulama	Endüstriyel olmayan		Endüstriyel		Sulama	Petrol	Kâğıt	Makina	Sulama	Petrol		Kâğıt	Makina
			Sulama	Petrol	Kâğıt	Makina									
Magnezyum	0	0,33	0	0,33	0,33	0	0	0,066	0,066	0,066	0	0	0,198		
Mineral yağ	0,33	0	0,99	0	0,99	0	0,99	0,066	0	0,198	0	0,198	0,462		
Nitrat/Nitrit	0	0,99	0	0,99	0	0	0	0	0,198	0	0,066	0	0,264		
Organik Azot	0	0,99	0	0,99	0	0	0	0	0,198	0	0,066	0	0,264		
Organik çözücüler	0	0	0	0,99	0,33	0,33	0	0	0	0	0,198	0,066	0,264		
Patojen	0,33	0,66	0	0	0	0	0,066	0,132	0	0	0	0	0,198		
Pestisitler	0	0,99	0	0	0	0	0	0,198	0	0	0	0	0,198		
pH	0,66	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,132	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,396		
Potasyum	0	0,33	0,33	0,33	0	0	0	0,066	0,066	0	0	0	0,132		
Renk	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,264		
Sertlik	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,264		
Sıcaklık	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,264		
Silis	0	0	0,33	0	0,33	0	0	0,066	0,066	0	0,066	0	0,132		
Siyanür	0	0	0	0	0,33	0,33	0	0	0	0	0	0,066	0,066		
Sodyum	0,99	0,66	0,33	0	0	0	0,198	0,132	0,066	0	0	0	0,396		
Sülfat	0	0,33	0,66	0,99	0,33	0,33	0	0,066	0,132	0,198	0,066	0,066	0,462		
Sülfitt	0	0,33	0,99	0,99	0	0	0	0,066	0,198	0,198	0	0	0,462		
Toplam Çözünmüş Katılar	0,99	0	0	0	0	0	0,198	0	0	0	0	0	0,198		
Toplam Organik Karbon	0	0,33	0,33	0,33	0,99	0,33	0	0,066	0,066	0,198	0,066	0,066	0,396		

Çizelge 5. Çalışma kapsamında incelenen 6 istasyondaki öncelikli değişkenlerin AHS ağırlık katsayıları ve önceliklere göre sıralanmış listesi.

5002 - Organik		5003 - Killik		5004 - Medar		5005 - Muradiye		5006 - Menemen		5041 - Baklaci	
Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}
Klorür	1,0	Klorür	1,0	Klorür	1,0	Klorür	0,7	Askıda Katılar	0,8	Klorür	1,0
Fekal koliform	0,9	Fekal koliform	0,8	Fekal koliform	0,9	Çözünmüş Oksijen	0,6	Bulanıklık	0,8	Fekal koliform	0,9
Diğer patojenler	0,7	Sodyum	0,8	Diğer patojenler	0,7	Askıda Katılar	0,6	Klorür	0,7	Diğer patojenler	0,7
Sodyum	0,7	Arsenik/Selenyum	0,7	Sodyum	0,7	pH	0,6	Çözünmüş Oksijen	0,7	Sodyum	0,7
Çözünmüş oksijen	0,7	Diğer patojenler	0,5	Çözünmüş oksijen	0,7	Fosfor bileşikleri	0,5	BOI	0,6	Çözünmüş oksijen	0,7
Amonyak	0,7	pH	0,5	Amonyak	0,7	Amonyak	0,5	Amonyak	0,5	Amonyak	0,7
Nitrit/Nitrat	0,7	Çözünmüş oksijen	0,5	Nitrit/Nitrat	0,7	BOI	0,5	Sülfat	0,5	Nitrit/Nitrat	0,7
Organik azot	0,7	Amonyak	0,5	Organik azot	0,7	iletkenlik	0,5	Süfit	0,5	Organik azot	0,7
Fosfor bileşikleri	0,7	Nitrit/Nitrat	0,5	Fosfor bileşikleri	0,7	Nitrat/Nitrit	0,5	Ağır Metaller	0,5	Fosfor bileşikleri	0,7
Askıda katı madde	0,7	Organik azot	0,5	Askıda katı madde	0,7	Sertlik	0,5	Mineral yağ	0,5	Askıda katı madde	0,7
BOI	0,7	Fosfor bileşikleri	0,5	BOI	0,7	Fekal Koliform	0,5	Sodyum	0,4	BOI	0,7
iletkenlik	0,5	Askıda katı madde	0,5	iletkenlik	0,5	Kalsiyum	0,4	Kalıntı madde	0,4	iletkenlik	0,5
pH	0,4	BOI	0,5	pH	0,4	Sodyum	0,4	Bor	0,4	pH	0,4
Kalıntı maddesi	0,4	Kalıntı maddesi	0,5	Kalıntı maddesi	0,4	Organik Azot	0,4	KOI	0,4	Kalıntı maddesi	0,4
Arsenik/Selenyum	0,4	Cıva	0,5	Arsenik/Selenyum	0,4	Sülfat	0,4	pH	0,4	Arsenik/Selenyum	0,4
Cıva	0,4	iletkenlik	0,5	Cıva	0,4	Deterjanlar	0,4	Toplam Organik Karbon	0,4	Cıva	0,4
Kalsiyum	0,3	Toplam çözünmüş katı madde	0,5	Kalsiyum	0,3	Diğer Patojenler	0,4	Fekal Koliform	0,3	Kalsiyum	0,3
Bor	0,3	Pestisitler	0,5	Bor	0,3	KOI	0,3	Kalsiyum	0,3	Bor	0,3
Sülfür	0,3	Bor	0,5	KOI	0,3	Mineral yağ	0,3	Deterjanlar	0,3	KOI	0,3
Bakır	0,3	Kalsiyum	0,3	Sülfür	0,3	Kalıntı madde	0,3	Arsenik ve Selenyum	0,3	Süfit	0,3
Deterjanlar	0,3	Bakır	0,3	Bakır	0,3	Pestisitler	0,3	Fenoller	0,3	Bakır	0,3

* Değişkenlerin öncelik sıralandırılması, %30'luk dilimlerden yapılmış ve renklendirilmiştir.

Birincil öncelikli ölçümü yapılması gereken değişkenler

İkincil öncelikli ölçümü yapılması gereken değişkenler

Üçüncül öncelikli ölçümü yapılması gereken değişkenler

Çizelge 5. (Devamı).

İstasyonlar											
5002 - Urganlı		5003 - Kılık		5004 - Medar		5005 - Muradiye		5006 - Menemen		5041 - Baklacı	
Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}	Değişkenler	X_{ij}
Mineral yağ	0,3	KOI	0,2	Deterjanlar	0,3	Magnezyum	0,3	Nitrat/Nitrit	0,3	Deterjanlar	0,3
Toplam çözünmüş katı madde	0,3	Sülfür	0,2	Mineral yağ	0,3	Karbonat bileşikleri	0,3	Organik Azot	0,3	Mineral yağ	0,3
Pestisitler	0,3	Deterjanlar	0,2	Toplam çözünmüş katı madde	0,3	Sıcaklık	0,2	Fosfor bileşikleri	0,3	Toplam çözünmüş katı madde	0,3
KOI	0,2	Mineral yağ	0,2	Pestisitler	0,3	Arsenik ve Selenyum	0,2	Sıcaklık	0,3	Pestisitler	0,3
Demir	0,2	Sıcaklık	0,2	Demir	0,2	Sülfür	0,2	Renk	0,3	Demir	0,2
Kurşun	0,2	Renk	0,2	Kurşun	0,2	Toplam Organik Karbon	0,2	Koku	0,3	Kurşun	0,2
Sıcaklık	0,2	Koku	0,2	Sıcaklık	0,2	Ağır Metaller	0,2	Eh (redoks potansiyeli)	0,3	Sıcaklık	0,2
Renk	0,2	Eh (redoks potansiyeli)	0,2	Renk	0,2	Bor	0,2	Sertlik	0,3	Renk	0,2
Koku	0,2	Sertlik	0,2	Koku	0,2	Renk	0,2	Organik çözücüler	0,3	Koku	0,2
Eh (redoks potansiyeli)	0,2	Potasyum	0,2	Eh (redoks potansiyeli)	0,2	Koku	0,2	Patojen	0,2	Eh (redoks potansiyeli)	0,2
Sertlik	0,2	Magnezyum	0,2	Sertlik	0,2	Eh (redoks potansiyeli)	0,2	Cıva	0,2	Sertlik	0,2
Potasyum	0,2	Sülfat	0,2	Potasyum	0,2	Silis	0,2	Toplam Çözünmüş Katılar	0,2	Potasyum	0,2
Magnezyum	0,2	Toplam organik karbon	0,2	Magnezyum	0,2	Organik çözücüler	0,2	Pestisitler	0,2	Magnezyum	0,2
Sülfat	0,2	Flor	0,2	Sülfat	0,2	Çözünmüş katılar	0,2	Magnezyum	0,2	Sülfat	0,2
Toplam organik karbon	0,2	Ağır metaller	0,2	Toplam organik karbon	0,2	Florür	0,2	Diğer Organikler	0,2	Toplam organik karbon	0,2
Flor	0,1	Karbonat bileşikleri	0,2	Flor	0,1	Fenoller	0,2	Bakır	0,1	Flor	0,1

* Değişkenlerin öncelik sıralandırılması, % 30'luk dilimler üzerinden yapılmış ve renklendirilmiştir.

Birincil öncelikli ölçümü yapılması gereken değişkenler İkincil öncelikli ölçümü yapılması gereken değişkenler Üçüncül öncelikli ölçümü yapılması gereken değişkenler

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Gözlemi yapılacak su kalitesi değişkenlerinin seçimi, aralarından seçim yapılabilecek birden çok değişkenin olması nedeniyle, önemli maliyet sonuçları olan oldukça karmaşık bir konudur. Pratik olarak ne değişkenlerin seçiminde ne de gözlemi yapılan mevcut seçilmiş bir değişken listesinin değerlendirilmesinde kullanılabilir standart bir yöntem bulunmamaktadır. Bu amaçla, sunulan çalışma ile gözlem istasyonlarında hangi su kalitesi değişkenlerinin izlenmesi gerektiğine ilişkin değişken seçimi sürecini kolaylaştırabilecek bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. Sunulan çalışma, su kullanımı ve etki odaklı değişken seçimini takiben ağırlık katsayılarının belirlenmesi ile karar verme süreçlerinde etkin bir yaklaşım önermiştir.

Havzadaki mevcut ölçüm ağında, klasik bir şekilde her istasyonda aynı değişkenlerin gözleminin yapılması, ekonomik olmayan da bir çözümdür. Aksine, bölgeye özgü su kullanımları ve etki odaklı derecelendirme ile belirlenen öncelikli değişkenlerin gözleminin yapılması ile su kirliliğinin tam anlamıyla belirlenebileceği etkin bir ölçüm ağı tasarımı daha etkin bir yaklaşımdır. Önerilen yaklaşım Gediz Nehri Havzası'ndaki su kalitesi izleme ağında örneklendirilmiştir.

Gediz Nehri Havzasında yoğun faaliyet alanlarında bulunan 6 istasyon için önerilen yaklaşım adımları takip edilmiş ve sonuç tablolar incelendiğinde, her istasyonda öncelikli değişkenlerin farklı olduğu görülmüştür. Karar vericilerin amaç fonksiyonundaki değerlerine göre öncelik grup sayıları yine farklılık gösterebilecektir.

Çalışma kapsamında, incelenen tüm istasyonlar için, su kullanımı ve etki değerlendirmelerine göre literatür ve uzman görüşlerine göre önceliklendirmeler ile her bir değişkene ait hesaplanan ağırlık katsayıları ile önceliklendirme yaklaşımının örtüştüğü gözlenmiştir. Sektör ağırlık oranları sunulan çalışmada eşit olarak alınmış olsa da çalışma alanlarına özgü koşullar dikkate alınarak bu oranların değiştirilebileceği ifade edilmelidir.

Belirlenen birincil önceliğe sahip değişkenler içinde, hemen hemen her istasyonda çözülmüş oksijen, sodyum, klorür, fekal koliform ve nitrit/nitrat değişkenleri görülmektedir. Suda ölçülen yüksek miktarlardaki nitrit ve nitrat değerleri ağırlıklı olarak evsel atıksu deşarjlarının göstergesidir. Sodyum ve klorür ise suda doğal olarak bulunabileceği gibi (kayaçlardan suya geçmesi vb. sebeplerle) tarımsal drenaj sularının etkisi, endüstriyel deşarjlar ile yüzeysel sularda bulunabilecektir. Çözülmüş oksijen de organik kirliliğin bir göstergesidir ve sucul yaşamın sürdürülebilirliği için izlenmesi gereken değişkendir.

Farklı öncelik derecelerine sahip olarak, yine tüm istasyonlarda gözlemi yapılması gereken değişkenler arasında listelenen arsenik (As) ise toksik olarak bilinen, ana kaynağı madencilik faaliyetleri, pestisitler ve volkanik

kayaçlar olan ve suda yüksek değerlerde ölçülmesi ile havzadaki yoğun tarım faaliyetlerine işaret eder.

Bu değerlendirmelerin ardından ağırlıklı olarak evsel deşarjlar ve tarımsal drenaj sularının yüzeysel sudaki etkilerinin belirlenmesinde gösterge değişkenler havzada öncelikli olarak izlenmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

Öncelikli değişkenlerin izlenmesi ile su kalitesi izleme programlarının maliyet etkinliği artırılabilir ve kaynakların daha verimli kullanılması sağlanabileceği gibi, öncelikli değişkenlere odaklanmak, su kaynaklarının yönetimini daha etkili hale getirebilir. Aynı zamanda, daha az değişkenin izlenmesi, veri toplama, işleme ve analiz süreçlerini basitleştirebilir. Bu da daha net ve anlamlı sonuçların elde edilmesine yardımcı olabilir. Sıralanan bu avantajlarının yanı sıra, olabilecek dezavantajlar ise tüm kalite değişkenlerinin ölçülmemesi, su kaynağındaki geniş bir yelpazedeki potansiyel riskleri ve değişiklikleri yakalamakta yetersiz kalabilir. Bu durum, özellikle nadir görülen veya beklenmeyen kirlilik olaylarında eksiklikler ortaya çıkarabilir; sadece öncelikli değişkenler üzerine odaklanmak, sucul ekosistemlerin karmaşıklığını ve etkileşimlerini tam olarak değerlendirmeyi zorlaştırabilir. Bu durumun uzun vadeli risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini zorlaştırabileceği düşünülerek, önerilen yaklaşımın belirli zaman aralıklarında uygulama bölgesindeki etkinliğinin kontrol edilmesi ve güncellenmesi gerekecektir.

Bu avantajlar ve dezavantajlar göz önünde bulundurularak, su kalitesi gözlem istasyonlarında hangi değişkenlerin ölçülmesi gerektiği ve hangi sıklıkla ölçüm yapılması gerektiği, spesifik bir sucul sistem ve hedeflenen amaçlara bağlı olarak dikkatlice değerlendirilmelidir. Her durumda, karar alıcılar, kaynakların en etkin şekilde kullanılması ve su kaynaklarının korunması için uygun dengeyi bulmak için bilimsel ve bölgesel bilgilere dayalı kararlar almaları önemlidir.

Sonuç olarak, yüzeysel sularda kalite gözlem istasyonlarında izlenmesi gereken değişkenlerin seçiminde AHS destekli yaklaşımın, öncelikli değişkenlerin tespitinde doğru ve etkin bir biçimde kullanılabilirliği ortaya konmuştur. Bu yöntem yeni bir su kalitesi gözlem ağı tasarlanması ve mevcut gözlem ağında ölçümü yapılması gerekli değişkenlerin revizyonu süreçlerinde planlayıcılar ve karar vericiler için oldukça yararlı bir araç olacaktır. Değişken seçimi sürecinde yer alan tüm yaklaşımlar ve uygulama adımları, zaman içinde değişken ve oldukça dinamik olduğundan, gözlemi yapılacak değişken listelerinin zaman zaman yeniden değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazar tüm etik standartlara uyduğunu beyan eder.

Yazarlık Katkı Beyanı

Çalışmadaki tüm literatür ve hesaplamalar ile taslak ve orijinal olarak tüm yazımlar Yazar tarafından yürütülmüştür.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarın bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edeceği herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür / Acknowledgement

Yazar, bu çalışmanın temelini oluşturan ve EWRA 11. Dünya Kongresi'nde (11th World Congress on Water Resources and Environment (EWRA 2019), Madrid/İspanya, 25-29 Haziran 2019) sözlü olarak sunulan "Selection of variables to be sampled in water quality monitoring networks" adlı bildiriye katkılarında dolayı Prof. Dr. Nilgün Harmancıoğlu'na teşekkür etmekte, kendisini saygı ve rahmetle anmaktadır.

5. Kaynaklar

- Abed, S. A., Ewaid, S.H. ve Al-Ansari, N., 2019. Evaluation of Water quality in the Tigris River within Baghdad, Iraq using Multivariate Statistical Techniques, Journal of Physics: Conference Series. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1294**, 072025.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/7/072025>
- Barbaros, F. ve Harmancıoğlu, N., 2019. Selection of variables to be sampled in water quality monitoring networks, 11. Dünya Su Kaynakları ve Çevre Kongresi: Sürdürülebilir Bir Gelecek için Su Kaynaklarının Yönetimi-EWRA 2019, 25-29 Haziran 2019, Madrid, İspanya, 125-126.
- Barış, N., Şimşek, C., Gündüz, O., Elçi, A., (2007). Cumaovası Yüzeysel Su Kalitesinin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile Değerlendirilmesi, TMMOB Çevre Mühendisliği Odası, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji, 229-237.
- Bulut, M. ve Birben, Ü., 2019. AB Su Çerçeve Direktifinin Türkiye'de Su Kaynakları Yönetimine Etkisi. Turkish Journal of Forestry, **20(3)**: 221-233.
<https://doi.org/10.18182/tjf.562550>
- Canter, L. W., 1985. River Water Quality Monitoring, CRC Press, Taylor & Francis Group, 186.
- Chapman, D., 1992. Water Quality Assessments —A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environment Engineering, Chapman & Hall Ltd., London, 585.
- Çetinkaya, C.P., Yiğit, S.D., 2019. Su Kalitesi Gözlem Ağlarının Performansının Değerlendirilmesi için Bir Yöntem Önerisi ve Gediz Havzasında Uygulanması. DEUFMD, **21(62)**, 483-497.
<https://doi.org/10.21205/deufmd.2019216214>
- Çetinkaya, C. P., Engin, A., 2018. Su Kalitesi Gözlem Ağlarında Örnekleme için İzlenecek Yol Rotası Optimizasyonuna Bir Yaklaşım ve Gediz Havzasına Uygulanması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, **18 (1)**, 265-275.
<https://doi.org/10.5578/fmbd.66459>
- Debasitis, E. A., 2022. Estimating Natural Background Water Quality in California Rivers, California State Üniversitesi, Yüksek Lisans tezi, 53.
- Do, H.T., Lo, S.L., Phan Thi, L.A., 2013. Calculating of river water quality sampling frequency by the analytic hierarchy process (AHP). Environ Monit Assess **185**, 909–916.
<https://doi.org/10.1007/s10661-012-2600-6>
- Doğanay, E., Soytürk, O., Parlar Güngör, E., Aybuğa, K., Kılınc, S. F., 2019. Su Kalitesi İzleme, (Editörler: Zeliha Selek, Yakup Karaaslan) Ekosistem Esaslı Su Kalitesi Yönetimi, Tarım ve Orman Bakanlığı, e-ISBN: 978-605-82367-0-7.
- Erina, O., Tereshina, M., Shinkareva, G., Sokolov, D. ve Lychagin, M., 2021. Natural background and transformation of water quality in the Moskva River, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. **834**, 012055.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/834/1/012055>
- Gündüz, O., 2015. Su Kaynaklarının İzlenmesi: Zorluklar ve Fırsatlar, Ulusal Su ve Sağlık Kongresi, 26-30 Ekim 2015, Antalya.
- Harmancıoğlu N.B. ve Yevjevich V., 1986. Transfer of Information Among Water Quality Variables of the Potomac River, Phase III: Transferable and Transferred Information, Report to the UDC Water Resour. Res. Cent, Washington, D.C., Int. Water Resour. Inst., Haziran 1986.
- Harmancıoğlu, N., Özer, A., Alpaslan, N., 1987. Su kalitesi ölçümlerinin değerlendirilmesi. Ankara, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye İnşaat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi, Bildiriler, Kasım 16 20, 1987, C.II, 113-129.
- Harmancıoğlu, N., Alpaslan, N., Alkan, A., Özkul, S., Mazlum, S., Fıstıkoğlu, O., 1993. Su Kaynaklarının Yönetimi ve Kirlilik Kontrolünde Su Kalitesinin İzlenmesi, Değerlendirilmesi ve Ölçüm Ağı Tasarımı, TÜBİTAK, Deniz Bilimleri ve Balıkçılık Araştırma Grubu-DEBAG için yapılan, DEBAG-23 no.lu araştırma projesi.
- Harmancıoğlu, N. B., Alpaslan, N., Singh, V. P., 1994. Design of a basin-wide water quality monitoring network in Turkey, in: G. Tsakiris and M.A. Santos (eds.), Advances in Water Resources Technology and Management, A.A. Balkema, Rotterdam, 29–36.
- Harmancıoğlu, N. B., Alpaslan, M. N., Whitfield, P., Singh, V.P., Literathy, P., Mikhailov, N., Fiorentino, M., 1998. NATO Scientific Affairs Division tarafından desteklenen ENVIR.LG950779 no.lu, ABD, Kanada, Macaristan, İtalya, Türkiye ve Rusya ortaklığı ile yürütülen NATO Linkage Grant projesi raporu.
- Harmancıoğlu N. B., Fıstıkoğlu O., Özkul S. D., Singh V. P., Alpaslan N., 1999a. Water Quality Monitoring

- Network Design. Kluwer Academic Publishers, Water Science and Technology Library, Volume 33, 290 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-9155-3>
- Harmancıoğlu, N. B., Alpaslan, M. N., Özkul, S., İçağa, Y., Fıstıkoğlu, O., Onuşluel, G., Barbaros, F., 1999b. DSİ'nin Su Kalitesi İzleme Ağlarında Verimlilik Analizi ve Ölçüm Ağı İyileştirilmesi – I, TÜBİTAK-YDABÇAG tarafından desteklenen ve DSİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu ve Kanalizasyon Dairesi ile ortaklaşa sürdürülen, YDABÇAG-489 no.lu uygulamalı araştırma projesi raporu.
- Harmancıoğlu, N. B., Özkul, S., Fıstıkoğlu, O., Onuşluel, G., Gül, A., Çetinkaya, C.P., Barbaros, F., 2003. DSİ'nin Su Kalitesi İzleme Ağlarında Verimlilik Analizi ve Ölçüm Ağı İyileştirilmesi – II, TÜBİTAK-YDABAG tarafından desteklenen ve DSİ Genel Müdürlüğü İçmesuyu ve Kanalizasyon Dairesi ile ortaklaşa sürdürülen, 100Y102 no.lu uygulamalı araştırma projesi nihai raporu.
- Huthmann, G., 1979. Modeling of water quality systems by multiple frequency response analysis, in: H.J. Morel-Seytoux (ed.), Surface and Subsurface Hydrology, Proceedings of the Fort Collins Third International Hydrology Symposium on Theoretical and Applied Hydrology, July 27-29, 1977, Water Resources Publications, 662-681.
- Karpuzcu, M., Senes, S., Akkoyunlu, A., 1987. Design of monitoring systems for water quality by principal component analysis and a case study, Proceedings of Int. Symp. on Environmental Management: Environment'87, 673-690.
- Literathy, P., 1997. Transboundary Water Pollution Monitoring: Data Validation and Interpretation. In: Harmancıoğlu N. B., Alpaslan M. N., Özkul S. D., Singh V. P. (eds) Integrated Approach to Environmental Data Management Systems. NATO ASI Series (Series: 2: Environment), vol 31. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5616-5_17
- Mast, M. A., Verplanck, P. L., Wright, W. G. ve Bove D. J., 2007. Characterization of Background Water Quality, Chapter E7 of "Integrated Investigations of Environmental Effects of Historical Mining in the Animas River Watershed, San Juan County, Colorado", Edited by Stanley E. Church, Paul von Guerard, and Susan E. Finger, Professional Paper 1651, ABD İçişleri Bakanlığı, Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları, 40.
- Mazlum, S., 2002. The selection of water quality variables for river-basin monitoring networks, Fresenius Environmental Bulletin, **11**, 3-9.
- Pang, Z.L., Chang, H.J., Li, Y.Y., Zhang, N.Q., Du, R.Q., Hu, L.Q., 2008. Analytical hierarchy process (AHP) evaluation of water quality in Danjiangkou reservoir-source of the middle line project to transfer water from south to north, China, Acta Ecologica Sinica, **28**: 1810-1819.
- Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L., 2006. Rank from Comparisons and from Ratings in the Analytic Hierarchy/Network Process, European Journal of Operational Research, **68**: 557-570. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.032>
- Sanders, T. G., Ward, R. C., Loftis, J. C., Steele, T. D., Adrian, D. D., Yevjevich, V., 1983. Design of Networks for Monitoring Water Quality, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 336.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018. On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği, Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği, Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- Uyanık, S. ve Cebe, A., 2017. AB Su Çerçeve Direktifi Kapsamında Biyolojik Kalite Unsurları ile Su Kalitesinin izlenmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, **3**, 64-72.
- UNESCO-WMO, 1972. Hydrologic Information Systems: Studies and Reports in Hydrology, In: G. W. Whetstone, and J.J. Grigoriev (ed.), Panel on SAPHYDATA, **14**, 74.
- Yevjevich, V. ve Harmancıoğlu, N. B., 1985. Modeling Water Quality Variables of Potomac River at the Entrance to its Estuary, Phase II (Correlation of Water Quality Variables within the Framework of Structural Analysis), Report to D.C. Water Resources Research Center of the University of the District of Columbia, Washington, D.C., 59.
- Yılmaz, B. ve Özçelik, C., 2018. Evaluation of Water Quality Monitoring Networks Using Principal Component Analysis: A case of Gediz River Basin, Celal Bayar University Journal of Science, **14** (1), 65-75. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.356774>

İnternet kaynakları

- 1- Farrell-Poe, K., 2005. Water Quality & Monitoring, Arizona Watershed Stewardship Guide: Water Quality & Monitoring, Ekim 2020. <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1378c.pdf>
- 2- Resmî Gazete, 2015. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Kasım, 2020 <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150415-18.htm>
- 3- SÇD, 2000. Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 2000/60/EC Sayılı Su Çerçeve Direktifi, Kasım, 2020. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/ab%20mevzuat%C4%B1/2000-60-Water%20Framework%20Directive-TR%20\(1\)%20\(2\).pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/ab%20mevzuat%C4%B1/2000-60-Water%20Framework%20Directive-TR%20(1)%20(2).pdf)
- 4- WWF-Türkiye, 2012. Yaşayan Nehirler, Yaşayan Ege Projesi, Su Kalitesi ve İzleme Çalıştayı, Kasım 2020. <https://www.wwf.org.tr/?1244>