

ISSN: 1012 - 0726 (Baskı)
ISSN: 1308 - 2477 (Online)



SAYI: 125
YIL : TEMMUZ 2017

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ

TEKNİK

BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına Genel Müdür
Murat ACU

Sorumlu Müdür

Tuncer DİNÇERGÖK

Yayın Kurulu (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU
Murat ALP
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Şenay ÖZKAN
Ayhan KOÇBAY
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Mehmet KÖSEOĞLU
Serpil KÖYLÜ DALGIN

Editörler

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Haberleşme Adresi

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı 06100
Yücetepe - Ankara

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

Destek Hizmetleri Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etlük - Ankara

SAYI : 125

YIL : TEMMUZ 2017

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır
(Ocak, Nisan, Temmuz,
Ekim)

ISSN 1012 - 0726 (Baskı)
1308 - 2477 (Online)

İÇİNDEKİLER

KİL ÇEKİRDEKLİ KAYA DOLGU BARAJLARDA HİDROLİK ÇATLAMA POTANSİYELİNİN TAHMİN EDİLMESİ Sadettin TOPÇU	1
İŞLETMEDE OLAN BİR HİDROELEKTRİK SANTRALİN NEHİRSUYU KALİTESİNE ETKİSİ Hayati AKYÜZ, Aziz ŞENCAN	8
YÜZEY SULARININ KALİTESİNİN BELİRLENMESİNDE KALİTE İNDEKS MODELLERİNİN KULLANILMASI Özlem TUNÇ DEDE	25

DSİ Teknik Bülteni uluslararası veritabanı EBSCO tarafından taranmaktadır.

DSI TECHNICAL BULLETIN

Publisher

On behalf of GENERAL
DIRECTORATE OF
STATE HYDRAULIC
WORKS
Murat ACU
General Director

Director in charge

Tuncer DİNÇERGÖK

Editorial Board (DSI)

Murat Ali HATİPOĞLU
Murat ALP
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Şenay ÖZKAN
Ayhan KOÇBAY
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Mehmet KÖSEOĞLU
Serpil KÖYLÜ DALGIN

Editors

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Contact Address

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı 06100
Yücetepe – Ankara /
TURKEY

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Place of Publication

Destek Hizmetleri Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etilik – Ankara / TURKEY

ISSUE: 125

YEAR : JULY 2017

Publication Type

Widely distributed
periodical
Published quarterly
(January, April, July,
October)

ISSN

1012 - 0726 (Press)
1308 - 2477 (Online)

CONTENTS

ESTIMATION OF HYDRAULIC FRACTURING POTENTIAL FOR CLAY-CORE ROCKFILL DAMS Sadettin TOPÇU	1
THE EFFECTS OF AN OPERATING HYDROELEKTRIC PLANT ON THE RIVER WATER QUALITY Hayati AKYÜZ, Aziz ŞENCAN	8
THE USE OF QUALITY INDEX MODELS FOR ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY Özlem TUNÇ DEDE	25

DSI Technical Bulletin is indexed by international database EBSCO.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen bildirimler yayınlanır. Bildirimler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak bildirim yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Bildirimlerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir. DSİ Teknik Bülteni Eylül 2016 tarihi itibarı ile uluslararası veritabanı kuruluşu EBSCO tarafından taranmaya başlamıştır.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI

1. Gönderilen yazılar kolay anlaşılır dilde ve Türkçe kurallarına uygun şekilde yazılmış olmalıdır.
2. Yazıların teknik sorumluluğu yazarına aittir (yazılardaki verilerin kullanılması sonucu oluşabilecek maddi ve manevi problemlerde muhatap yazardır).
3. Yayın Kurulu, bildirim üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Bildirimler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Bildirimler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italik 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "*DSİ Teknik Bülteni*" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "*DSİ Teknik Bülteni*" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütun olarak yazılmalı ve sütun aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmali ve parantez içinde yazılmalıdır. Her eşitlik alttaki ve üstteki yazılardan bir boş satır ile ayrılmalıdır. Eşitliklerde kullanılan bütün semboller eşitlikten hemen sonraki metinde tanımlanmalıdır.
14. Sayısal örnekler verildiği durumlarda SI veya Metrik sistem kullanılmalıdır. Rakamların ondalık kısımları virgül ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içerisinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayınlandığı yer ve yararlanılan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı ve yazarken soldan itibaren 0,75 cm asılı paragraf şeklinde yazılmalıdır. Makale başlıkları çift tırnak içine alınmalı, kitap isimlerinin altı çizilmelidir. Bütün kaynaklara metin içinde atıf yapılmalıdır.
17. Çizelgeler, şekiller, grafikler ve resimler yazı içerisine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Bildirinin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numarası, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak basılmış bildirim tam metni hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve Kuruluşlarınınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Bildiriyi gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

Yasal Uyarı

Bu Teknik Bülten yalnızca genel bilgilendirme amacıyla yayımlanmaktadır ve içeriğinde yer alan malzemelerin, prosedürlerin veya yöntemlerin tek mevcut ve uygun malzeme, prosedür veya yöntem olduğunu ima etmemektedir. Malzemeler, prosedürler veya yöntemler özel koşullara, yerel imar kanunlarına, tasarım şartlarına veya tüzel ve yasal şartlara göre değişebilir. Bu Teknik Bülten'deki bilgilerin doğru ve güvenilir olduğuna inanılmakla beraber, yayımlayıcı olarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü bu Teknik Bülten'in içeriğinde bulunan yöntemlerin, malzemelerin, talimatların veya fikirlerin herhangi bir şekilde kullanılması kaynaklı mal veya can kaybından veya oluşabilecek zararlardan sorumlu değildir.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı

06100 Yüce-tepe ANKARA

Tel (312) 454 3800

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web <http://www.dsi.gov.tr/yayinlarimiz/dsi-teknik-bultenleri>

KİL ÇEKİRDEKLİ KAYA DOLGU BARAJLARDA HİDROLİK ÇATLAMA POTANSİYELİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Sadettin TOPÇU
Dumlupınar Üniversitesi Germiyan Kampüsü Merkez/Kütahya
sadettin.topcu@dpu.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 23.02.2017, Makalenin kabul tarihi: 18.10.2017)

ÖZ

Dolgu barajlarda çatlaklar; kemerlenme, farklı oturma, tektonik yer hareketleri ve hidrolik çatlama sonucu oluşabilir. Dolgu barajlarda memba yüzeyinde meydana gelen su basıncı etkisiyle mevcut çatlağın büyümesi veya yeni bir çatlağın oluşmasıyla ortaya çıkan çatlak oluşma mekanizmasına hidrolik çatlama adı verilir. Literatürde hidrolik çatlama nedeniyle göçen birçok barajdan bahsedilmektedir. Hidrolik çatlama sonucu barajda yoğun bir kaçak ile birlikte içsel erozyon ve borulanma olayları görülür. Özellikle kil çekirdekli kaya dolgu yüksek barajlarda baraj emniyeti açısından araştırılması gerekir. Bu çalışmada önce; hidrolik çatlama neden olan kemerlenme davranışı anlatılmış, daha sonra da hidrolik çatlama mekanizması verilmiştir. Daha sonra da talvegten 125 metre yüksekliğindeki kil çekirdekli kaya dolgu enkesite sahip olan Çınarcık Barajı için hidrolik çatlama potansiyeli tahmin edilmiştir. Bu çalışma sonucunda Çınarcık Barajı için dikkate alınacak düzeyde hidrolik çatlama potansiyeli ortaya çıkmıştır. Fakat; baraj rezervuarının yavaş doldurulması ve çatlak durdurucu filtre kullanılması şimdiye kadar bu barajla ilgili bir problemin ortaya çıkmasını engellemiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik çatlama, Kemerlenme, Enine Çatlak, Yatay Çatlak, Çınarcık Barajı

ESTIMATION OF HYDRAULIC FRACTURING POTENTIAL FOR CLAY-CORE ROCKFILL DAMS

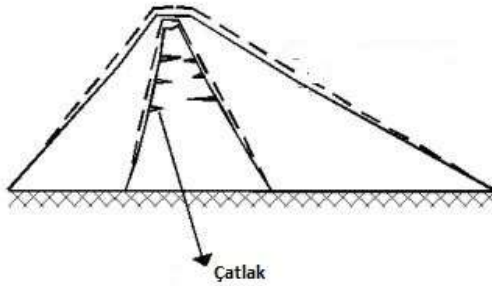
ABSTRACT

The cracks in the embankment dams might occur as the result of arching, differential settlement, tectonic ground movements and hydraulic fracturing. The mechanism of crack formation, which occurs as the enlargement of the existing crack or the formation of a new crack on the upstream due to the effect of water pressure on the surface of the column at the clay-core rockfill dams, is called hydraulic fracturing. In the literature, there are many dams that are mentioned to be collapsed due to hydraulic fracturing. As the result of the hydraulic fracturing at the dam, concentrated leakage together with internal erosion and piping incidents are seen. So, hydraulic fracturing is a problem that needs to be investigated in terms of dam safety especially in clay-core rockfill dams. In this study; first of all, the behavior of arching causing the hydraulic fracturing was explained and then the hydraulic fracturing mechanism was given. Hydraulic fracturing potential is estimated for Çınarcık Dam, which has a clay-core rockfill cross-section of 125 meters in height from river bed. As a result of this study, there is a possibility of hydraulic fracturing to be considered for Çınarcık Dam. But; slow impounding of dam reservoir and use of a crack stopper filter prevented the occurrence of a problem with this dam until now.

Keywords: Hydraulic Fracturing, Arching, Transverse crack, Horizontal crack, Çınarcık Dam

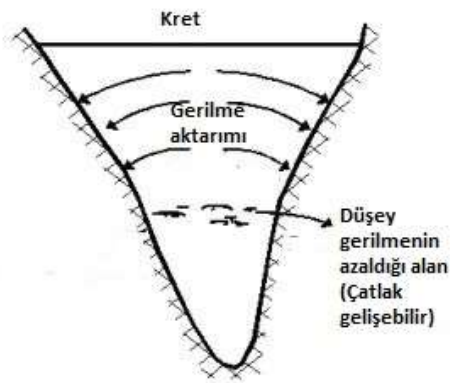
1 GİRİŞ

Kil çekirdeğe sahip dolgu barajlarda gerilme transferleri sonucu ortaya çıkan “kemerlenme” hadisesi üç farklı şekilde gelişmektedir. Bunlardan birincisi memba-mansap doğrultusunda gelişir. Bu kemerlenmeye enine kemerlenme adı verilir (Şekil 1). Kabuk ile çekirdeğin farklı deformasyon modüllerine sahip olmasından kaynaklanır. Kil çekirdeğin deformasyon modülünün, kabukta kullanılan kayanınkine göre daha az olmasından dolayı yukarıdan gelecek yüklerin etkisiyle daha fazla oturma yapmak isteyecektir. Bu durumda da düşey yüklerin bir kısmı kabuğa transfer olacaktır. Böylece özellikle kil çekirdeğin kabuğa yakın kısımlarında düşey gerilmede azalmalar görülecektir.



Şekil 1 - Enine kemerlenme [Rezai vd, 2011]

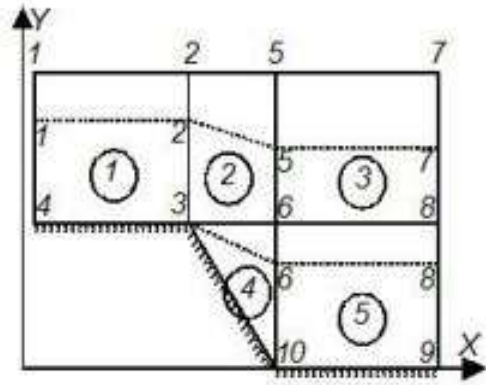
Kil çekirdeğin eğimli inşa edilmesi bu kemerlenmeyi engelleyebilir. İkincisi ise dolgu ile vadi yamaçları arasında gerçekleşen “Boyuna Kemerlenme” olayıdır (Şekil 2). Özellikle dar vadilerde inşa edilen dolgu barajlarda önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2 - Boyuna Kemerlenme [Rezai vd, 2011]

Üçüncüsü ise “Yerel Kemerlenme”dir. Bu kemerlenme de özellikle galeri ve dolu savağın dolgu malzemesiyle birleştiği noktalarda meydana gelir (Şekil 3). Genelde de farklı rijitliğe sahip malzemelerin (beton ve zemin

gibi) olduğu yerlerde görülür. Kemerlenme hadisesinin görüldüğü alanlarda çekme zonları oluşur. Oluşan bu çekme zonları da çekme çatlaklarının oluşumuna sebep olabilir.



Şekil 3 - Yerel Kemerlenme [Rezai vd, 2011]

Kemerlenme olayı kemerlenme katsayısıyla tespit edilebilir. Kemerlenme katsayısı R_L :

$$R_L = \frac{\sigma_v}{\gamma.H} \quad (1)$$

σ_v : Çekirdeğin H derinliğinde oluşan toplam düşey gerilme.

$\gamma.H$: Çekirdeğin H derinliğinde oluşması beklenen toplam örtü yükü.

R_L katsayısı 0 ile 1 arasında değerler alır. 1'den küçük ise kemerlenme hadisesi gelişmiş demektir. Kemerlenme katsayısının 0'a yakın olması şiddetli bir kemerlenmeyi gösterir. Kaçak ve içsel erozyonun görüldüğü ince kil çekirdeğe sahip 26 metre ve 34 metre yüksekliklerindeki Holle ve Harspranget Barajlarındaki kemerlenme oranları 0.5 olarak saptanmıştır [Loftquist, 1951]. Çizelge 1'de hidrolik çatlama nedeniyle göç etmiş barajlar verilmiştir.

Çizelge 1 – Hidrolik çatlamanın gözlemlendiği barajlar [Lo ve Kaniaru, 1990]

Barajlar	Yükseklik(m)	İnşaat süresi(yıl)	Rezervuar dolum hızı(m/ay)
Balderhead	48	4	2
Hyttejuvet	90	1	20
Viddalstavn	70	1	11
Teton	93	3	27
Yard'sCreek	24	2	7

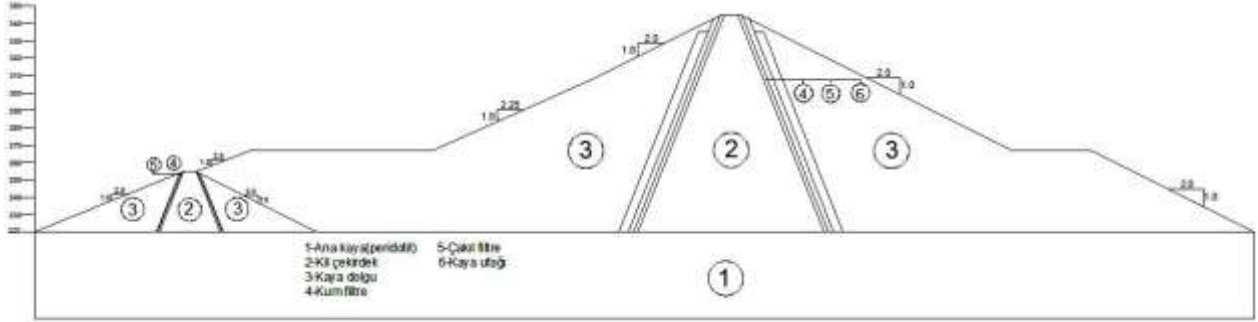
Kil çekirdeğin memba yüzeyindeki asal gerilmelerin azalması ve bu noktalardaki su basıncının asal gerilmelerden büyük olması durumlarında hidrolik çatlama sorunu ortaya çıkmaktadır. Hidrolik çatlama, yeni bir çatlak

Kil çekirdekli kaya dolgu şekilde enkesite sahip olan Çınarcık Barajı'nın memba tarafındaki kaya dolgusu 1/2 ve 1/2.25 eğimlerinde olacak şekilde iki farklı eğimde inşa edilmiştir. Memba batardosunun kret kotu deniz seviyesinden +242.5 m iken dolgunun kret kotu ise +333.0 m'dir. Maksimum, işletme ve ölü hacim seviyeleri ise sırasıyla +330.0, +304.75 ve +291.70 m kotları olarak belirlenmiştir. Mansap tarafındaki kaya dolgu ise palyeli inşa

edilmiştir. Aşağıdaki çizelge 2'de barajla ilgili teknik veriler sunulmuştur.

Çizelge 2 – Teknik veriler [DSİ,1986]

Gövde Hacmi	4771 dam ³
Yükseklik(talvegden)	125 m
Normal su kotunda göl hacmi	373 hm ³
Normal su kotunda göl alanı	10 km ²
Sulama alanı	6597 ha
Güç	120 MW
Yıllık üretim	540 GWh



Şekil 7- Çınarcık Barajı enkesiti

Şekil 7'de Çınarcık Barajı'nın enkesiti verilmiştir. Barajda filtre tasarımında kum, çakıl ve kaya ufağından oluşan [USBR,2011]'de belirtilen çatlak durdurucu filtre inşa edilmiştir. Çatlak durdurucu filtreler; genelde sismik kaynaklı yer hareketlerinin çok güçlü beklendiği yerlerde dolguda oluşabilecek çatlakların gelişip barajın içsel erozyona bağlı göçmesine neden olacağı durumlarda önerilmektedir. Çatlak durdurucu filtrelerde dikkat edilmesi gereken nokta filtrenin kendisinin çatlak oluşturma potansiyelinin olmamasıdır. Bunun içinde kullanılacak olan kum ve çakıl filtrelerdeki plastik veya plastik olmayan ince dane oranının % 5'den fazla olması istenmez. Barajın kil çekirdeğinde CL türü(LL=45, PI=27) zemin kullanılmıştır. Dolgu barajın temelinde çok az alüvyona rastlanmış bu da sıyırma kazısıyla kaldırılmıştır. Bunun dışında temelde peridotit türü magmatik kayaç bulunmaktadır. Çınarcık Barajı'nın genel görünümü de şekil 8'de görülmektedir.

4 NÜMERİK MODEL

Çınarcık Barajı'nın sayısal modellemesi iki boyutlu olarak GEOSTUDIO 2007 paket programının SIGMA/W modülünde yapılmıştır. Bu programda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

4.1 Modelin Geometrisi

Çınarcık Barajı'nın en büyük enkesitinin basitleştirilerek geometrik modellemesi

gerçekleştirilmiştir. 3776 birleşim noktası ve 3652 hücreden oluşan model şekil 9'da görülmektedir.

4.2 Malzeme Özellikleri

Modellemede altı farklı zemin türü tanımlanmıştır. [DSİ, 1986]'da belirtilen zemin parametreleri de göz önünde tutularak zeminler için makul tasarım parametreleri dikkate alınmıştır. Malzemeler lineer elastik davranış modelinde tanımlanmıştır. Çizelge 3'de bu değerler verilmiştir



Şekil 8 - Çınarcık Barajı

Çizelge 3 - Malzeme tasarım parametreleri

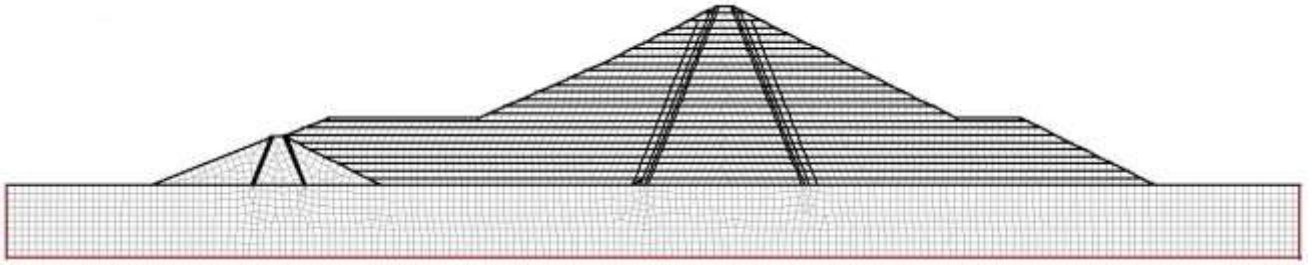
Malzeme	$E(kN/m^2)$	$\gamma_n(kN/m^3)$	ν
Kil çekirdek	2×10^4	18,5	0,45
Kaya dolgu	2×10^5	16,5	0,25
Kaya ufağı	12×10^4	17	0,3
Kum filtre	15×10^3	17,5	0,35
Çakıl filtre	12×10^3	18	0,35
Anakaya	1×10^6	16	0,15

4.3 Analiz Aşamaları

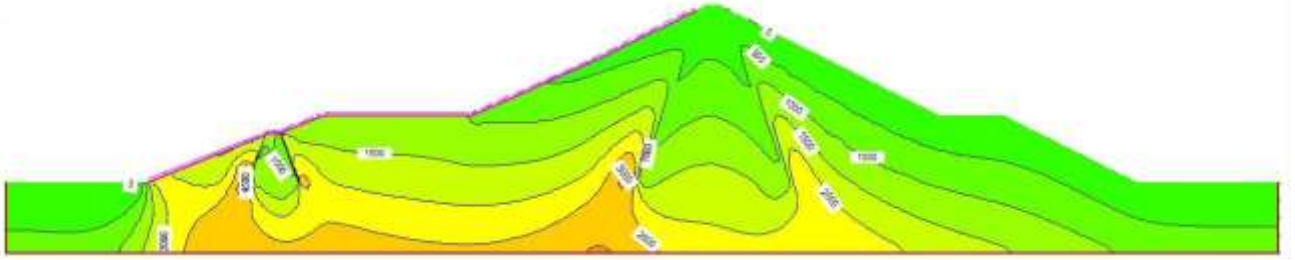
Sayısal modellemede yapılan çözümlerde dolgu barajın gerçekte inşasından işletmeye alımına kadar ki geçen dönemdeki gerilme-deformasyon davranışı benzetilmeye

çalışılmıştır. Bunun için de analiz aşağıdaki bahsedilen aşamalar halinde yapılmıştır:

- Temelde bulunan anakayadaki gerilmelerin oluşumu.
- Memba batardosunun modellenmesi
- Ana dolgunun 25 tabaka halinde modellenerek gerilmelerin aşama aşama oluşturulması.
- Rezervuarda su tutulmasının 3 aşamada gerçekleştirilmesi ve dolgunun memba yüzeyindeki kaya dolguya kaldırma kuvvetlerinin etki edilmesi.



Şekil 9 - Çınarcık Barajı'nın sayısal geometrik modeli

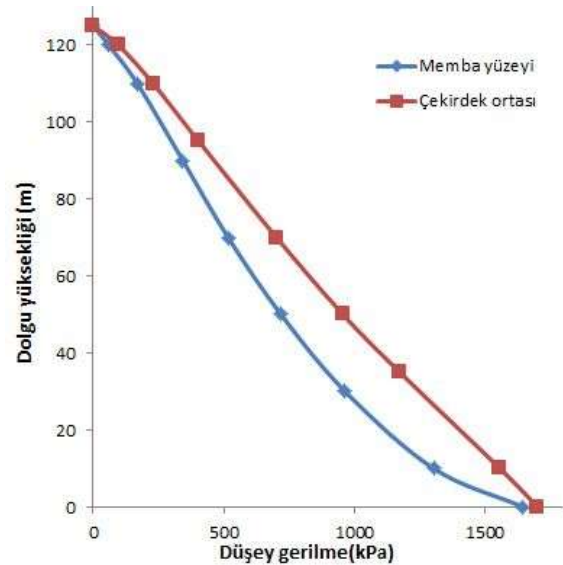


Şekil 10 - Çınarcık Barajı'nda oluşacak düşey gerilmeler

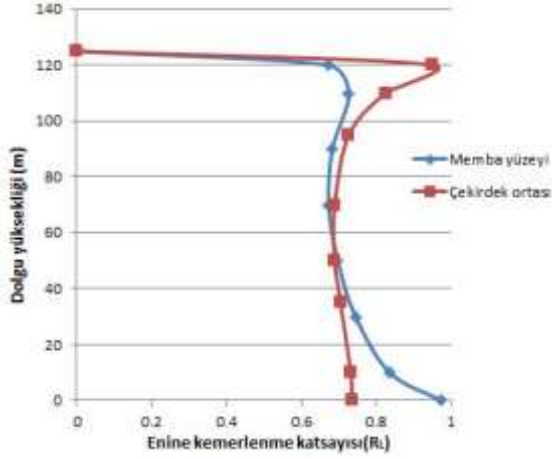
5 NÜMERİK ANALİZ

Yapılan analizler sonucunda Çınarcık Barajı'nda oluşacak düşey gerilmelerin durumu Şekil 10'da gösterilmiştir. Kil çekirdeğin memba yüzeyindeki düşey gerilmeler; çekirdeğin ortasındaki düşey gerilmelerden daha küçüktür (Şekil 11).

Enine kemerlenme katsayılarının dolgu yüksekliği ile değişimi Şekil 12'de verilmiştir. En küçük enine kemerlenme katsayıları memba yüzeyinde 0,67 iken çekirdek ortasında 0,69'dur. Çekirdek ortasındaki kemerlenme; memba yüzeyine göre dolgunun derin kısımlarında daha düşük olmasına rağmen hidrolik çatlama açısından kritik olan memba yüzeyindeki enine kemerlenmedir. Bunun sebebi; rezervuardaki su basıncına doğrudan maruz kalan kısmın memba yüzeyi olmasıdır.



Şekil 11 - Düşey gerilmeler



Şekil 12 - Enine kemerlenme katsayısı

Çınarcık Barajı; hidrolik çatlama açısından "Normal Gerilme" kriterine göre değerlendirildiğinde hidrolik çatlamanın yatay çatlak halinde oluşması veya mevcut yatay çatlakların hidrolik çatlama ile gelişmesi mümkün değildir. Dolgu yüksekliği boyunca mamba yüzeyine etki eden hidrostatik su basıncı, maksimum asal gerilmeden küçük kalmaktadır (Şekil 13).

Düzlemsel deformasyon gösteren bu nümerik modelden baraj aksı doğrultusunda oluşan ortanca asal gerilmeyi doğrudan elde edemeyiz. Ortanca asal gerilmeyi bulmak için; [Nobari vd,1973]'de belirtilen aşağıdaki formül kullanılır.

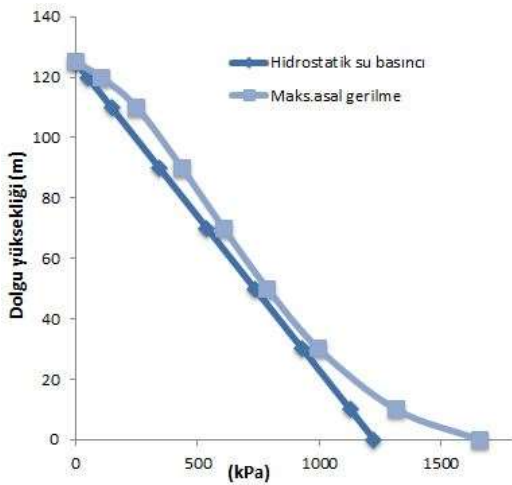
$$\sigma_2 = \nu \cdot (\sigma_1 + \sigma_3) \quad (2)$$

σ_2 : Ortanca asal gerilme

σ_1 : Maks. asal gerilme

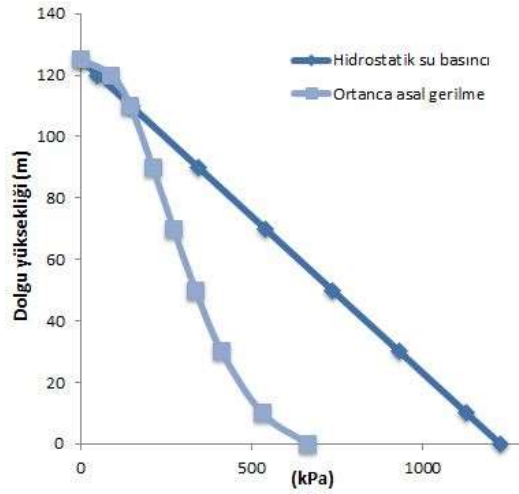
σ_3 : Minimum asal gerilme

ν : Kil çekirdeğin poisson oranı



Şekil 13 - Mamba yüzeyindeki hidrostatik su basıncı ve maksimum asal gerilmenin değişimi

Şekil 14'de görüldüğü gibi ortanca asal gerilme ile hidrostatik su basıncı kıyaslandığında hidrolik çatlamanın enine çatlak halinde oluşması veya mevcut enine çatlakların hidrolik çatlama ile gelişmesi ihtimal dâhilindedir.



Şekil 14 - Mamba yüzeyindeki hidrostatik su basıncı ve ortanca asal gerilmenin değişimi

6 DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çınarcık Barajı için yapılan iki boyutlu sayısal analizden elde edilen sonuçlara göre; birçok yüksek kil çekirdekli kaya dolgu barajda olduğu gibi talvegten yüksekliği 125 m olan Çınarcık Barajı'nda da hem mamba yüzeyi hem de kil çekirdeğin ortası için enine kemerlenme olayı tahmin edilmiştir. Çatlak duvarları yatay düzlemde olan yatay çatlakların oluşması imkansız iken, çatlak duvarları düşeyde olan enine çatlakların hidrolik çatlama mekanizması ile oluşması ve gelişmesi tahmin edilmektedir. Çınarcık Barajı'nda şimdiye kadar bu konuda bildirilen bir sorunun olmayışı, çatlak durdurucu filtrenin oluşabilecek çatlakların gelişimini engellediğini göstermektedir. Bunun dışında bir diğer etken de Çınarcık Barajı'nın rezervuarının yavaş doldurulması gösterilebilir. Çınarcık Barajı gibi yüksek kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda tasarım ve inşaat aşamalarında aşağıda belirtilenlere dikkat edilerek hidrolik çatlama mekanizmasının ve bu çatlama mekanizmasının yol açacağı problemlerin önüne geçilebilir:

- Kil çekirdek malzemesi ıslak tarafta sıkıştırılarak zemin malzemesine esneklik ve yoğrulma kabiliyeti kazandırılır, böylelikle çatlak oluşmasına engel olunur. Bunun yanında da hidrolik çatlama için; kuru tarafta sıkıştırılarak kabuk ile kil çekirdek arasındaki rijitlik farkı azaltılarak kemerlenmenin önüne geçilmiş olunur.

- Rezervuarın oldukça yavaş doldurulmasıyla memba yüzeyinde oluşmuş çatlakların içerisine girecek suyun kısıtılmasının önüne geçilir.
- Filtreler NEF(No Erosion Filter) testi ile performansları test edilerek çatlaklarda meydana gelen içsel erozyonun önüne geçilebilir.
- Kil çekirdek eğimli inşa edilerek kemerlenmenin oluşmasına engel olunabilir.
- Kil çekirdeğin gövde genişliği artırılabilir.
- Kil çekirdek ile kaya dolgu arasında filtreler ile geçiş zonu oluşturulabilir.

7 TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan veri ve bilgileri paylaşan Bursa DSİ 1. Bölge Müdürlüğü'ne ve çalışanlarına teşekkür ederim.

8 KAYNAKLAR

- [1] DSİ. 1986 "Çınarcık Barajı Planlama Raporu ve Paftaları", DSİ I. Bölge Müdürlüğü, Bursa.
- [2] Lo KY, Kaniaru K. 1990. "Hydraulic fracture in earth and rock-fill dams". Canadian Geotechnical Journal 27: 496-506.
- [3] Lofquist, B. 1951. "Earth pressure in a thin impervious core". In 4th International Congress on Large Dams, ICOLD, New Delhi, India (Vol. 1, pp. 99-109).
- [4] Lowe J. 1970. "Recent development in the design and construction of earth and rockfill dams", Montreal, Canada, 11-23
- [5] Nobari, E. S., Lee, K. L., & Duncan, J. M. 1973. Hydraulic Fracturing in Zoned Earth and Rockfill Dams: A Report of an Investigation (No. TE-73-1). CALIFORNIA UNIV BERKELEY COLL OF ENGINEERING.
- [6] Rezaei, M. M., & Salehi, B. 2011. "The Effect of Changing the Geometry and Compaction Degree on Arching of Earth Dams". In Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering (pp. 3207-3216).
- [7] US Bureau of Reclamation 2011. Design Standads No.13 Chapter 5: Protective Filters Phase 4, Washington DC.
- [8] Wang J,. 2012. Hydraulic fracturing in Earth-Rockfill Dam, Water publication, China

İŞLETMEDE OLAN BİR HİDROELEKTRİK SANTRALİN NEHİRSUYU KALİTESİNE ETKİSİ

Hayati AKYÜZ
DSİ 22. Bölge Müdürlüğü Trabzon
hakyuz@dsi.gov.tr

Aziz ŞENCAN
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 32200, İsparta
a.sencan@hotmail.com

(Makalenin geliş tarihi: 24.04.2017, Makalenin kabul tarihi: 23.10.2017)

ÖZ

İşletmede olan bir HES'in su kalitesine etkisinin belirlenebilmesi için, Sıcaklık, pH, toplam çözünmüş katı madde, sodyum, amonyum azotu, klorür, nitrat azotu, nitrit azotu, florür, sülfat, çözünmüş oksijen, biyolojik oksijen ihtiyacı, anyonik sülfaktanlar, kimyasal oksijen ihtiyacı, fenol, çözünmüş oksijen, toplam fosfor, nitrat, nitrit, ağır metaller(Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Cu, Cd, Co, Ni, Al, Ar, Se, B) gibi su kalite parametreleri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmede 2.istasyondaki (HES Çıkış) kalite parametreleri analiz sonuçlarının1.istasyondaki(HES Giriş) kalite parametreleri analiz sonuçlarına çok yakın olduğu görülmüş, su kalite parametrelerinden, toplam çözünmüş katı madde, klorür ve çözünmüş oksijen, 1. İstasyonda II.sınıf olan değerler 2. İstasyonda I. Sınıf kalitesine geçiş yaptığı saptanmıştır. İşletmede olan Dereli HES'in su kalitesine, toplam çözünmüş katı madde, çözünmüş oksijen ve parametreleri açısından olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Sıcaklık, pH, toplam çözünmüş katı madde, sodyum, amonyum azotu, klorür, nitrat azotu, nitrit azotu, florür, sülfat, biyolojik oksijen ihtiyacı, anyonik sülfaktanlar, kimyasal oksijen ihtiyacı, fenol, toplam fosfor, nitrat, nitrit, ağır metaller(Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Cu, Cd, Co, Ni, Al, Ar, Se, B) gibi incelenen diğer parametreler yönünden ise alıcı ortama bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Giresun, Trabzon, Dereli Regülatörü ve HES, Su Kalitesi

THE EFFECTS OF AN OPERATING HYDROELEKTRIC PLANT ON THE RIVER WATER QUALITY

ABSTRACT

In order to determine the effects of an operating HPP on the river water quality. In study, Temperature, pH, Total Dissolved Solids Materials, Sodium, Ammonium nitrogen, Chloride, Nitrate Nitrogen, Nitrite Nitrogen, Flouride, Sulfate, Dissolved Oxygen, Biological Oxygen anionic sörfaktan, Chemical Oxygen Demand, Total PHospHate, Nitrate, Nitrite, Heavy Metals (Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Cu, Cd, Co, Ni, Al, Ar, Se, B) on water quality were measured. Anlaysiaes showed that, quality parameters analysis results of Station 2 (HPP effluence) were very close to the results of quality parameter analyses of Station 1 (hydroelectric power plant inlet) and, of all the water quality parameters measured; Total Dissolved Materials chloride, and Dissolved Oxygen values absorbed to switch from scond quality to first quality in Station 2. Operating Dereli Hydroelectric plant was found to have positive effects on water quality in terms of Total Decomposed Materials, Chloride, Dissolved Oxygen, paramenters. No effects were found in terms of the parameters such as; Temperature, PH, Total Dissolved Solids Materials, Sodium, Ammonium Nitrate, Nitrate Nitrogen, Nitrite Nitrogen, Flouride, Sulfate, Biological Oxygen Need, Anionic ssörfaktan, Chemical Oxygen need, PHenols, Total Phosphor, Nitrate, Nitrite, Heavy Metals ((Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Cu, Cd, Co, Ni, Al, Ar, Se, B).

Keywords: Giresun, Trabzon, Dereli Regulator and HPP, Water Quality

1 GİRİŞ

Halk tarafından HES adı ile bilinen Hidroelektrik santralleri, suyun gücü ile elektrik üreten tesislerdir.

Bir hidroelektrik santrali, su alma yapısı (regülatör), su iletim hattı, yükleme havuzu, cebri boru, santral ve enerji iletim hattından oluşmaktadır. Ayrıca inşaat sırasında beton santrali, konkasör tesisi (taş kırma tesisi), depo sahası, şantiye gibi yapıları da gerektirmektedir. HES inşaat çalışmaları aşamasında, Şekil 1,1/1,2 de görüldüğü üzere hafriyatların, ilgili kurumlarca gösterilen döküm sahalarına değil de dere yataklarına ve yamaçlara kontrolsüzce bırakılması, dere yataklarında iş makineleri ile yapılan uzun süreli çalışmaların sulara meydana getirdiği kirlilik, tünel veya beton dökümü çalışmaları esnasında meydana gelen atık suların arıtılmadan dere yataklarına bırakılması ve çalışma anında oluşan toz ve gürültü çevre açısından meydana gelen başlıca tehditlerdir.



Resim1.1.Su alma yapısı (Regülatör) yapımı aşaması



Resim 1.2. Su iletim hattı inşaatı Hidroelektrik santrallerin yapımı aşamasında meydana gelen bu tehditlerin ortadan kalktığı gerçeği, inşaat süreçlerinin bitmesi ve üretime geçilmesi ile birlikte görülmüştür.

Fakat; HES'lerin işletme anında suyu kirlettiği, kirlenen suyun, suda yaşayan canlılara zarar verdiği ve hatta bu suların sulamalarda taprağa ve ürünlere zarar verebileceği gibi durumlar halkın ileri sürdüğü kuşkulardır. Halkın bu şüphelerinde haklı olup olmadıklarını tespit etmek için yapılan literatür araştırmasında akarsuların [15], havzaların [13] ve göllerin [19] su kalitesinin belirlenmesi yönünde çok fazla çalışma varken, HES'lerin su kalitesine olan etkileri için literatür çalışması daha azdır. Mevcut olan literatürlerin bir kısmı da Türkiye'de mevcut ve muhtemel HES potansiyelini ortaya koymak yönünde yapılan çalışmalardır [20] / [21] / [22]. Söz konusu yapılan bu çalışma, halkın kuşkuları ve şüphelerinde ne derece haklı olup olmadıklarını da ortaya çıkaracaktır. İşletmede olan HES'lerin nehir suyu kalitesine nasıl etkileri olabileceği hem günümüzde hem de gelecekte hangi boyutlara ulaşacağı konusunda bilgi edinilecektir. Ayrıca yapılan bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde hali hazırda çalışmakta olan bir nehir tipi hidroelektrik santralinin su kalitesinde ne gibi bir değişime sebep olduğunu ortaya çıkarmak ve bunun yanı sıra meydana gelen su kalitesi değişimlerinin sebepleri bilimsel olarak değerlendirilmektedir.

1.1 Önceki Çalışmalar

Ülgen ve arkadaşları, Türkiye'de bulunan HES'lerin ekolojik etkisi üzerine bir rapor hazırlamışlardır. Bu raporda, HES'lerin çevreye verdikleri hava ve ses kirliliği gibi olumsuz etkileri incelenmiş ve çözüm önerilerinde bulunmuşlardır. Ayrıca çalışmada, kazı sırasında oluşan hafriyatın nehirlerle karışması ile nehirdeki çözünmüş oksijen seviyesinin azalacağından ve sıcaklığın yükseleceğinden bahsedilerek, bu olumsuz durumların canlılar üzerindeki etkisine ve çözüm önerilerine de vurgu yapmışlardır [1].

Berkün ve arkadaşları, Barajların ve HES'lerin nehir ekolojisi üzerine oluşturduğu etkileri incelemişler ve bu etkileri; su kalitesi ve fiziksel değişimler, balıklar üzerine etkiler, gölde oluşan etkiler, balıkların göçleri üzerine olan etkiler ve sosyoekonomik etkiler olarak sıralamışlardır. Planlama aşamasında tesis tipi seçimi, ÇED raporlarının hazırlanışı ve tesislerin işletmelerindeki yetersizlikten kaynaklandığını belirtip bu etkilerin ortadan kaldırılması için çözüm önerilerinde bulunmuşlardır [2].

Küçükali, Türkiye'nin kuzeybatısında bulunan Filyos Nehri üzerinde kurulmuş Tefen HES'in çevresel etkisini 2006 ve 2012 yılları arasında

incelemiştir. Ocak 2011'de işletmeye alınan HES'in sediment miktarı üzerinde yaptığı değişim belirlenmiş ve uluslararası olarak kabul görmüş çevresel kriterleri kullanarak risk skorlaması yapmıştır [3].

Brezilya'da bulunan Tucuru HES'in depolama alanının su kalitesi, Labato ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır. Depolama alanının 11 farklı noktasından alınan numunelerin sıcaklık, elektriksel iletkenlik, PH, toplam askıda katı, klorofil, bulanıklık, çözülmüş oksijen, Cl, NH₄, NO₃, PO₄, Toplam fosfor, Ca, Fe, K, Mg, Na gibi fizikokimyasal ve kimyasal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, depolama alanının su kalitesini bölgesel olarak belirlemişlerdir [4].

Depolama alanında toplanan su miktarının az olduğu yani su alıkonma zamanının düşük olduğu Brezilya'da Monte Claro HES'ini seçerek çalışmalarını gerçekleştiren Pimenta ve arkadaşları 2005 ile 2008 yılları arasında 3 farklı istasyondan numune alarak depolama alanının su kalitesini belirlemeye çalışmışlardır. EC, bulanıklık, alkalinite, pH, BOD, COD, toplam fosfor, DO, SO₄, NO₃, NO₂, NH₄, TDS, Klorofil-a, E-coli, T-coli ve sıcaklık parametreleri kullanmışlardır. Büyük depolama alanlarında; azalan su akış hızı, artan su alıkonma zamanı, sıcaklık değişimi, artan sedimantasyon miktarı ve azalan DO nedeniyle karşılaşılan su kalitesindeki olumsuz değişimlere rastlamamışlardır [5].

Valaro ve arkadaşları Galicia'da Mandeo Nehri üzerinde kurulmuş Gomil HES'in suyun kalitesine olan etkisini belirlemek için 3 yıl inceleme yapmışlardır. HES'in giriş akımından, kuyruk suyundan ve HES çıkış akımının 50 m ilerisinden olmak üzere toplam 3 istasyonda sıcaklık, EC, DO ve pH deneylerini gerçekleştirmişler ve suyun biyolojik kalitesini belirlemek için IBMWP indeksini kullanmışlardır. Çalışmaların sonunda, suyun kalitesinde hem kimyasal hem de biyolojik olarak bir değişim olmadığı görülmüşler [6].

Ardena Nehri üzerinde bulunan VilaViçosa HES'in su kalitesine ve bentik omurgasızlar üzerine olan etkisi 2 yıl boyunca Jesus ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Araştırmacılar, hava ve su sıcaklığı, elektriksel iletkenlik, pH, alkalinite, toplam sertlik, çözülmüş oksijen, biyolojik oksijen ihtiyacı, amonyum, nitrit, nitrat, fosfat, askıda katı madde parametrelerini kullanarak suyun fizikokimyasal olan etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, HES'in su kalitesine ve bentik

omurgasızlar üzerine önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır [7].

Atılğan ve arkadaşları HES lerin çevreye olan etkileri ve bu etkilerin azaltılmasına dair öneriler üzerine bir makale hazırlamış, yapılan bu çalışmada HES'lerin özellikle sucul çevreye olan etkileri ve bazı çözüm önerileri irdelenmiş ÇED süreci hakkında ve Trabzon ilinde kurulan veya kurulma aşamasında olan santraller hakkında kısa istatistik bilgileri derlemişlerdir [8]. Akkaya ve arkadaşları Baraj ve HES'lerin çevresel etkilerinin analizi: İlısu Örneği üzerine bildiri hazırlamış ve bu bildiride baraj ve hidrolik santrallerin bölgesel ölçekte sebep oldukları çevresel etkileri İlısu Barajı örneğinde analiz etmişler [9].

Yılmaz ve arkadaşları nehir tipi HES'lerin coğrafi ortam üzerine etkilerine bir örnek: Ayancık HES üzerine bir çalışma yapmış ve bu çalışmada nehir tipi HES projelerinin ekolojik ve sosyal açıdan oluşturduğu ve oluşturacağı sorunlar Ayancık HES örneğinde tartışılmıştır. Ayancık Çayı sularını kullanacak olan santralin devreye girmesi ile akarsu yatağında su azalacağından gelecekte başka balık varlığı olmak üzere faunanın da bu müdahalelerden etkileneceği hedeflemişler [10].

Karadeniz ve arkadaşları nehir tipi hidroelektrik santraller ve çevresel etkileri (Reşadiye HES Örneği) adı altında çalışma yapmışlar ve sonuç olarak genelde enerji, özelde ise elektrik enerjisi sıkıntısı yaşayan Türkiye için küçük ve orta ölçekli nehir tipi santraller kısa vadede önemli bir olanak sunmaktadır. Bu kapsamda Tokat'ın Reşadiye ilçesi yakınlarında Kelkit Çayı üzerinde kurulan Reşadiye HES, 450 milyon kwh/yıl üretim kapasitesi ve 65 MW kurulu gücüyle dikkate değer bir enerji ünitesidir. Karbon emisyonlarını sınırlamanın zorunluluk haline geldiği günümüzde, temiz enerji üretiyor olması başlı başına bir üstünlük sebebidir. Bununla birlikte büyük ölçüde proje ve kurulum sürecinde yapılan yanlışlıklar, başta Kelkit Çayı ekosistemi olmak üzere yörede ciddi çevre sorunlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Mevcut planlamalardan kısa ve orta vadede Türkiye genelinde yüzlerce yeni nehir tipi santral kurulacağı anlaşılmaktadır. Bunların projelendirilmesinde ve kuruluşunda Reşadiye HES'i konu alan bu çalışmada elde edilen bulgu ve sonuçların dikkate alınması yararlı olacağı kanısına varmışlardır [11].

Aksungur ve arkadaşları nehir tipi elektrik santrallerinin sucul ekosisteme etkisi: Trabzon örneği bu çalışmada, bölgesi Trabzon ili sınırları

içerisinde bulunan 19 HES projesinin çevresel etki değerlendirme (ÇED) raporlarının uygulamadaki ek-siklikleri inşaat ve işletme aşamalarında yerinde inceleme yapılarak değerlendirilmiş ve görülen aksaklıklar fotoğraflanmıştır. ÇED raporlarında sucul canlılar ve sucul ekosisteme etkiler literatür üzerinden verilirken sadece iki projede bölgesel saha çalışması yapılmıştır. İnşaat aşamasında; özellikle hafriyatların gelişigüzel dere yataklarına bırakılması, su kotu altındaki çalışmaların uzun süreli bulanıklık yaratması ve atık suların dinlendirilmeden dere yatağına ve-rilmesi inşaat aşamasındaki en büyük tehlikelerdir. İşletme aşamasında ise dere yatağına bira-kılması gereken can suyu miktarının yeterli miktarda bırakılmaması ve balık geçitlerinin gelişigüzel inşa edilerek işlevlerini tam olarak yerine getirememesi sürdürülebilir bir sucul ekosistem açısından önemli bir tehdit oluşturduğu sonucuna varmışlar [12].

Büyük Melen Havzası'nın su kalitesinin belirlenmesi çalışmasında; Büyük Melen Havzası'ndaki akarsuları etkileyen önemli kirleticikaynaklar tespit edilmiş; akarsular üzerinde kirletici kaynaklara bağlı olarak 6 farklı numune alma noktası (2 nokta Büyük Melen üzerinde, 3 nokta Küçük Melen üzerinde, 1 nokta Asar Suyu üzerinde) belirlenmiştir. Nehirler üzerinde belirlenen noktalardan, Kasım 2005 ve Eylül 2006 tarihleri arasında ikişer aylık periyotlarla su numuneleri alınmış ve SKKY Çizelge 1.1'de yer alan parametrelerden bazılarının analizleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları grafiksel olarak gösterilerek, akarsuların su kalitesi belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu akarsularda su kalitesinin korunması ve kontrolü için gerekli olan önlemler ortaya koymuştur [13].

Tayhan; Temmuz 2011 ile Mart 2012 arasında Munzur ve Pülümür nehirlerinin oluşturduğu Uzunçayır Baraj Gölü üzerinde fiziksel ve kimyasal parametreler incelemiştir. Örnek alınan istasyonlardan ikisi, barajın Munzur kısmında, ikisi Pülümür, dördü iki nehrin birleşiminden sonra ve iki adeti ise baraj bitim sahasında olmak üzere toplamda on adet örnekleme yapmıştır. Mevsimsel değişimler araştırılarak atık suların ve diğer kaynakların baraj gölü sahasına etkisi araştırılmıştır. Buna ek olarak baraj gölündeki mevcut su seviyesindeki değişimlerde incelenmiştir. Sıcaklık ve çözünmüş oksijen parametrelerinin yanı sıra ölçülen tüm parametrelerde mevsimsel değişiklikler kaydedilmiştir. İncelenen bütün

parametreler ayrı ayrı değerlendirilerek baraj gölü suyunun fizikokimyasal elde edilen verilerden, su kalitesi belirlenmiştir. Uzun çayır Baraj Gölü'nün, Su Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği dikkate alındığında, I ve II. Sınıf su kalitesi grubuna girdiği tespit edilmiştir. Yapılan tespitler ışığında Uzunçayır Baraj Gölü'nün geleceğine dair öneriler sunmuştur [14].

Bulut Trabzon kentine içme ve kullanma suyu sağlayacak olan Atası Barajı sularını taşıyan kalyan akarsuyunun su örneklerini 3 ayrı noktada yaklaşık bir yıl boyunca ayda 1 örnek olarak akarsuyun su kalitesini belirlemiştir. Çalışma süresince, BOİ,KOİ, ÇO,Debi Sıcaklık, pH, N, NO₂,NO₃, NH₄, Fe,Zn,Al,Cu,Pb,Cr,Bulanıklık,toplam sertlik, toplam pestisit gibi bazı su kalite parametreleri üzerinde çalışma yapılmış ve su kirliliği kontrol yönetmeliği içme suyu standartları ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen standartlarla karşılaştırılıp içme suyu olarak akarsuyun kalitesi belirlemiş. sonuç olarak bazı aylarda ölçülen toplam sertlik, bulanıklık, orto-fosfat, deterjan, toplam krom değerleri standart değerler üzerinde çıkmış, diğer parametreleri ise normal kalite değerleri seviyesinde bulmuştur [15].

Boztuğ ve arkadaşları, Tunceli ilinde bulunan Uzunçayır Baraj Gölü'nün, fiziksel ve kimyasal özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılmışlar. Elektrik üretimi amacıyla DSİ tarafından yapılan Uzunçayır Barajı, yörenin enerji ihtiyacını karşılamada katkı sağlamaktadır. Çalışma süresince tespit edilen on istasyondan iki ayda bir su örnekleri alınmış ve elde edilen sekiz aylık ortalama değerler (minimum, ortalama, maksimum) şu şekilde bulunmuştur: Su sıcaklığı (1,1-12,8- 29,4 °C), pH (7,7-8,1-8,6), çözünmüş oksijen (5,5-9,7-14,7 mg/L), BOİ (1-1,5-2 mg/L), asidite (101-154,3-285 mg/L), toplam sertlik (12,5-26,4-67,6 mg/L), toplam alkanite (66-132,1-198 mg/l), iletkenlik (148-276,9-381 µS/cm), askıda katı madde (0,03-1,04-3,03 mg/L). Çalışma sonunda karasal bir tatlı su gölü olan barajın iyi sayılabilecek bir su kalitesine sahip olduğu, önemli bir kirlilik problemi olmadığı ortaya çıkarmışlar. Bu durumu korumak için fizikokimyasal parametrelerin statik seviyede tutulması gerektiği sonucuna varmışlar [16].

Durhasan, baraj göllerinden su temininde derinliğin su kalitesine etkileri incelemiştir. Bu amaçla Çatalan Barajı göl suyundan Aralık 2004-Ekim 2005 tarihleri arasında 2 farklı istasyondan toplam 8 numune alınmıştır.

Çalışma süresince ÇatalanBarajı göl suyundan alınan numunelerin pH'ının 5,90-8,30, elektriksel iletkenliğinin 365-470 µS/cm, Toplam Sertliğinin 175-220 mg/l CaCO₃, Alkalinitesinin 120-192 mg/l CaCO₃, ÇKM'nin 256,20-329mg/lt, Sıcaklığının 0,9-30 C0, Rüzgar hızının 0-6,5 m/s, derinlik göstergesinin 1-4,5 m arasında değiştiği tespit etmiştir. Farklı noktalardan alınan su numunelerinde su kalitesi yönünden fazla fark gözlememiştir [17].

Dinçer, Giresun ili Görele ilçesinde denize dökülen Çanakçı Deresi'nin bazı su kalitesi parametreleri ve kirlilik durumunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çalışma 12 ay boyunca yürütülmüş olup, tespit edilen 3 istasyondan su örnekleri aylık olarak toplanmıştır. Su kalitesi parametrelerinden; çözünmüş oksijen, oksijen doygunluğu, pH, sıcaklık, tuzluluk, toplam çözünmüş katı madde (TDS), iletkenlik, klorofil, oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), toplam alkalinite, toplam sertlik, toplam amonyak nitrojeni (TAN), amonyum (NH₄), amonyak (NH₃), toplam fosfor, çözünebilir reaktif fosfor (SRP), askıda katı madde (TSS) tayinleri yapılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda Çanakçı Deresi su kalitesinin tarımsal faaliyetler için kullanılabilir, sucul canlılar için uygun yaşam ortamı olabileceği ancak toplam fosfor 0,46 mgL⁻¹ve oksijen doygunluğu %67,68 bakımından kirlenmiş su sınıfına girdiği, amonyum 0,65 mgL⁻¹ve çözünmüş oksijen 7,11 mgL⁻¹bakımından az kirlenmiş su sınıfına girmektedir. Diğer parametrelerin kirlilik tehdidi yaratmayacak düzeyde olduğu tespit etmiştir [18].

1.2 Çalışma Alanı

Çalışma alanı; Ülkemizin Kuzeyinde Doğu Karadeniz Bölgesinde Giresun ili sınırları içerisinde Aksu deresi üzerinde bulunan Dereli Regülatörü ve HES'tir. HES, suyu regülatörden (su alma yapısı) 7650 m uzunluğunda bir tünelle taşıyıp 281 m yükseklikten 550 m uzunluğunda bir cebri boru vasıtası ile santrale bırakarak enerji üretmektedir.

İşletmede olan bir HES'in su kalitesine etkisinin belirlenebilmesi için, hidroelektrik santralin girişinde ve çıkışında birer adet olmak üzere toplam 2 adet istasyon belirlenmiş ve bu

istasyonlardan bir yıl boyunca ayda bir, eş zamanlı su örnekleri alınmıştır. Tespit edilen istasyonlardan;

Birinci istasyon HES'in girişinde, Dereli Regülatörünün 150 m membasında Aksu Deresi ile Göksü deresi birleşiminden hemen sonra UTM 6⁰ Y:447838, X:4498547 Koordinatlarında oluşturulmuştur.

İkinci istasyon HES'in çıkışında, UTM 6⁰ Y:452558, X:4504469 Koordinatlarında Dereli HES'in türbin çıkışından doğal yatağa karışmadan oluşturulmuştur.

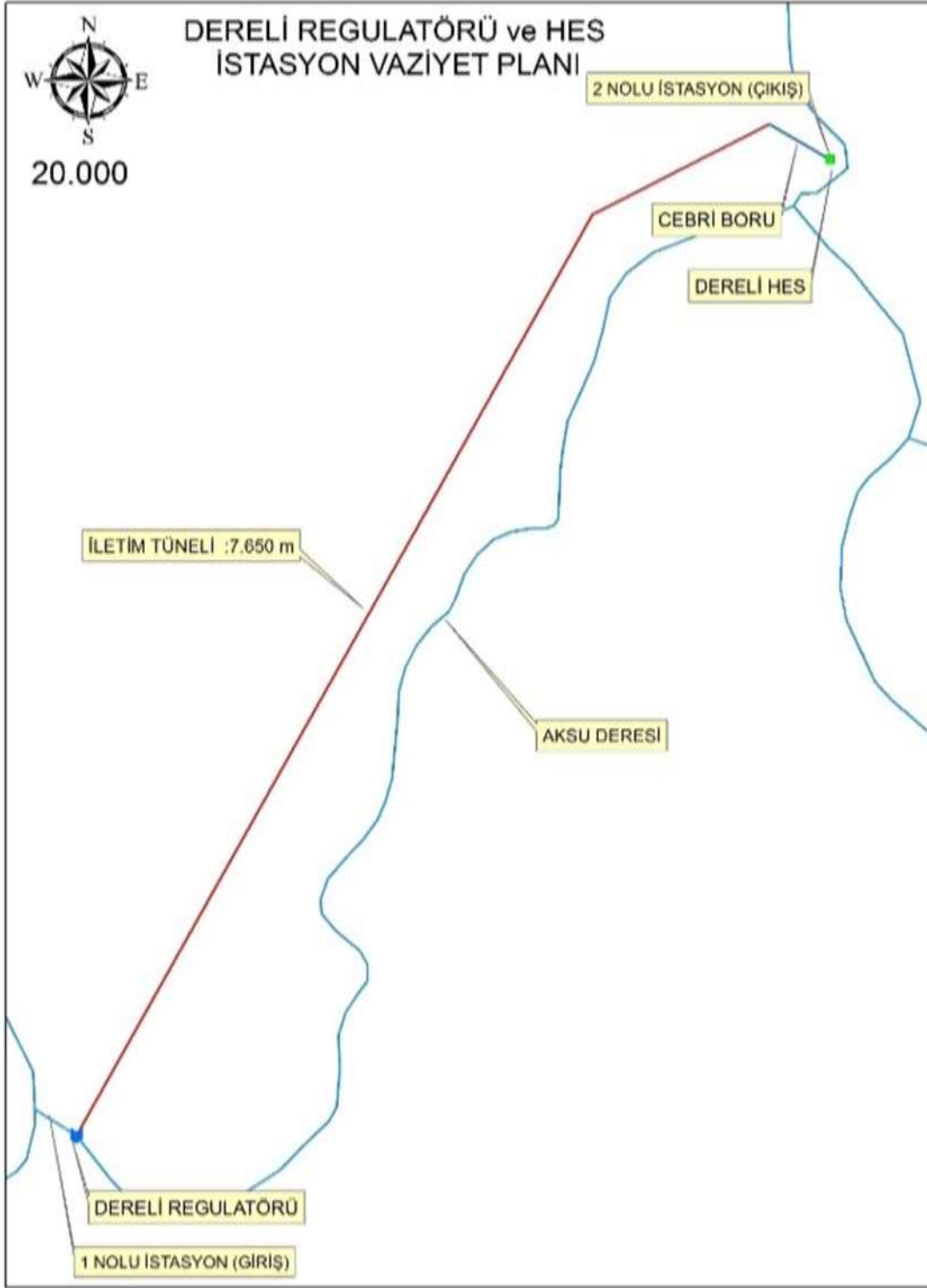
Birinci istasyondan geçen su direk su toplama yapısına (Regülatöre) oradan su iletim tüneli vasıtası ile yükleme havuzu ve cebri boru üzerinden direk Dereli Regülatörü ve HES'in Türbinlerine girmektedir. Santralin türbinlerinden çıkan su HES' in çıkışında olan 2. İstasyondan geçmekte ve oradanda mansapta bulunan Çıkrakdamı HES'in iletim kanalına ulaşmaktadır (Şekil 1).

2 MATERYAL VE METOD

Çalışma için incelenen parametreler; sıcaklık, pH, toplam çözünmüş katı madde, sodyum, amonyum azotu, klorür, nitrat azotu, nitrit azotu, florür, sülfat, çözünmüş oksijen, biyolojik oksijen ihtiyacı, anyonik sülfaktanlar, kimyasal oksijen ihtiyacı, fenol, çözünmüş oksijen, toplam fosfor, ağır metaller(Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Cu, Cd, Co, Ni, Al, Ar, Se, B) dir.

Bu çalışmada tespit edilen 2 ayrı örnekleme istasyonundan 2014 yılı (Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık) – 2015 yılı (Ocak ve Şubat) aylarında, Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Cu, Cd, Co, Ni, Al, Ar, Se, B parametreleri için 9 ar analiz, sıcaklık, BOİ için 10 ar analiz; pH, ÇO, Toplam fosfor için 11 er analiz ve toplam çözünmüş katı madde, Na, klorür, sülfat, nitrat, nitrit, amonyum, florür, KOİ, fenol ve anyonik sülfaktanlar parametreleri için ise 12 şer analiz yapılmıştır.

HES'in girişinde ve çıkışından, eş zamanlı 5 lt lik bidonlarla alınan su örneklerinin deneysel çalışmaları DSİ Trabzon Bölge Müdürlüğü'nün akredite laboratuvarlarında yapılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan cihaz ve metotlar Çizelge 2.1'de verilmiştir.



Şekil 1 - Dereli Regulatorü ve HES istasyon vaziyet planı

Çizelge 2.1 - Deneysel çalışmalarda kullanılan cihaz ve metotlar

ADI	KULLANILAN CİHAZ VE METOTLAR (ULUSAL VE ULUSLARARASI STANDARTLAR)
Sıcaklık	WTW Multi 340i
pH	WTW Multi 340i TS EN ISO 10523:2012(EN)
Elektriksel İletkenlik, mS/m	WTW Multi 340i TS 9748 EN 27888/T1
Otomatik Cihaz Düzeltmesi	
Toplam Çözünmüş Katı Mad, mg/L	Hesapla, TS 8108
Sodyum, mg/L	Metrohm 882 Compact IC Plus marka iyon kromatografi, TS EN ISO 14911
Klorür, mg/L	Metrohm 882 Compact IC Plus marka iyon kromatografi, TS EN ISO 10304-
Sülfat, mg/L	Metrohm 882 Compact IC Plus marka iyon kromatografi, TS EN ISO 10304-1
Nitrat Azotu, mg/L	Hesapla, TS EN ISO 10304-1
Nitrit Azotu, mg/L	Hesapla, TS EN ISO 10304-1
Amonyum Azotu, mg/L	Hesapla, TS EN ISO 14911
Florür, mg/L	Metrohm 882 Compact IC Plus marka iyon kromatografi, TS EN ISO 10304-1
Çözünmüş Oksijen Doyum Oranı, %O ₂	WTW Multi 340i, TS 5677 EN 25814
Biyolojik Oksijen İhtiyacı, mg/L	WTW OxiTOP marka ölçüm setleri, STMD 2005
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/L	Hach Lange LCK 414 marka küvet testler, KİT
Fenol, mg/L	Hach Lange 4-Aminoantipirin Metodu,
Toplam Fosfor, mg/L	Hach Lange LCK 349,
Anyonik Sürfaktanlar, mg/L	Hach Lange LCK 332 küvet testleri,
Ağır Metaller	Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) Metodu, Bruker Aurora M90 ICP-MS Cihazı, EPA 200.8

2.1 İstatistiksel Veri Değerlendirme Yöntemleri

Su kalite sınıflarının belirlenebilmesi için, istatistiksel veri değerlendirme yöntemlerinden, Hazen ve aritmetik ortalama yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler sonucu bulunan ortalama değerlerin, "kıta içi yüzeysel su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri değerleri" ile karşılaştırılarak sonuç belirlenmiştir.

Yüzdeler değeri hesaplamalarında, seçilen istatistiksel yöntemle bağlı olarak gerekli asgari veri sayısı ile sıra numarası formülleri farklılık göstermektedir. Bu yöntemlerde kullanılan yüzde kesri ve yüzdeler değeri formülleri Çizelge 2.2'de verilmektedir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2012). Veri sayısı 10'dan az olduğunda yüzde değeri hesabı yapılmaz, verilerin aritmetik ortalaması alınarak kategoriler

belirlenir. Veri sayısı 10 ve daha üstü olan parametrelerde Hazen, 10 dan az olan parametrelerde ise aritmetik ortalama yöntemleri uygulanmıştır.

Çizelge 2.2 - İstatistiksel veri değerlendirme formülleri

Yöntem	Yüzdeler Kesri	Yüzdeler Değeri	%95'lik değeri için Gerekli Minimum Veri Sayısı
Hazen	$p = \frac{r - \frac{1}{2}}{n}$	$P = 100 \cdot \left(\frac{n - \frac{1}{2}}{n} \right) = 100 - \frac{50}{n}$	

Yukarıda Çizelge 2.2'deki denklemlerde r , sıra no (küçükten büyüğe doğru), p , yüzde kesri, P , yüzdelik değer, n ise veri sayısıdır.

2.1.1 Hazen yönteminin uygulama adımları

1. n adet su kalitesi verisi küçükten büyüğe doğru sıralanır. Sıralanmış veri seti $X_i : i = 1, 2, \dots, n$ olarak adlandırılır.

2. Seçilen yöntemin gerektirdiği asgari veri sayısı kontrol edilir. Yeterli veri mevcutsa, Hazen Yöntemi'nin uygulanmasına geçilir.

3. Aşağıdaki ifadeler kullanılarak yüzde kesri (p) ve sıra numarası (r) hesaplanır; sıra numarası genellikle kesirli bir sayıdır.

$$p = \frac{P}{100} \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde (3.1) p yüzdelik kesri, P yüzdelik değeri ifade etmektedir.

$$r = pn + \frac{1}{2} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki denklemde (3.2) r sıra numarasını, p yüzdelik kesri ve n ise veri sayısını ifade etmektedir.

4. Kesirli sıra numarasının bir altı ve üstündeki tam sayılara karşı gelen veriler arasında doğrusal enterpolasyon yapılarak, aşağıdaki ifade yardımıyla r 'ye karşı gelen su kalitesi değeri (X_r) hesaplanır.

$$X_r = (1 - f) \cdot X_i + f \cdot X_{i+1} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki denklemde (3.3) X_i , r 'nin tam kısmı, f ise r 'nin ondalık kısmıdır.

3 BULGULAR

3.1 İşletmede Bulunan Dereli HES'in Su Kalitesi Üzerindeki Etkisi

Çalışma için tespit edilen 2 ayrı örnekleme istasyonlarından periyodik su örnekleri alınmış ve Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Cu, Cd, Co, Ni, Al, Ar, Se, B parametreleri için 9'ar analiz yapılmış ve bu analizler sırası ile;

Pb için, analiz sonuç değerleri 1. istasyonda $<0,07 \mu\text{g/L}$ – $2,35 \mu\text{g/L}$ ve 2. istasyonda ise $<0,07 \mu\text{g/L}$ – $8,73 \mu\text{g/L}$ arasında değiştiği görülmüş ve

1. istasyon için ortalama $0,49 \mu\text{g/L}$, 2. istasyon için ise $2,03 \mu\text{g/L}$ dir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 - Toplam kurşun için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam kurşun μg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	0,07	0,07	0,49	2,03
2014-MART	2,35	3,48		
2014-NİSAN	1	1,77		
2014-TEMMUZ	0,07	0,07		
2014-EYLÜL	0,59	8,73		
2014-EKİM	0,07	0,59		
2014-KASIM	0,07	0,07		
2014-ARALIK	0,07	1,87		
2015-OCAK	0,12	1,69		

Zn için 1. istasyonda $<0,90 \mu\text{g/L}$ – $12,860 \mu\text{g/L}$ ve 2. istasyonda ise $<0,90 \mu\text{g/L}$ – $27,360 \mu\text{g/L}$ arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama $2,75 \mu\text{g/L}$, 2. istasyon için ise $4,48 \mu\text{g/L}$ dir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 - çinko için aylık ve ortalama değerler

Toplam Çinko μg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	0,9	0,9	<2,75	4,48
2014-MART	12,86	27,36		
2014-NİSAN	5,55	6,71		
2014-TEMMUZ	0,95	0,9		
2014-EYLÜL	0,9	0,9		
2014-EKİM	0,9	0,9		
2014-KASIM	0,9	0,9		
2014-ARALIK	0,9	0,9		
2015-OCAK	0,9	0,9		

Cr için 1. ve 2. istasyonda analiz yapılan ICP-MS cihazının tayin sınırı olan $12,40 \mu\text{g/L}$ tan küçük olduğu görülmüştür (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 - Krom için aylık ve ortalama değerleri

Toplam Krom μg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORTALA MA	İST. 2 ORTALA MA
2014-ŞUBAT	12,4	12,4	<12,4	<12,4
2014-MART	12,4	12,4		
2014-NİSAN	12,4	12,4		
2014-TEMMUZ	12,4	12,4		
2014-AĞUSTOS	12,4	12,4		
2014-EYLÜL	12,4	12,4		
2014-EKİM	12,4	12,4		
2014-KASIM	12,4	12,4		
2014-ARALIK	12,4	12,4		
2015-OCAK	12,4	12,4		

Mn için 1. istasyonda 9,68 $\mu\text{g/L}$ –26,53 $\mu\text{g/L}$ ve 2. istasyonda ise 9,82 $\mu\text{g/L}$ –29,37 $\mu\text{g/L}$ arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama 17,79 $\mu\text{g/L}$, 2. istasyon için ise 18,76 $\mu\text{g/L}$ dir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 - Toplam mangan için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Mangan μg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORTALA MA	İST. 2 ORTALA MA
2014-ŞUBAT	25,97	25,65	17,79	18,76
2014-MART	26,53	29,37		
2014-NİSAN	17,67	22,95		
2014-TEMMUZ	13,66	12,05		
2014-EYLÜL	15,71	12,86		
2014-EKİM	15,41	15,71		
2014-KASIM	16,64	16,64		
2014-ARALIK	9,68	9,82		
2015-OCAK	18,88	23,79		

Fe için 1. istasyonda 60,23 $\mu\text{g/L}$ –264,45 $\mu\text{g/L}$ ve 2. istasyonda ise 44,16 $\mu\text{g/L}$ –292,12 $\mu\text{g/L}$ arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama 110,04 $\mu\text{g/L}$, 2. istasyon için ise 127,48 $\mu\text{g/L}$ dir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 - Toplam demir için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Demir μg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORTALA MA	İST. 2 ORTALA MA
2014-ŞUBAT	91,01	125,8	110,04	127,4
2014-MART	264,45	292,12		
2014-NİSAN	119,29	171,44		
2014-TEMMUZ	60,23	44,16		
2014-EYLÜL	61,97	69,12		
2014-EKİM	76,67	61,97		
2014-KASIM	81,35	95,1		
2014-ARALIK	130,5	146,83		
2015-OCAK	104,88	140,81		

Cu için 1. istasyonda <0,94 $\mu\text{g/L}$ –7,39 $\mu\text{g/L}$ ve 2. istasyonda ise <0,94 $\mu\text{g/L}$ –13,47 $\mu\text{g/L}$ arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama, 2,78 $\mu\text{g/L}$, 2. istasyon için ise 3,0 $\mu\text{g/L}$ dir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 - Toplam bakır için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Bakır μg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORTALA MA	İST. 2 ORTALA MA
2014-ŞUBAT	0,94	0,94	2,78	3
2014-MART	6,68	13,47		
2014-NİSAN	3,79	4,55		
2014-TEMMUZ	2,44	2,51		
2014-EYLÜL	0,94	0,94		
2014-EKİM	0,94	0,94		
2014-KASIM	0,94	0,94		
2014-ARALIK	0,94	0,87		
2015-OCAK	7,39	1,85		

Cd için 1. istasyonda <0,03 $\mu\text{g/L}$ –1,07 $\mu\text{g/L}$ ve 2. istasyonda ise <0,03 $\mu\text{g/L}$ –1,08 $\mu\text{g/L}$ arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama, 0,16 $\mu\text{g/L}$, 2. istasyon için ise 0,18 $\mu\text{g/L}$ dir. (Çizelge 3.7)

Çizelge 3.7 - Toplam kadmiyum için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Kadmiyum µg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORTA	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	0,03	0,03	0,16	0,18
2014-MART	0,09	0,08		
2014-NİSAN	0,03	0,03		
2014-TEMMUZ	1,07	1,08		
2014-EYLÜL	0,13	0,15		
2014-EKİM	0,03	0,13		
2014-KASIM	0,03	0,03		
2014-ARALIK	0,03	0,03		
2015-OCAK	0,03	0,03		

Co için 1. istasyonda <0,03 µg/L–1,28 µg/L ve 2. istasyonda ise <0,03 µg/L–1,36 µg/L arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama, 0,40 µg/L, 2. istasyon için ise 0,45 µg/L dir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8 - Toplam kobalt için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Kobalt µg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORTA	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	0,03	0,03	0,40	0,45
2014-MART	0,2	0,23		
2014-NİSAN	1,28	1,36		
2014-TEMMUZ	0,99	0,95		
2014-EYLÜL	0,25	0,37		
2014-EKİM	0,03	0,25		
2014-KASIM	0,49	0,49		
2014-ARALIK	0,35	0,36		
2015-OCAK	0,03	0,03		

Ni için 1. istasyonda <0,17 µg/L–4,33 µg/L ve 2. istasyonda ise <0,17 µg/L–6,47 µg/L arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama 1,59 µg/L, 2. istasyon için ise 2,04 µg/L dir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9 - Toplam nikel için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Nikel µg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	0,31	0,17	1,59	2,04
2014-MART	0,7	1,26		
2014-NİSAN	1,73	1,47		
2014-TEMMUZ	2,15	1,42		
2014-EYLÜL	4,33	6,47		
2014-EKİM	1,51	4,33		
2014-KASIM	2,57	2,57		
2014-ARALIK	0,17	0,17		
2015-OCAK	0,82	0,72		

Al için 1. istasyonda 12,9 µg/L–332,37 µg/L ve 2. istasyonda ise 12,9 µg/L–378,13 µg/L arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama, 112,36 µg/L, 2. istasyon için ise 128,15 µg/L dir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10 - Toplam alüminyum için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Alüminyum µg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	14,29	35,32	112,3	128,1
2014-MART	332,37	378,13		
2014-NİSAN	147,96	193,19		
2014-EYLÜL	12,9	16,74		
2014-EKİM	51,56	12,9		
2014-KASIM	77,23	77,23		
2014-ARALIK	105,91	101,09		
2015-OCAK	156,66	210,61		

Ar için 1. istasyonda 0,39 µg/L–1,83 µg/L ve 2. istasyonda ise 0,40 µg/L–2,020 µg/L arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama, 0,87 µg/L, 2. istasyon için ise 0,92 µg/L dir. (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11 - Toplam arsenik için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Arsenik µg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORTA	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	1,83	1,76	0,87	0,92
2014-MART	1,3	1,42		
2014-NİSAN	0,39	0,4		
2014-TEMMUZ	1,32	1,37		
2014-EYLÜL	0,39	0,4		
2014-EKİM	0,47	0,4		
2014-KASIM	0,39	0,4		
2014-ARALIK	0,39	0,4		
2015-OCAK	1,51	2,02		

Se için 1. istasyonda <0,18 µg/L–0,49 µg/L ve 2. istasyonda ise <0,18 µg/L–0,32 µg/L arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama 0,22 µg/L, 2. istasyon için ise 0,19 µg/L dir (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12 - Toplam selenyum için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Selenyum µg	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	0,18	0,18	0,22	0,19
2014-MART	0,49	0,32		
2014-NİSAN	0,18	0,18		
2014-TEMMUZ	0,21	0,21		
2014-EYLÜL	0,21	0,24		
2014-EKİM	0,18	0,21		
2014-KASIM	0,18	0,18		
2014-ARALIK	0,18	0,18		
2015-OCAK	0,18	0,05		

B ise 1. istasyonda 0,02 mg/L –0,1 mg/L ve 2. istasyonda ise 0,02 mg/L –0,1 mg/L arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için ortalama, 0,15 mg/L, 2. istasyon için ise 0,051 mg/L olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13 - Toplam bor için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Bor mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORTA	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	0,09	0,07		
2014-MART	0,02	0,02		
2014-NİSAN	0,02	0,02		
2014-TEMMUZ	0,05	0,05		
2014-EYLÜL	0,1	0,1		
2014-EKİM	0,03	0,1		
2014-KASIM	0,97	0,03		
2014-ARALIK	0,02	0,02		

Farklı noktalardan alınan numunelerin ağır metallerde su kalitesi bakımından fazla bir fark görülmemiştir. Türbinlerden çıkan suyun kalitesinin, ağır metaller yönünden olumsuz yönde etkilenmediği görülmüştür (Tablo 3.1).

Sıcaklık ve BOİ için 10'ar analiz yapılmış ve bu analizler;

Sıcaklık için, 1. istasyonda 24,8°C – 20 °C ve 2. istasyonda ise 23,3 °C – 20,1°C arasında değiştiği görülmüş ve 1. istasyon için sıcaklık ortalaması 22,66°C, 2. istasyon için ise 22,34°C dir (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.14 - Ölçüm sıcaklığı için aylık ve ortalama analiz değerleri

Ölçüm sıcaklığı	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	20,00	21,1	22,66	22,34
2014-MART	23,70	23,3		
2014-NİSAN	22,60	23,1		
2014-MAYIS	24,00	22,7		
2014-TEMMUZ	23,10	22,9		
2014-AĞUSTOS	23,20	22,9		
2014-EYLÜL	23,70	23,8		
2014-EKİM	20,90	21,1		
2014-KASIM	20,60	20,1		
2014-ARALIK	24,80	22,5		
2015-OCAK	20,00	21,1		

BOİ için 1. istasyonda 0,00 mg/L–3,1 mg/L ve 2. istasyonda ise 0,00 mg/L – 3,4 mg/L arasında değiştiği görülmüş, biyolojik oksijen ihtiyacı ortalama değerleri 1. istasyon için 0,98 mg/L, 2. istasyon için 1,27 mg/L olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15 - BOİ için aylık ve ortalama analiz değerleri

Biyolojik Oksijen İhtiyacı, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	2,200	2,700	0,980	1,270
2014-MART	0,000	0,000		
2014-NİSAN	1,000	1,000		
2014-MAYIS	0,000	3,000		
2014-TEMMUZ	0,000	0,000		
2014-EKİM	3,100	3,400		
2014-KASIM	1,000	1,000		
2014-ARALIK	0,800	0,900		
2015-OCAK	0,400	0,000		
2015-ŞUBAT	1,30	0,70		

Ölçüm sıcaklığı ve BOİ için kıta içi su kalite sınıflarına göre 1. istasyonda I. kalite sınıfında olan su, 2. istasyonda da aynı kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.30). Türbinlerinden çıkan suyun kalitesinin, sıcaklık ve BOİ yönünden olumsuz etkilenmediği saptanmıştır.

pH, ÇO, toplam fosfor için 11'er analiz yapılmış ve analiz sonuçları,

pH için 1. istasyonda 7,56 – 8,85 ve 2. istasyonda ise 7,75 – 8,54 arasında değiştiği görülmüş, 1. istasyon için pH ortalaması 8,82, 2. istasyon için ise 8,52 dir (Çizelge 3.16).

Çizelge 3.16 - pH için aylık ve ortalama analiz değerleri

pH	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	8,12	8,03	8,820	8,520
2014-MART	7,98	7,78		
2014-NİSAN	8,13	7,97		
2014-MAYIS	7,56	7,75		
2014-TEMMUZ	7,92	8,14		
2014-AĞUSTOS	7,72	7,92		
2014-EYLÜL	8,16	7,84		
2014-EKİM	8,05	7,84		
2014-KASIM	8,06	8,19		
2014-ARALIK	8,04	7,87		
2015-OCAK	8,85	8,54		

ÇO için 1. istasyonda 3,12 mg/L–6,84 mg/L ve 2. istasyonda ise 3,73 mg/L – 8,17 mg/L arasında değiştiği görülmüş, çözünmüş oksijen ortalama değerleri 1. istasyon için 6,83 mg/L, 2. istasyon için 8,07 mg/L dir (Çizelge 3.17).

Çizelge 3.17 - Çözünmüş oksijen için aylık ve ortalama analiz değerleri

Çözünmüş Oksijen, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	3,99	3,73	6,830	8,070
2014-MART	5,80	6,01		
2014-NİSAN	5,07	5,53		
2014-MAYIS	4,66	4,65		
2014-TEMMUZ	4,88	5,03		
2014-AĞUSTOS	3,12	5,20		
2014-EYLÜL	4,72	4,90		
2014-EKİM	5,26	5,75		
2014-KASIM	6,60	6,26		
2014-ARALIK	5,36	5,70		
2015-OCAK	6,84	8,17		

Fosfor için ise 1. istasyonda 0,040 mg/L–0,080 mg/L ve 2. istasyonda ise <0,050 mg/L – 0,090 mg/L arasında değiştiği görülmüş, toplam fosfor ortalama değerleri 1. istasyon için 0,078 mg/L ve 2. istasyon için ise 0,089 mg/L olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.18).

Çizelge 3.18 - Toplam fosfor için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Fosfor, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	0,050	0,050	0,078	0,089
2014-MART	0,040	0,080		
2014-NİSAN	0,050	<0,05		
2014-MAYIS	0,080	0,090		
2014-TEMMUZ	0,050	0,050		
2014-EYLÜL	0,050	0,050		
2014-EKİM	0,050	0,050		
2014-KASIM	0,050	0,050		
2014-ARALIK	0,050	0,050		
2015-OCAK	0,050	0,050		
2015-ŞUBAT	0,05	0,05		

pH, kıta içi su kalite sınıflarına göre 1. istasyonda III. kalite sınıfında olan su, 2. istasyonda da aynı kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Türbinlerden çıkan suyun kalitesinin, pH yönünden etkilenmediği görülmüştür. Çözünmüş oksijen (ÇO) doygunluk oranı, kıta içi su kalite sınıflarına göre 1. istasyonda II. sınıf su kalitesinde olan ÇO'nin 2. istasyonda ise I. sınıf su kalitesine yükseldiği tespit edilmiş. Türbinlerden çıkan suyun kalitesinin, çözünmüş oksijen yönünden olumlu etkilendiği saptanmıştır. Toplam fosfor, kıta içi su kalite sınıflarına göre 1. istasyonda II. sınıf su kalitesinde, 2. istasyonda da aynı kalite sınıfında

olduğu tespit edilmiştir(Tablo 3.1). Türbinlerden çıkan suyun kalitesinin, toplam fosfor yönünden olumsuz etkilenmediği görülmüştür.

Toplam çözünmüş katı madde, sodyum, klorür, sülfat, nitrat, nitrit, amonyum, flörür, KOI, fenol ve anyonik sürfaktanlar parametreleri için ise 12'şer analiz yapılmış ve bu analizler; Toplam çözünmüş katı madde için 1. istasyonda 41,040 mg/L– 567,800mg/L ve 2. istasyonda ise 103,430mg/L– 403,920 mg/L arasında değiştiği görülmüş 1. istasyon için TDS ortalaması 555,83mg/L, 2. istasyon için ise 402,92mg/L dir (Çizelge 3.19).

Çizelge 3.19 - Toplam çözünmüş katı madde için aylık ve ortalama analiz değerleri

Toplam Çözünmüş Katı Madde mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	567,80	384,00	555,83	402,9
2014-MART	105,94	103,43		
2014-NİSAN	152,32	169,32		
2014-MAYIS	41,04	103,50		
2014-TEMMUZ	286,28	251,60		
2014-AĞUSTOS	204,48	377,40		
2014-EYLÜL	328,44	403,92		
2014-EKİM	199,72	243,92		
2014-KASIM	157,56	206,04		
2014-ARALIK	143,48	143,48		
2015-OCAK	309,86	299,00		

Sodyum için 1. istasyonda 10,79 mg/L–28,99 mg/Lve 2. istasyonda ise 6,75mg/L–36,45 mg/Larasında değiştiği görülmüş, sodyum'un ortalama değerleri 1. istasyon için 28,78mg/L, 2. istasyon için 35,85mg/L dir (Çizelge 3.20).

Çizelge 3.20 - Sodyum için aylık ve ortalama analiz değerleri

Sodyum mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	26,90	17,65	28,780	35,850
2014-MART	26,50	27,15		
2014-NİSAN	25,88	10,80		
2014-MAYIS	11,20	16,86		
2014-TEMMUZ	23,82	15,27		
2014-AĞUSTOS	14,30	30,50		
2014-EYLÜL	24,23	27,55		
2014-EKİM	18,26	14,91		
2014-KASIM	10,79	25,62		
2014-ARALIK	10,87	6,75		
2015-OCAK	28,99	36,45		
2015-ŞUBAT	16,49	13,2		

Klorür için 1. istasyonda 7,31mg/L–58,79mg/L ve 2. istasyonda ise 7,65 mg/L– 40,31 mg/L arasında değiştiği görülmüş, klorür'ün ortalama değerleri 1. istasyon için 55.72 mg/L, 2. istasyon için 39,84 mg/L dir (Çizelge 3.21)

Çizelge 3.21 - Klorür için aylık ve ortalama analiz değerleri

Klorür, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	58,79	28,43	55,720	39,840
2014-MART	22,32	9,26		
2014-NİSAN	6,48	8,98		
2014-MAYIS	7,31	7,65		
2014-TEMMUZ	23,49	40,31		
2014-AĞUSTOS	15,52	33,46		
2014-EYLÜL	27,98	35,56		
2014-EKİM	13,30	33,51		
2014-KASIM	28,45	13,72		
2014-ARALIK	7,32	14,20		
2015-OCAK	18,75	23,31		
2015-ŞUBAT	4,68	32,41		

Sülfat için 1. istasyonda 8,540 mg/L–52,660 mg/L ve 2. istasyonda ise 10,320 mg/L – 56,740 mg/L arasında değiştiği görülmüş, sülfatın ortalama değerler 1. istasyon için 51,69 mg/L ve 2. istasyon için 55,60 mg/L dir (Çizelge 3.22).

Çizelge 3.22 - Sülfat için aylık ve ortalama analiz değerleri

Sülfat, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT	İST. 2 ORT
2014-ŞUBAT	52,66	56,74	51,69	55,60
2014-MART	18,45	11,94		
2014-NİSAN	14,02	16,31		
2014-MAYIS	8,54	10,32		
2014-TEMMUZ	29,65	35,08		
2014-AĞUSTOS	28,94	42,61		
2014-EYLÜL	43,87	45,36		
2014-EKİM	22,52	29,15		
2014-KASIM	21,33	18,89		
2014-ARALIK	12,08	13,69		
2015-OCAK	25,68	25,91		
2015-ŞUBAT	22,6	30,09		

nitrat azotu için 1. istasyonda 0,142 mg/L – 0,743 mg/L ve 2. istasyonda ise 0,188 mg/L – 1,29 mg/L arasında değiştiği görülmüş, nitrat azotunun ortalama değerleri 1. istasyonda 0,73 mg/L, 2. istasyonda ise 1,22mg/L dir (Çizelge 3.23).

Çizelge 3.23 - Nitrat azotu için aylık ve ortalama analiz değerleri

Nitrat Azotu, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT.	İST. 2 ORT.
2014-ŞUBAT	0,472	0,484	0,730	1,22
2014-MART	0,56	0,57		
2014-NİSAN	0,26	0,31		
2014-MAYIS	0,26	0,19		
2014-TEMMUZ	0,14	0,19		
2014-AĞUSTOS	0,66	0,21		
2014-EYLÜL	0,35	0,40		
2014-EKİM	0,25	0,40		
2014-KASIM	0,51	0,42		
2014-ARALIK	0,74	1,29		
2015-OCAK	0,57	0,64		
2015-ŞUBAT	0,636	0,826		

nitrit azotu için 1.istasyonda $<61 \times 10^{-6}$ mg/L– 0,249 mg/L ve 2. istasyonda ise 7×10^{-5} mg/L – 0,310 mg/L arasında değiştiği görülmüş, nitrit azotu ortalama değerler 1. istasyon için 0,25

mg/L, 2. istasyon için 0,30 mg/L dir (Çizelge 3.24).

Çizelge 3.24 - Nitrit azotu için aylık ve ortalama analiz değerleri

Nitrit Azotu, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT.	İST. 2 ORT.
2014-ŞUBAT	0,06	0,02	0,250	0,300
2014-MART	0,04	0,02		
2014-NİSAN	0,01	0,05		
2014-MAYIS	0,01	0,00		
2014-TEMMUZ	0,08	0,08		
2014-AĞUSTOS	0,07	0,02		
2014-EYLÜL	0,25	0,31		
2014-EKİM	0,23	0,25		
2014-KASIM	0,11	0,13		
2014-ARALIK	0,00	0,11		
2015-OCAK	0,09	0,09		
2015-ŞUBAT	0,089	0,09		

amonyum azotu için 1. istasyonda $<0,0076$ mg/L – 0,769 mg/L ve 2. istasyonda ise $<0,0076$ mg/L – 0,293 mg/L arasında değiştiği görülmüş, amonyum azotu ortalama değerler 1. istasyon için 0,74 mg/L, 2. istasyon için 0,29 mg/L dir (Çizelge 3. 25).

Çizelge 3.25 - Amonyum azotu için aylık ve ortalama analiz değerleri

Amonyum Azotu mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT ALA	İST. 2 ORT.
2014-ŞUBAT	0,094	0,097	0,74	0,29
2014-MART	0,0076	0,01		
2014-NİSAN	0,013	0,151		
2014-MAYIS	0,052	0,020		
2014-TEMMUZ	0,0076	0,0076		
2014-AĞUSTOS	0,235	0,272		
2014-EYLÜL	0,273	0,226		
2014-EKİM	0,522	0,047		
2014-KASIM	0,01	0,095		
2014-ARALIK	0,46	0,117		
2015-OCAK	0,201	0,293		
2015-ŞUBAT	0,768	0,046		

Flörür için 1. istasyonda 0,050 mg/L–0,660 mg/L ve 2. istasyonda ise 0,020 mg/L – 0,660 mg/L arasında değiştiği görülmüş, florürün ortalama

değerleri 1. istasyon için 0,61 mg/L, 2. istasyon için 0,61 mg/L, dir (Çizelge 3.26).

Çizelge 3.26 - Florür için aylık ve ortalama analiz değerleri

Florür, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT.	İST. 2 ORT.
2014-ŞUBAT	0,120	0,120	0,61	0,61
2014-MART	0,150	0,020		
2014-NİSAN	0,050	0,040		
2014-MAYIS	0,050	0,050		
2014-TEMMUZ	0,070	0,180		
2014-AĞUSTOS	0,080	0,070		
2014-EYLÜL	0,090	0,080		
2014-EKİM	0,060	0,110		
2014-KASIM	0,130	0,660		
2014-ARALIK	0,660	0,160		
2015-OCAK	0,080	0,080		
2015-ŞUBAT	0,07	0,12		

Kimyasal oksijen ihtiyacı için 1. istasyonda <5–20,80 mg/L ve 2. istasyonda ise <5 mg/L – 13,70 mg/L arasında değiştiği görülmüş, kimyasal oksijen ihtiyacı ortalama değerleri 1. istasyon için 19,97 mg/L ve 2. istasyon için 13,49 mg/L dir (Çizelge 3.27).

Çizelge 3.27 - Kimyasal oksijen ihtiyacı için aylık ve ortalama analiz değerleri

Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT.	İST. 2 ORT.
2014-ŞUBAT	5,000	5,000	19,97	13,49
2014-MART	5,000	5,000		
2014-NİSAN	5,000	5,000		
2014-MAYIS	5,000	8,430		
2014-TEMMUZ	12,500	13,700		
2014-AĞUSTOS	20,800	8,430		
2014-EYLÜL	5,000	5,000		
2014-EKİM	6,110	8,060		
2014-KASIM	8,080	11,600		
2014-ARALIK	5,490	5,000		
2015-OCAK	5,000	5,000		
2015-ŞUBAT	5,650	8,500		

Fenol için 1. istasyonda <0,002 mg/L–0,010 mg/L ve 2. istasyonda ise <0,002 mg/L – 0,006 mg/L arasında değiştiği görülmüş, fenol ortalama değerleri 1. istasyon için 0,0092

mg/Lve 2. istasyon için ise 0,0057 mg/L dir (Çizelge 3.28).

Çizelge 3.28 - Fenol için aylık ve ortalama analiz değerleri

Fenol, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT.	İST. 2 ORT.
2014-ŞUBAT	0,002	0,006	0,009	0,006
2014-MART	0,002	0,002		
2014-NİSAN	0,010	0,003		
2014-MAYIS	0,002	0,002		
2014-TEMMUZ	0,002	0,002		
2014-AĞUSTOS	0,002	0,002		
2014-EYLÜL	0,002	0,002		
2014-EKİM	0,002	0,002		
2014-KASIM	0,002	0,002		
2014-ARALIK	0,002	0,002		
2015-OCAK	0,002	0,002		
2015-ŞUBAT	0,002	0,002		

Anyonik sürfaktanlar ise 1. istasyonda <0,05 mg/L–0,250 mg/L ve 2. istasyonda ise <0,05 mg/L – 0,270 mg/L arasında değiştiği görülmüş, anyonik sürfaktanlar ortalama değerleri ise 1. istasyon için 0,25 mg/Lve 2. istasyon için 0,27 mg/L olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.29).

Çizelge 3.29 - Anyonik sürfaktanlar için aylık ve ortalama analiz değerleri

Anyonik Sürfaktanlar, mg/L	İST. 1	İST. 2	İST. 1 ORT.	İST. 2 ORT.
2014-ŞUBAT	0,107	0,108	0,250	0,270
2014-MART	0,160	0,140		
2014-NİSAN	0,100	0,250		
2014-MAYIS	0,050	0,100		
2014-TEMMUZ	0,100	0,050		
2014-AĞUSTOS	0,050	0,060		
2014-EYLÜL	0,060	0,100		
2014-EKİM	0,150	0,190		
2014-KASIM	0,140	0,080		
2014-ARALIK	0,210	0,170		
2015-OCAK	0,160	0,270		
2015-ŞUBAT	0,250	0,220		

Değerler incelendiğinde, Kimyasal oksijen ihtiyacı, florür, nitrit azotu, sülfat ve sodyum kıta içi su kaynaklarına göre 1. Ve 2. İstasyonlarda I. Kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Türbinlerden çıkan suyun kalitesinin kimyasal oksijen ihtiyacı, florür, nitrit azotu, sülfat ve sodyum yönünden etkilenmediği tespit edilmiştir. Klorür, amonyum ve anyonik sürfaktanlar kıta içi

su kaynaklarına göre 1. Ve 2. İstasyonlarda II. Kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Türbinlerden çıkan suyun kalitesinin klorür, amonyum azotu ve anyonik sülfaktanlar yönünden etkilenmediği görülmüştür. Fenol, kıta içi su kaynaklarına göre her iki istasyonda III. Sınıf, Nitrit azotu ise IV. Kalite sınıfında ve türbinlerden çıkan suyun kalitesinin fenol ve nitrit azotu yönünden etkilenmediği görülmüştür. Toplam çözünmüş katı madde (TDS), kıta içi su kalite sınıflarına göre, 1. istasyonda II. sınıf olan su, 2. istasyonda I. kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Türbinlerden çıkan suyun kalitesinin, toplam çözünmüş katı madde yönünden arttığı saptanmıştır (Çizelge 3.30). Analizleri yapılan parametrelerin kalite sınıflandırmaları Çizelge 3.30 da verilmiştir.

Çizelge 3.30 - Analizleri yapılan su kalite parametrelerinin, analiz sonuçlarına göre kalite sınıflandırması

SU KALİTE PARAMETRELERİ	ORTALAMA		KALİTE	
	1. İST.	2. İST.	1. İST.	2. İST.
Ölçüm Sıcaklığı	22,660	22,340	I	I
pH	8,860	8,520	III	III
Top. Çözünmüş Katı Mad. mg/L	555,830	402,920	II	I
Sodyum mg/L	28,780	35,850	I	I
Klorür, mg/L	55,720	39,840	II	II
Sülfat, mg/L	51,690	55,600	I	I
Nitrat Azotu, mg/L	0,730	1,220	I	I
Nitrit Azotu, mg/L	0,250	0,300	IV	IV
Amonyum Azotu mg/L	0,740	0,290	II	II
Florür, mg/L	0,610	0,610	I	I
Çözünmüş Oksijen, mg/L	6,830	8,070	II	I
Biyolojik Oksijen İhtiyacı	0,980	1,270	I	I
Kimyasal Oksijen İhtiyacı,	19,970	13,490	I	I
Fenol, mg/L	0,009	0,006	III	III
Toplam Fosfor, mg/L	0,078	0,089	II	II
Anyonik Sülfaktanlar,	0,250	0,270	II	II
Toplam Kurşun, µg/L	0,49	2,03	I	I
Toplam Çinko, µg/L	<2,75	4,48	I	I
Toplam Krom, µg/L	<12,4	12,4	I	I
Toplam Mangan, µg/L	17,79	18,76	I	I
Toplam Demir, µg/L	110,04	127,48	I	I
Toplam Bakır, µg/L	2,78	3	I	I
Toplam Kadmiyum, µg/L	0,16	0,18	I	I
Toplam Kobalt, µg/L	0,40	0,45	I	I
Toplam Nikel, µg/L	1,59	2,04	I	I
Toplam Alüminyum, µg/L	112,36	128,15	I	I
Toplam Arsenik, µg/L	0,87	0,92	I	I
Toplam Selenyum, µg/L	0,22	0,19	I	I
Toplam Bor, mg/L	0,15	0,051	I	I

4 SONUÇ

Sonuç olarak, İşletmede olan bir HES'in (Dereli HES), çözünmüş oksijen (ÇO) ve toplam çözünmüş katı madde parametreleri açısından su kalitesini arttırdığı, sıcaklık , sodyum (Na) , sülfat (SO₄) , nitrat azotu , florür (F) , biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ,Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Cu, Cd, Co, Ni, Al, Ar, Se, B, pH, amonyum azotu, toplam fosfor, anyonik sülfaktanlar, klorür, fenol ve nitrit azotu parametreleri açısından ise su kalitesine herhangi bir etki yapmadığı tespit edilmiştir.

İncelenmiş parametreler yönünden işletmede olan bir HES (Dereli HES)'in su kalitesine olumsuz yönde etkisinin olmadığı aksine bazı parametrelerin su kalitesi üzerinde olumlu etkilerinin olduğu yapılan çalışmada görülmüştür.

HES'lerin inşaat yapımı aşamasında ise çevreye verilmiş olan olumsuz etkilerin zaman içerisinde doğa tarafından, işletmeye geçiş aşamasında ise firma tarafından regreasyon çalışmaları yapıp tolere edildiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ülgen, H., Alp, E., Zeydanlı, U., Kurt, B., Balkız, Ö., 2011. Report on The Ecological Impacts Of Small Hydropower Plants In Turkey and Recommendations To The Gold Standard Foundation, Nature Conservation Centre
- [2] Berkün, M., Aras, E., Koç, T., 2008. Barajların ve Hidroelektrik Santrallerin Nehir Ekolojisi Üzerine oluşturduğu Etkiler, Türkiye Mühendislik Rehberi, 452s
- [3] Kucukali, S., 2014. Environmental Risk Assessment Of Small Hydropower (SHP) Plants: A Case Study For Tefen SHP Plants On Filyos River, Energy For Sustainable Development, 19, 102-110
- [4] Lobato, T. C., Davis, R. A. H., Oliveira, T. F., Maciel, M. C., Tavers, M. R. M., Silveira, A. M., Saraiva, A. C. F., 2015. Categorization Of the Tropic Status Of A hydroelectric Power Plant Reservoir In The Brazilian Amazon By Statistical Analyses and Fuzzy Approaches, Science Of The Total Environment, 506-570, 613-620
- [5] Pimenta, A. M., Albertoni, E. F., Palma-Silva, C., 2012. Characterization Of Water Quality In A Small Hydropower Plant Reservoir In Southern Brazil, Lakes &

- Reservoirs: Research and Management, 17, 243-251
- [6] Valero, E., Alvarez, X., Picos, J., 2014. Influence Of A Small hydroelectric Power Station On The River Ecosystem, *European Journal Of Sustainable Development*, 3, 4, 175-180
- [7] Jesus, T., Formigo, N., Santos, P., Tavares, G. R., 2004. Impact Evaluation Of The Vila Viçosa Small Hydroelectric Power Plant (Portugal) On The Water Quality and On The Dynamics Of The Benthic Macroinvertebrate Communities Of The Ardena River, *Limnetica*, 23(3-4): 241-256
- [8] Atılgan, E., 2000. Nehir Tipi Hidroelektrik Santralleri ve Çevresel Etkileri, *Yunus Arasına Bülteni*, 2011(4), 7-14
- [9] Akkaya, U., Gültekin, A. B., Dikmen, Ç. B., Durmuş, G., 2009. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Karabük
- [10] Yılmaz, C., Uzun, A., Zeybek, H. İ., Kaya, M., 2012. Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerinin Coğrafi Ortam Üzerine Etkilerine Bir Örnek, *Journal Of New World Sciences Academy, NWSA-Nature Sciences*, 4A0049, 7 (3), 50-67s.
- [11] Karadeniz, V., Akpınar, E., Başbüyük, A., 2011. Nehir Tipi Hidroelektrik Santraller ve Çevresel Etkileri (Reşadiye Hidroelektrik Santralleri Örneği), *Doğu Coğrafya Dergisi*, Erzincan
- [12] Aksungur, M., Ak, O., Özdemir, A., 2011. Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerinin Sucul Ekosisteme Etkisi: Trabzon Örneği, *Journal Of Fisheries Sciences.com*, 5(1), 70-92s
- [13] Çakırsoy, S., 2007. Büyük Melen Havzasının Su Kalitesinin Belirlenmesi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya
- [14] Tayhan, N., 2012. Uzun Çayır Baraj Gölü (Tunceli) Fiziko Kimyasal Su Kalitesinin Periyodik İzlenmesi, *Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 79s.,Tunceli
- [15] Bulut, V., 2005. Trabzon Kalyan Akarsuyunun Su Kalitesinin Araştırılması ve Modellemesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi*, Trabzon
- [16] Boztuğ, D., Dere, T., Taylan, N., Yıldırım, N., Danabaş, D., Cıkcıkoğlu, N., Öztüfekçi, A., Danabaş, S., Engin, C., Uslu, G., 2012. Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) Fiziko Kimyasal Özellikleri ve Kalitesinin Değerlendirilmesi, *Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 93-106s
- [17] Durhasan, Z., 2006. Baraj Göllerinden Su Temininden Derinliğin Su Kalitesine Etkisi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 56s
- [18] Dinçer, S., 2014. Çanatçı Deresi Su Kalitesi ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi, *Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Biyolojisi, Yüksek Lisans Tezi*, Giresun
- [19] Dönmez, Z., 2010. Ilgın Çavuşlu Gölü Sulama Kanalında Su Kalitesi Parametrelerinin İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İzmir
- [20] Balat, H., 2007. A Renewable Perspective For Sustainable Energy Development In Turkey: The Case Of Small Hydropower Plants, 11, 2152-2165, *Renewable & Sustainable energy Reviews*
- [21] Yüksel, I., 2010. Hydropower For Sustainable Water and Energy Development, *Renewable & Sustainable energy Reviews*, 14, 462-469
- [22] Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., Kankal, M., Özölçer, İ. H., Kaygusuz, K., 2008. Energy Situation and Renewables In Turkey and Environmental Effect Of Energy Use, *Renewable & Sustainable energy Reviews*. 12, 2013-20309

YÜZEY SULARININ KALİTESİNİN BELİRLENMESİNDE KALİTE İNDEKS MODELLERİNİN KULLANILMASI

Özlem TUNÇ DEDE
Yrd. Doç. Dr., Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
28200, Giresun
ozlem@tuncdede.com

(Makalenin geliş tarihi: 27.07.2017, Makalenin kabul tarihi: 30.09.2017)

ÖZ

Su kalitesi gerek insan sağlığı gerekse suda yaşayan canlıların devamlılığı için oldukça önemli bir faktördür. Günümüzde, artan nüfus ve gelişen teknolojinin etkileri ile birlikte su miktarının azalması ve su kalitesinin düşmesi sorunları ile karşı karşıyayız. Dünyadaki su kaynaklarının sadece %0,3'ünün kullanılabilir ve içilebilir özellikte olduğu düşünüldüğünde, su kalitesine ve su kullanımına verilen önemin artırılması gerekmektedir. Su kirliliği; evsel atıklar, sanayi atıkları, kimyasal ilaç içeren tarımsal atıklar gibi çeşitli kaynaklardan gelen zararlı maddelerin suyun kalitesini olumsuz etkileyecek oranda suya karışması sonucu meydana gelir. Kirlenme sonucu suların yapısında fiziko-kimyasal ve biyolojik değişimler oluşur. Bu değişimler ise doğrudan veya dolaylı olarak tüm canlıları olumsuz etkiler. Dünya nüfusu hızla artmasına rağmen, su kaynaklarımızın miktarı sabit kalmaktadır. Bu nedenle içme suyu ve kullanma suyu olarak kullanılan su kaynaklarının kalitesinin sürekli izlenmesi, değerlendirilmesi ve gerekli tedbirlerin alınması çok önemlidir. Su kalitesi verilerinin değerlendirilmesinde, basit tek bir sayı ile ifade edilen ve su kalitesinin kolay ve basit bir yöntemle anlaşılmasını sağlayan su kalitesi indeks modelleri rahatlıkla kullanılabilir. Bu çalışmada yüzey sularının kalitesinin belirlenmesinde kullanılan üç farklı kalite indeks modelinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su, Su Kalitesi, Su Kirliliği, Su Kalitesi İndeksi

THE USE OF QUALITY INDEX MODELS FOR ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY

ABSTRACT

Water quality is an important factor for health and safety issues associated with public health and also for aquatic life. Nowadays, we are faced to the decreasing the amount of water and water quality issues due to the increasing population and emerging new technologies. Since, only 0.3% of water resources in the world can be available and drinkable, the importance attached to water quality and water consumption must be increased. Water pollution occurs because of mixing of hazardous materials coming from various resources such as household wastes, industrial wastes, agricultural wastes containing chemicals into the surface water with a rate at which the amount can negatively affect the water quality. Some physicochemical and biological changes emerge in water due to pollution. These changes adversely affect the whole living organisms directly or indirectly. Besides the rapid increase in human population in the world, our water resources are remaining stable. For this reason, the perpetual monitoring and evaluation of quality of surface waters used for drinking and utility purposes is very important and necessary actions should be taken. The water quality index models which provide a quick and simple methodology to identify the quality of water by only looking at a single number can be easily used for the assessment of water quality data. In this study, the use of three different water quality index models for the assessment of surface water quality were discussed.

Keywords: Water, Water Quality, Water Pollution, Water Quality Index

1 GİRİŞ

Dünyada oldukça az olan tatlı su kaynaklarının korunması hem insan sağlığı için hem de suda yaşayan canlılar için oldukça önemlidir. Nüfusun artması ve gelişen teknoloji ile birlikte su kirliliği artmakta bu ise çevremizdeki su kaynaklarının kalitesinin düşmesine yol açmaktadır [2,9,11,12,15]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından gelişmekte olan ülkelerde suların kaynaklı ölüm oranlarının azımsanamayacak ölçüde olduğu belirtilmiştir [15]. Bu durum ise su kaynaklarına ve su kalitesine verilmesi gereken önemi ortaya koymaktadır.

Suların kalitesinin belirlenebilmesi için incelenmesi gereken parametreler ve bu parametrelere ait sınır değerler su kalitesi standartlarında verilmiştir. Ancak suların kalitesinin belirlenmesinde analizi yapılan parametre sayısı oldukça fazladır ve her bir parametrenin standartlarda verilen sınır değerlere göre değerlendirilmesi hem zaman alıcı hem de yorucu bir iştir [1,10].

Bu nedenle, bazı araştırmacılar tarafından, elde edilen su kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesinde kullanılacak kolay ve pratik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında su kalitesi indeks modelleri, temel bileşen analizi, faktör analizi gibi yöntemler vardır. Su kalitesi indeks modeli, suların genel olarak kalitesinin belirlenmesinde kullanılan ve kolaylıkla hesaplanabilen tek bir sayıyı ifade eder.

Su Kalitesi İndeksi (WQI), suların genel kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılır ve kolaylıkla hesaplanabilen tek bir sayıyı ifade eder [11]. Elde edilen sayı, kendisine karşılık gelen ölçeğe göre değerlendirilerek su kalitesi "mükemmel", "iyi", "kötü" vb. şeklinde ifade edilebilir. Bu amaçla kullanılan ve araştırmacılar tarafından geliştirilmiş farklı kalite indeks modelleri mevcuttur.

Bu çalışmada, üç farklı kalite indeks modeli incelenmiş ve bu modellerin su kalitesinin belirlenmesinde kullanımı değerlendirilmiştir.

2 SU KALİTESİ İNDEKS MODELLERİ

Kanada Su Kalitesi İndeks Modeli (CWQI)

Literatürde oldukça yaygın olarak kullanılan CWQI modeli, Kanada Çevre Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir. Bu model, su kalitesi parametrelerinin çevre koşullarına bağlı olduğu gerçeği ile herhangi bir parametre tanımı ya da zaman kavramı tanımı içermez. Ancak, modelin kullanılabilirliği minimum dört parametre ve bu parametrelerin minimum dört farklı ölçümü ile kısıtlıdır.

Model indeksi, 0 ila 100 aralığında değişen üç bileşenden (F₁, F₂, F₃) oluşur. F₁ birinci bileşen olup kapsam olarak isimlendirilir. Analizi

yapılan parametrelerden standartlarda verilen sınır değeri aşan parametreler başarısız parametre olarak ele alınır ve başarısız parametre sayısının toplam parametre sayısına oranının yüzde olarak ifade edilmesi ile F₁ değeri hesaplanabilir (Eş.1):

$$F_1 = \frac{\text{Başarısız parametrelerin sayısı}}{\text{Toplam parametre sayısı}} * 100 \quad (1)$$

F₂, ikinci bileşendir ve frekans adını alır. İzleme çalışmaları süresince yapılan analizlerden başarısız olan analiz sayısının toplam analiz sayısına oranı yüzde olarak ifade eder (Eş.2).

$$F_2 = \frac{\text{Başarısız analizlerin sayısı}}{\text{Toplam analiz sayısı}} * 100 \quad (2)$$

Üçüncü bileşen F₃'tür ve genişlik olarak adlandırılır. Standartlarda verilen hedef değeri aşan başarısız analiz değerlerinin sayısını ifade eder. Üç aşamada hesaplanır:

a. Sapma: Değişken değerinin standartlarda verilen sınır değerle karşılaştırılarak hesaplanır. Hedef değerin karşılanmadığı analiz sayısıdır.

i. Değişkenin değerinin hedef değerden küçük olması gereken durumlar için (Eş.3);

$$\text{sapma}_i = \left(\frac{\text{Başarısız analiz değeri}_i}{\text{Hedef değeri}} \right) - 1 \quad (3)$$

ii. Değişken değerinin hedef değerden büyük olması gereken durumlar için (Eş.4);

$$\text{sapma}_i = \left(\frac{\text{Hedef değeri}}{\text{Başarısız analiz değeri}_i} \right) - 1 \quad (4)$$

iii. Hedef değerin sıfır olduğu durumlar için (Eş.5);

$$\text{sapma}_i = \text{Başarısız analiz değeri}_i \quad (5)$$

b. Bu aşamada, birinci basamakta elde edilen sapmalar toplamının toplam analiz sayısına (hedef değeri karşılayan ve karşılamayan) oranı belirlenir. Bu oran normalleştirilmiş sapmalar toplamı (nse) olarak adlandırılır (Eş.6):

$$\text{nse} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{sapma}_i}{\text{Toplam analiz sayısı}} \quad (6)$$

c. Son aşama, nse değerlerinin hedef değerlerden 0'dan 100 aralığına ölçeklendirilmesi ile F₃ bileşeninin hesaplanmasını içerir (Eş.7).

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right) \quad (7)$$

Bu üç faktörün birleştirilmesi ile su kalitesini zayıftan yüksek kaliteye doğru tanımlayan ve 0 ile 100 arasında olan tek bir sayı elde edilir (Eş.8).

$$CWQI = 100 - \left[\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right] \quad (8)$$

Bu tek sayıya bağlı olarak su kalitesinin sınıflandırılması ise Çizelge 1'de verilmiştir [4,5,14].

Çizelge 1 - Kanada su kalitesi indeks modelinin sınıflandırılması

CWQI	
95-100	Mükemmel
80-90,4	İyi
65-79,9	Orta
45-64,9	Zayıf
0-44,9	Kötü

Oregon Su Kalitesi İndeks Modeli (OWQI)

Oregon su kalitesi indeks modeli, Oregon Çevre Kalitesi Bölümü tarafından Oregon su kaynaklarının su kalitesinin ifade edilmesi amacıyla 1970'li yıllarda geliştirilmiş bir model olup, 8 farklı su kalitesi parametresini (sıcaklık, çözünmüş oksijen, biyolojik oksijen ihtiyacı, pH, amonyak+nitrat azotu, toplam fosfor, toplam katı ve fekal koliform) içermektedir. Bu yöntem farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve zamanla güncellenmiştir [6,7]. Literatürde en çok rastlanılan versiyonu Cude (2001) tarafından geliştirilen modeldir [6].

Bu model farklı birime sahip, seçilen parametrelerin ölçüm sonuçlarının birimsiz alt-indis değerlerine dönüştürülmesini temel alır. Genel QWQI değeri ise bu alt-indis değerlerinin ağırlıklandırılmamış harmonik kareler ortalaması kullanılarak toplanması ile hesaplanır (Eş.9). OWQI modelinin sınıflandırılması Çizelge 2'de verilmiştir [6].

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (9)$$

Burada,

SI: Alt-indis
n: değişken sayısıdır.

Çizelge 2 - Oregon su kalitesi indeks modelinin sınıflandırılması

OWQI	
90-100	Mükemmel
85-89	İyi
80-84	Orta
60-79	Kötü
10-59	Çok Kötü

Evrensel Su Kalitesi İndeks Modeli (UWQI)

Evrensel su kalitesi indeks modeli (UWQI) Boyacıoğlu (2007) tarafından özellikle içme suyu amaçlı su kütlelerinin kalitesinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş bir modeldir [3]. Modelin değerlendirilmesi aşamasında uluslararası ve ulusal yönetmelikler ve düzenlemeler temel alınmıştır [8,13]. Bu modelde, her bir parametre için alt-indis değerlerinin hesaplanabilmesi için her bir değişkene önem derecesine göre az önemli olan 1, çok önemli olan 4 olacak şekilde 1'den 4'e ağırlık faktörü atanmış ve son indeks değeri alt-indis değerlerinin toplanması ile elde edilmiştir (Eş. 10).

$$UWQI = \sum_{i=1}^n w_i I_i \quad (10)$$

Burada,

w_i: parametresi için ağırlık değeri,
I_i: i parametresi için alt-indis değeridir.

Modelde ele alınan parametreler kadmiyum, siyanür, cıva, selenyum, arsenik, florür, nitrat, çözünmüş oksijen, biyolojik oksijen ihtiyacı, fosfor, pH ve toplam koliform'dur. Bu model için sınıflandırma ise Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3 - Evrensel su kalitesi indeks modelinin sınıflandırılması

UWQI	
95-100	Mükemmel
75-94	İyi
50-74	Orta
25-49	Zayıf
0-24	Kötü

4 SONUÇLAR

Su kalitesi analizleri farklı ölçekteki birçok parametrenin analizini içermektedir. Bazı parametreler (cıva, arsenik, siyanür vb.) düşük derişimlerde önemli etkilere sahipken bazıları (magnezyum, sülfat, kalsiyum vb.) bu derişimlerde önemsiz olabilir. Su kalitesi parametrelerinin standartlarda verilen sınır değerlere göre tek tek karşılaştırılması ve yorumlanması hem zor hem de zaman alıcı bir iştir. Elde edilen verilerin kolay bir şekilde değerlendirilmesinde ve yorumlanmasında su kalitesi indeks modelleri kolay bir şekilde kullanılabilir.

Bu çalışmada literatürde yer alan 3 farklı su kalitesi indeks modeli karşılaştırılmıştır. CWQI modeli herhangi bir parametre ve zaman kısıtlaması getirmeyen bir model olup, elde edilen su kalitesi parametrelerinin yorumlanmasında gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu model farklı parametreleri aynı indeks formülünde bir araya getirir ve herhangi bir ağırlık faktörü belirlenmesine gerek kalmadan tüm verilere uygulanabilir. CWQI modeli, farklı amaçlar için (içme suyu, sulama, sucul ortam vb.) kullanılan su kütlelerinin su kalitesinin belirlenmesinde ilgili standartlardaki hedef değerler temel alınarak rahatlıkla kullanılabilir. Bu modelin tek kısıtlaması en az dört parametre ve her bir parametrenin en az dört farklı ölçümünü gerektirmesidir.

OWQI ve UWQI modellerinde alt-indis değerleri kullanılarak çeşitli parametrelerin ölçümü tek bir sayı ve tek bir birimde gösterilmektedir. Ancak, alt-indis kullanılan bu tür yöntemlerde bazen örtüşme yaşanabilir. Yani, aslında su kalitesinin belirlenmesinde önemli olabilecek fakat düşük alt-indis değerine sahip bir parametrenin etkisi yüksek alt-indis değerine sahip parametrelerin yanında önemsiz kalabilir.

OWQI modeli balıkçılık ve yüzme dahil genel rekreasyonel amaçlı su kütlelerinin kalitesinin belirlenmesinde kullanılır. İndeks değer, su kalitesi parametrelerine atanan alt-indis değerlerinin toplanması ile elde edilir. Bu modelde her bir parametre için ağırlık faktörü kullanımı söz konusu değildir.

UWQI model içme amaçlı kullanılan yüzey sularının su kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu modelde, her bir parametre için önem derecesine göre ağırlık faktörleri atanır. Alt-indis değerleri hesaplanarak bu değerlerin toplanması ile indeks değeri elde edilir.

Her iki model için de belirli parametrelerin analiz sonuçlarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, parametrelere önem derecesine göre ağırlık ataması tecrübe gerektiren bir konudur. Bu alanda çalışan uzmanların bir araya gelerek su kalitesinin belirlenmesinde kullanılan

parametrelerin önem derecesine karar vermesi ve buna göre bir derecelendirme yapılması verilerin objektif ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Literatürde Akkoyunlu et al. (2012) tarafından CWQI ve QWCI modelleri Sapanca Gölü havzası su kalitesinin belirlenmesinde karşılaştırılmalı olarak başarılı bir şekilde uygulanmıştır [1]. Tunc Dede et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada üç indeks modeli Kirmir Havzasındaki su kaynaklarının kalitesinin belirlenmesinde uygulanmış ve analiz sonuçları ile en uyumlu değeri CWQI modeli sağlamıştır [14]. Boyacıoğlu (2007) yeni bir metot olarak geliştirdiği UWQI modelini Tahtalı, İzmir su rezervuarının su kalitesinin belirlenmesinde uygulamıştır. Yazar çalışmasında, rezervuar için su kalitesini "mükemmel" sınıfında bulmuş ve verilerin değerlendirilmesinde kalite indeks modellerinin kullanılmasının sonuçların standartlarda verilen değerlerle tek tek karşılaştırılmasından daha kolay olduğunu vurgulamıştır [3].

Sonuç olarak, su kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesinde su kalitesi indeks modellerinin uygulanması hem zamandan tasarruf sağlayacak hem de oldukça zahmetli bir işi kolaylıkla hesaplanabilir hale getirecektir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen su kalitesi indeks modelleri arasında özellikle CWQI modelinin tüm su kalitesi parametrelerine rahatlıkla uygulanabileceği söylenebilir.

5 KAYNAKLAR

- [1] Akkoyunlu, A. and Akiner, M. E., 2012, "Pollution evaluation in streams using water quality indices: a case study from Turkey's Sapanca Lake Basin", *Ecol Indic* 18:501–511
- [2] Bilen, Ö., 2009, "Türkiye'nin Su Gündemi", DSİ yayınları, 322 p
- [3] Boyacıoğlu H., 2007, "Development of a water quality index based on a European classification scheme", *Water SA* 33(1):101–106
- [4] CCME, 2001, "Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME water quality index 1.0. User's manual. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999", Winnipeg
- [5] CCME, 2001, "Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME water quality index 1.0. Technical report. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999", Winnipeg

- [6] Cude, C. G., 2001, "Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness", *J Am Water Resour Assoc* 37(1):125–137
- [7] Dunnette, D. A., 1979, "A geographically variable water quality index used in Oregon", *J Water Pollut Control Fed* 51(1):53–61
- [8] EC, 1975, "Council Directive of 16 June 1975 concerning the quality of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States", 75/440/EEC. *Off J Eur Communities (EC)*
- [9] Mahapatra, S. S., Sahu, M. et al, 2012, "Prediction of water quality using principal component analysis", *Water Qual Expo Health* 4(2):93–104
- [10] Pesce, S. F. and Wunderlin, D. A., 2000, "Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) on Suquia River", *Water Res* 34(11):2915–2926
- [11] Sánchez, E., Colmenarejo, M. F. et al., 2007, "Use of the Water Quality Index and Dissolved Oxygen Deficit as Simple Indicators of Watersheds Pollution", *Ecol. Indic.*, 7 (2), 315-328
- [12] Tezcanli Guyer, G. and Genc Ilhan, E., 2011, "Assessment of pollution profile in Buyukcekmece watershed, Turkey" *Environ Monit Assess*, 173(1–4):211–220
- [13] TR Yönetmelik, 2012, "İçme suyu elde edilen veya elde edilmesi planlanan yüzeysel suların kalitesine dair yönetmelik", No: 28338. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara
- [14] Tunc Dede, O., Telci, I. T. and Aral, M. M., 2013, "The Use of Water Quality Index Models for the Evaluation of Surface Water Quality: A Case Study for Kirmir Basin", Ankara, Turkey. *Water Qual Expo Health* 5:41–56
- [15] WHO, 2004, "Water, sanitation and hygiene links to health—facts and figures", World Health Organization, Geneva 173(1–4):211-220