

SU KAYNAKLARININ KULLANMA VE KORUMA METODOLOJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ: EĞİRDİR GÖLÜ HAVZASI ÖRNEĞİ

Ayşen DAVRAZ^{1*}, Şehnaz ŞENER¹, Erhan ŞENER²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Merkezi, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Su kaynakları,
Havza,
Sürdürülebilirlik,
Metodoloji,
Eğirdir Gölü Havzası*

Özet

Su kaynaklarının mevcut kullanım durumunun uzun yıllar devam ettirilebilmesi ve mevcut su kalitelerinin iyileştirilerek korunabilmeleri için havza bazında yapılacak ayrıntılı çalışmalar ile havzaların doğal (jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik vb.) ve antropojenik özellikleri (tarımsal faaliyetler, sanayi kuruluşları, yerleşim alanları vb.) araştırılarak su kalitesini etkileyen bütün unsurların çok iyi tanımlanması gerekmektedir. Su havzalarını hidrolojik ve hidrojeolojik özellikler dikkate alındığında yüzey suyu ve yeraltı suyu havzaları olarak sınıflandırmak mümkündür. Bütün havzalarda sürdürülebilir kullanım amaçlı yapılacak çalışmalarda havzanın türü ve özelliklerine göre araştırma yöntemleri değişebilmektedir. Ancak, su kaynaklarının koruma kullanma metodolojisinin geliştirilmesi için genel olarak yüzey suyu (göl ve nehir) ve yeraltı suyu havzalarında yapılması gereken en temel bilimsel çalışmaları hidroloji, jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya, kirlilik araştırmaları ve yönetim başlıkları altında incelemek mümkündür. Bu çalışmada söz konusu başlıklar altında yapılması gerekli araştırmalar ve olası çıktıları tanımlanmıştır. Ayrıca, havzalarda sürdürülebilir kullanım ve korunmanın sağlanabilmesi için yapılacak çalışmalar bir model çerçevesinde irdelenerek Eğirdir Gölü Havzası ölçeğinde araştırılmış ve sonuçları sunulmuştur.

IMPROVING OF USAGE AND PROTECTION METHODOLOGY OF WATER RESOURCES: A CASE STUDY OF EĞİRDİR LAKE BASIN

Keywords

*Water resources,
Basin,
Sustainability,
Methodology,
Eğirdir Lake Basin*

Abstract

To provide of sustainable usage and protection of water resources must be investigation of natural (geologic, hydrogeologic, hydrologic etc.) and anthropogenic (agricultural activities, industrial associations, settlement areas etc.) properties of basins and identification of all the factors affecting water quality with detail investigations in basin scale. Water basins are classified as surface and groundwater basins. Investigations methods for sustainable usage can be changed in the basins according to type and properties of the basin. The basic scientific studies which must be done on surface water and groundwater basins for improving of usage and protection methodology of water resources can be examined with titles such as geology, hydrogeology, hydrology, hydrogeochemistry, pollution and management. In this study, the researches need to be done under and possible outcomes have been identified. Additionally, the studies which were examined in the framework of a model were made in the Eğirdir lake basin and the results were presented.

1. Giriş

İnsan hayatının en temel gereksinimi olan su canlı hayatının sürdürülebilirliği yanı sıra farklı ekonomik faaliyetlere kaynak oluşturması özelliği ile de önemli bir kaynaktır. 2010 yılı TÜİK verilerine göre ülkemizde kişi başına düşen tatlı su miktarı 3209.46 m³ bu miktarın ise 1534.18 m³'ü faydalanabilir

özelliktir. Bu veriler Türkiye'nin 7837.38 m³ su potansiyel ortalamasına sahip Avrupa Birliği (AB) ülkelerinden alt düzeyde olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalar mevcut durumda 2025 yılında Türkiye'nin su kıtlığı eşiğine yaklaşacağını göstermektedir (Köle, 2014). Su açısından dünyanın yarı-kurak bir bölgesinde bulunan Türkiye'nin yağış rejimi, mevsimlere ve bölgelere göre büyük farklılıklar

*İlgili yazar / Corresponding author: aysendavraz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1326

göstermektedir. Bazı akarsu havzalarında su ihtiyaçlarının, kaynakların potansiyelini aşmış durumda olduğu görülmektedir. Kantitatif dağılımın yanı sıra, su kalitesinde de ülke genelinde büyük farklılıklar gözlenmektedir.

Hızlı nüfus artışına bağlı olarak artan su ihtiyacına karşın, uygun kaynak varlığının azlığı ve gün geçtikçe gelişen sanayi ve tarımsal faaliyetlere paralel olarak ortaya çıkan aşırı su kullanımı, yeraltı suyu rezervlerindeki düşüşler ve kirlilik oluşumu nedenleriyle yaşanan sorunlar, havza bazında su kaynakları yönetiminin önemini arttırmıştır. Havza yönetimi, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının sağlanması için toprak, bitki örtüsü, diğer doğal kaynaklar ve insan kullanımlarının bütüncül bir yaklaşım içerisinde herkesin yararına uygun olacak şekilde korunması, geliştirilmesi ve yararlanılmasının sağlanmasıdır. Sürdürülebilir havza yönetimi için; mevcut arazi ve su kullanımı, bu kullanımın ekolojik ve biyoçeşitliliğe etkisi, sosyo-ekonomik ve çevresel etkilerini incelemek gerekir.

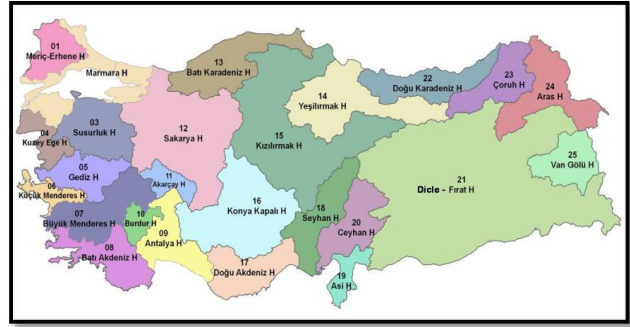
Bu makalede, ülkemizdeki su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve kalitelerinin korunması için havza bazında yapılması gereken çalışmalar bir model çerçevesinde irdelenerek Eğirdir Gölü Havzası ölçeğinde araştırılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi konusunda dünyada yapılan çalışmalar, havza bazlı yönetim ve sürdürülebilirlik konuları üzerinde odaklanmıştır. Havza bazında ele alınmayan projelerin başarısı, geniş ölçekte bakılmadığından sınırlı seviyede kalmaktadır. Havza ölçeğinde su kaynaklarında gerek miktar gerekse nitelik olarak meydana gelen değişikliklerin gözlenmesi, herhangi bir olumsuz durumda gerekli önlemlerin alınması açısından da avantaj sağlamaktadır. Sürdürülebilirlik ise gelecek nesillere kullanılan ekosistemin değer kaybetmeden devredilmesi olarak ifade edilebilir (Meriç, 2004).

Havza, hidrolojik sistemi kontrol eden doğal sınırlarla çevrili bir alandır. Su kaynakları sisteminin havza ölçeğinde tanımlanması, sistemin doğal sınırlar ile kısıtlanması, dolayısıyla bir bütün olarak ele alınmasına olanak sağlayarak, hidrolojik sistemi etkileyen süreçler arasındaki ilişkilerin doğru olarak ortaya konmasına yardımcı olmaktadır. Havza ölçeğinden daha küçük ölçeklerde ele alınan, gerek yönetim gerekse işletim çalışmalarının başarısı sistemin tümünü karakterize etmediği için sınırlı seviyede kalmaktadır. Ayrıca, hidrolojik sistem içinde tüm süreçlerin birbiriyle etkileşim içinde olan dinamik bir yapıda olması, havza ölçeğinden küçük ölçekte gerçekleştirilen çalışmaların sürdürülebilir özelliğini çok büyük ölçüde kısıtlamaktadır (Meriç, 2004).

Ülkemiz, topoğrafik yapıya bağlı olarak, 25 büyük hidrolojik su havzasına ayrılmıştır (Şekil 1). Bu havzaların toplam yıllık ortalama akışları 186 milyar m³'tür (referans eksik). Hidrolojik su havzalarının her birinde yıllık yağış miktarı aynı olmadığından, verimleri ve su potansiyelleri de farklıdır. Ancak bu büyük havzaların içinde küçük ölçekli yüzey ve yeraltı suyu havzaları da mevcuttur. Su havzalarını hidrolojik ve hidrojeolojik özellikler dikkate alındığında yüzey suyu ve yeraltı suyu havzaları olarak sınıflandırmak mümkündür. Yüzey suyu havzaları yapay –doğal göl havzaları ve nehir havzaları olarak ayrılabilir. Yeraltı suyu havzaları ise farklı litolojik birimlerin (alüvyon, karstik, çatlaklı kaya akiferleri) oluşturduğu havzalardır.



Şekil 1. Türkiye'nin nehir havzaları (DSİ, 2012)

3. Materyal ve Yöntem

Havza bazında yapılan çalışmalarda araştırmanın amacına göre uygulanması gereken metodoloji farklılıklar gösterebilmektedir. Ancak, su kaynaklarının koruma kullanma metodolojisinin geliştirilmesi için genel olarak yüzey suyu (göl ve nehir) ve yeraltı suyu havzalarında yapılması gereken en temel bilimsel çalışmaları hidroloji, jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya, kirlilik araştırmaları ve yönetim başlıkları altında incelemek mümkündür. Havza ölçeğinde yapılması gereken araştırmalar ve elde edilecek çıktılar aşağıda tanımlanmaktadır (Tablo 1). Bu bölüm içerisinde anlatılan metodoloji ve beklenen çıktılar pek çok araştırma için faydalı olacak ve özellikle genç araştırmacılara ışık tutacaktır.

3.1. Çalışma Alanının Tanımlanması

Farklı amaçlar için yapılacak her araştırmada öncelikle çalışmanın yapılacağı alanın sınırlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Su yönetimi temelinde idari yönetim sınırları yerine havza sınırlarının esas alınması kabul edilmiştir. Öncelikle hidrolojik ve hidrojeolojik özellikler dikkate alınarak havza sınırları belirlenmelidir. Çalışılacak alanın boyutu belirlendikten sonra havzada hidrolojik, jeolojik, hidrojeolojik, kimyasal gibi farklı konularda önceden yapılmış bütün çalışmalar gözden geçirilerek havzanın genel özellikleri ve araştırmalardaki eksiklikler belirlenmelidir. Havza içerisinde evsel nitelikli yüzeysel su kirliliklerinin izlenmesinde mevcut nüfus

etkilidir. Bu nedenle, havza sınırları içerisinde kalan yerleşimlerin geçmişteki ve şimdiki nüfus durumları ile gelecek nüfus projeksiyonları hazırlanmalıdır. Havza içerisinde su ortamının korunmasına yönelik yapılması öngörülecek projeler (arıtma tesisleri, katı atık düzenli depolama tesisleri, doğal arıtmalar vb.) hazırlanacak projeksiyonlara dayanarak yapılmalıdır.

Havza içerisinde yer alan yerleşim merkezlerinin mevcut durumları (su, elektrik, kanalizasyon, ulaşım vb.) belirlenmelidir. Ayrıca, havzanın genel olarak arazi kullanım durumu (tarım, çayır, orman, mera vb.) ile havza içerisinde yer alan ve özel yasalar ile belirlenmiş koruma alanları tanımlanmalıdır.

Tablo 1. Su havzalarının kullanma ve koruma planlamaları için yapılması gereken araştırmalar

	Yüzey Suyu Havzaları		Yeraltısuyu Havzaları
	Göl	Nehir	
Genel Tanımlamalar			
Çalışma alanının sınırlarının tespiti	✓	✓	✓
Literatür taraması	✓	✓	✓
Havza alanındaki yerleşimlerin ve nüfus yoğunluğunun tespiti	✓	✓	✓
Havzada yerleşim merkezlerinin mevcut durumlarının tespiti	✓	✓	✓
Havzada mevcut koşulların tanımlanması	✓	✓	✓
Hidrolojik Araştırmalar			
Yağış verilerinin değerlendirilmesi	✓	✓	✓
Sıcaklık verilerinin değerlendirilmesi		✓	✓
Buharlaştırma verilerinin değerlendirilmesi	✓		
Yüzeysel akış verilerinin değerlendirilmesi	✓	✓	✓
Su Bilançosu hesaplamaları	✓	✓	✓
Jeolojik Araştırmalar			
Jeoloji haritalarının hazırlanması	✓	✓	✓
Jeolojik kesitlerin hazırlanması			✓
Hidrojeolojik Araştırmalar			
Litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi	✓	✓	✓
Su noktalarının belirlenmesi	✓	✓	✓
Yeraltısuyu seviye değerlendirmeleri	✓	✓	✓
Akifer parametrelerinin tespiti			✓
Hidrojeokimya Araştırmaları			
Su noktalarının insitu ölçümlerinin yapılması	✓	✓	✓
Suların kimyasal özelliklerinin belirlenmesi	✓	✓	✓
Suların izotopik özelliklerinin belirlenmesi	✓	✓	✓
Kirlilik Araştırmaları			
Noktasal ve yayılı kirlenici kaynakların belirlenmesi	✓	✓	✓
Ağır metal analizleri	✓	✓	✓
Pestisit analizleri	✓	✓	✓
Dip sediman örneklemeleri	✓		
Azot türevlerinin analizi	✓	✓	✓
Ötrofikasyon incelemeleri	✓		
Bakteriyolojik analizler	✓	✓	✓
Yönetim			
Su kaynaklarının kullanım alanlarının tespiti	✓	✓	✓
Koruma alanlarının oluşturulması	✓	✓	✓
Koordinasyonun sağlanması	✓	✓	✓
Sürdürülebilirliğin sağlanması	✓	✓	✓
Planlama			
Mevcut durum ve ihtiyaçların tespiti	✓	✓	✓

3.2. Hidrolojik Araştırmalar

Havzalarda su potansiyeli hidrolojik çalışmalar ile belirlenmektedir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için hidrolojik bütçe elemanlarının (yağış, akış, buharlaşma ve sızma) kütle korunumu prensibine dayanan su dengesi denklemi ile hesaplanması gerekmektedir. Ayrıca, istatistiksel analizler, yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi yapay zeka metodları ve yeraltısuyu akım modelleri de kullanılarak geleceğe yönelik su bütçesi tahminleri de yapılabilmektedir. Bu nedenle, tüm havzalarda sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla emniyetli kullanılabilir su potansiyelinin belirlenmesi için

gerekli olan hidrolojik araştırmaların yapılması zorunluluktur.

Genel olarak bütün su kaynaklarının en önemli beslenme elemanı yağıştır. Havza alanı içerisinde ve çevresinde bulunan meteoroloji istasyonlarında ölçülen yağış verileri elde edilerek farklı istatistiksel analizler ile verilerin doğruluğu kontrol edilmeli ve en doğru veri aralığı kullanılarak havzaya düşen ortalama yağış miktarı belirlenmelidir. Bu amaçla, en doğru yaklaşımı sağlayan eş yağış eğrileri yöntemi ile haritaların hazırlanması gereklidir. Bu yöntem Arc-GIS, Surfer gibi farklı bilgisayar programları kullanılarak da uygulanabilmektedir. Ayrıca, yağış

verileri ile uzun yıllar bazında havzadaki genel yağış rejimi ve mevsimsel değişim belirlenmelidir.

Havzalarda genel olarak en önemli boşalım elemanı buharlaşmadır. Buharlaşma yeraltı suyu ve yüzey suyu havzaları için yaygın olarak kullanılan Thorthwaite ve Penman yöntemleri ile tespit edilebilir. Ancak, göllerin su bütçesi hesaplamalarında göl yüzeyinde ölçülen buharlaşma değerleri elde edilmeli ve olası eksik veriler Penman-Monthieith gibi yöntemler kullanılarak tamamlanmalıdır. Bütün veriler tava katsayısı ile düzeltilerek göl yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma kayıpları belirlenmelidir. Ayrıca, yağış ve sıcaklık verileri ile göl su seviyesi arasındaki ilişki irdelenmelidir. Bu amaçla, uzun yıllara ait yağış ve sıcaklık değişimleri, gölün kıyı kenar çizgisi ölçümleri veya uydu görüntüleri vasıtasıyla elde edilen göl su seviye değişim haritaları birlikte değerlendirilmelidir. Havzaya giren ve havzadan çıkan derelerde akım gözlem istasyonlarında ölçülen akım verileri elde edilmelidir. Havzanın hidrolojik durumunun ortaya konması için genel bütçe elemanları (yağış, buharlaşma, süzülme, akış, içme - sulamada kullanılan su miktarları vb.) birlikte değerlendirilerek güncel verilerle havzanın hidrolojik su bilançosu hazırlanmalıdır.

3.3. Jeolojik Araştırmalar

Yüzey ve yeraltı suyu havzalarında bulunan jeolojik birimlerin tespiti ve havzanın oluşumunu kontrol eden tektonik yapının araştırılması ile havza tipi ve havzalar arası ilişkiler tespit edilebilir. Ayrıca, jeolojik araştırmalar özellikle yeraltı suyu havzaları için hidrojeolojik araştırmaların temelini oluşturmaktadır. Öncelikle, literatür taraması ve arazi çalışmaları ile havza alanı içerisinde bulunan jeolojik birimlerin konumu, özellikleri ve mevcut tektonik yapıların detaylı olarak haritalanması ve raporlanması gereklidir. Özellikle yeraltı suyu havzaları için akifer birimlerin konumları, yayılımları ve diğer litolojik birimlerle alt-üst ilişkilerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle, yeraltı suyu akiferlerinde havzanın tamamını temsil eden sistematik kesitler alınarak panel diyagram hazırlanmalıdır.

3.4. Hidrojeolojik Araştırmalar

Havzada tespit edilen litolojik birimler akifer olabileceği potansiyelleri açısından yeniden değerlendirilerek hidrojeoloji haritaları hazırlanmalıdır. Her bir akiferin yayılımı ve su ortamının beslenmesindeki rolünün belirlenmesi için bu adım oldukça önemlidir. Yüzey suyu havzalarında ise havzalar arası yeraltı suyu ilişkilerinin belirlenmesi için gereklidir. Özellikle, yeraltı suyu havzalarında suyu bulandıran akiferlerin permeabilite, transmisibilite ve depolama katsayısı gibi hidrolik parametrelerinin tespiti önemlidir. Yüzey suyu havzalarında ise nehir ve göl ortamlarının havza içerisinde ve havza dışındaki birimlerle ilişkilerinin tespiti hidrojeolojik araştırmalar ile

gerçekleştirilebilmektedir. Havza içerisinde bulunan su kaynağı, göl, dere, sondaj kuyusu, adi kuyular gibi su noktalarının belirlenmesi de gereklidir. Bu su kaynaklarına ait akım gözlem verileri farklı kurumlardan elde edilebilir. Eğer mevcut veri yoksa debi ölçümleri yapılmalıdır. Yeraltı suyu havzalarında mevsimlik bazda yeraltı suyu seviye değişimlerinin tespiti amacıyla kurak ve yağışlı dönemleri temsil eden en az iki dönem yeraltı suyu seviye ölçümleri yapılarak haritaları hazırlanmalı ve yeraltı suyu akım yönü belirlenmelidir. Yüzey suyu akiferlerinde ise bir dönem yapılacak seviye ölçümü ile yeraltı suyu ile yüzey suyu arasındaki ilişki tespit edilebilir. Özel durumlarda araştırmanın amacına göre yeraltı suyu seviye ölçümleri artırılabilir.

3.5. Hidrojeokimya Araştırmaları

Havzalarda su noktalarının genel kimyasal yapısı, bu yapıyı etkileyen süreçlerin tespiti ve köken araştırmalarının yapılması için su örneklerinden alınan örnekler üzerinde kimyasal, fiziksel ve izotopik analizlerin değerlendirilerek yorumlanması gerekmektedir. Havza içerisinde bulunan yüzey ve yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönemlerde arazi ölçümleri ile elektriksel iletkenlik (EC), redoks potansiyeli (Eh), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), sıcaklık vb. parametreleri belirlenmelidir. Bu özellikler suların kalitesini belirten parametrelerdendir. Havza içerisinde bulunan yüzey ve yeraltı sularından yağışlı ve kurak olmak üzere toplam iki dönem su örneklerinin alınması ile genel anyon ve katyon analizleri yapılmalıdır. Bu analizler ve insitu ölçümler birlikte değerlendirildiğinde suların genel kimyasal yapısı, su sınıfları ve farklı özellikteki su kaynakları belirlenecektir. Bu veriler ile hidrojeokimya haritaları oluşturulabilir. Ayrıca, suların içme, sulama, endüstri gibi farklı amaçlarla kullanılabilirliği farklı diyagram ve eşitlikler kullanılarak yapılabilir. Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. Ayrıca azot, klorür, kükürt, asal gazlar, uranyum ve toryum vb. elementlerin izotopları da yüzey ve yeraltı suyu sistemlerinde kirliliğin kökenlerinin belirlenmesi, hareketinin saptanması vb. çalışmalarda etkin olarak kullanılmaktadır.

3.6. Kirlilik Araştırmaları

Bu bölüm, su kaynaklarının kullanılabilirliğini doğrudan etkileyen kirliliğin tespiti ve bu kirliliğin su kaynaklarına etkilerinin belirlenmesi için yapılması gerekli analizler ve sonuçlarının yorumlanmasını içermektedir. Elde edilen bilgiler ile suların kullanım alanlarının tespiti yapılmaktadır. Ayrıca, hidrojeoloji, hidrojeokimya ve kirlilik araştırmalarının ortak yorumlanması ile koruma alanları belirlenmektedir.

Havza sınırları içerisindeki evsel ve endüstriyel kirletici kaynakların (noktasal kirletici kaynak) koordinatları GPS ile belirlenerek kirletici kaynaklar haritası oluşturulabilir. Ayrıca, arazi kullanım durumu ve toprak türü haritalarından yararlanarak muhtemel tarımsal alanlar (yayıllı kirletici kaynak) tespit edilmelidir. Bu alanların yerinde kontrolü yapılmalı ve toprak örnekleri alınarak kirlilik yükleri tespit edilmelidir. Ayrıca, bu alanlarda oluşabilecek sızıntı sularının su kaynağına olası etkileri belirlenmelidir. Havza içerisinde endüstriyel kuruluş, maden ocağı vb. etkenlerle yüzey ve yeraltı sularında ağır metal birikimi oluşabilmektedir. Bu nedenle periyodik zamanlarda yapılacak örneklemeler ile ağır metal analizleri yapılmalıdır. Yeraltısuyu havzalarında özellikle tarımsal aktivitelerden kaynaklanan kirlilik önem taşımaktadır. Havza içerisinde yoğun tarımsal faaliyet yapılıyor ise ilaçlama dönemleri ve havzada kullanılan pestisit türleri tespit edilmelidir. Kirlilik araştırmaları için yapılacak su örneği alımı işlemlerinde ilaçlama zamanı dikkate alınmalıdır. Zirai mücadele ilaçlarına bağlı olarak azot türevleri su ve toprakta birikebilmektedir. Bu nedenle, özellikle yeraltısuyu havzalarında içme suyu amaçlı kullanım söz konusu ise azot türevlerinin TSE (266), WHO, USEPA gibi standartlarda verilen değerleri aşmaması gerekmektedir. Azot türevlerinin su kaynaklarına etkisinin izlenmesi için en az iki dönem kimyasal analizleri yapılmalıdır. Ülkemizde genellikle bütün havzalarda tarımsal faaliyetlerde gübre olarak hayvan atıkları kullanılmaktadır. Ayrıca, özellikle küçük yerleşim merkezlerinin kanalizasyon atıkları yüzey sularını etkileyebilmektedir. Bu nedenle en az iki dönem bakteriyolojik analizler (Toplam bakteri, Fekal koliform, E.coli vb.) yapılmalıdır. Eğer su kaynağı içme suyu amaçlı olarak kullanılacaksa örnekleme periyodu artırılmalıdır. Yeraltısuyu havzalarında bakteriyolojik kirlilik sığ akiferlerde etkin olabilmektedir. Bu nedenle, yeraltısuyu içme suyu olarak kullanılacaksa bakteriyolojik analizlerin yapılması gereklidir.

Özellikle göllerde kirliliğe bağlı olarak ötrofikasyon derecesinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla, Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Askıda Madde (TAM), Toplam Çözünmüş Madde (TÇM), toplam fosfor (P), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), NH₃-N, NO₂-N ve NO₃-N gibi analizlerin yapılması gereklidir. Havza içerisinde bulunan kirleticilerin göle etkilerinin araştırılması için göl dip sediman analizleri gereklidir. Bu nedenle kurak ve yağışlı dönemlerde olmak üzere iki dönem dip sediman örneklemeleri yapılmalı ve sedimanlarda birikebilecek ağır metaller belirlenmelidir. Bu analiz sonuçları değerlendirilerek kirletici kaynaklar ve göle etkileri belirlenebilir.

3.7. Yönetim

Bu aşamada, yukarıda tanımlanan araştırmaların sonuçları birlikte değerlendirilerek herhangi bir su kaynağının mevcut kullanım durumu, potansiyeli ve

kimyasal yapısı değerlendirilmektedir. Daha sonra havzada su kullanımına ihtiyaç olan amaçlar belirlenerek mevcut su kaynaklarının uygunluğu değerlendirilmelidir. Havzadaki genel ihtiyaçlar havza içerisindeki kaynaklardan karşılanabiliyorsa sürdürülebilirliğin sağlanması için koruma alanlarının oluşturulması ve suyun kullanımı ile ilgili kurumların koordinasyonu sağlanmalıdır. Ancak, ihtiyaçlar havza içerisinden karşılanamıyorsa komşu havzalarda bulunan su kaynaklarının ortak kullanımı amacıyla gerekli kurumlar ile görüşmeler ve koordinasyon sağlanarak sürdürülebilirlik gerçekleştirilmelidir. Sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla uygun izleme ağının oluşturulması için gerekli donanım ve personelin yanı sıra laboratuvar altyapıları da geliştirilmelidir. Ayrıca, havzada suyun kalite ve miktarına yönelik araştırma yapan üniversite ve kurumlar ile işbirliğinin iyileştirilmesi gereklidir.

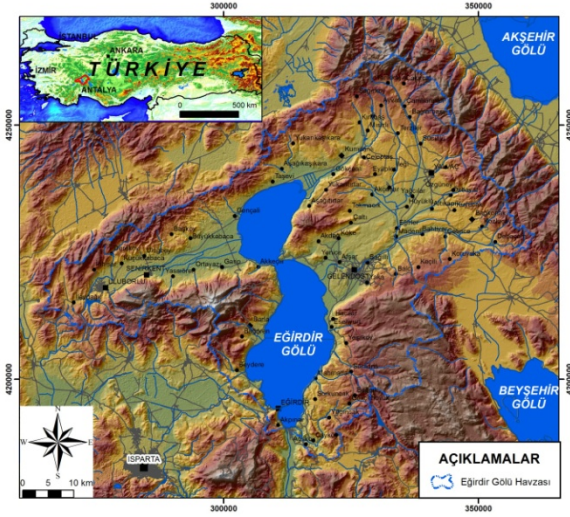
3.8. Planlama

Mevcut durum ve sektörel ihtiyaçlar doğru olarak ortaya konmalıdır. Belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda uzun ve kısa vadeli imar ve çevre düzeni planları hazırlanmalıdır. Planlamada politik olmayan ekonomik ve rasyonel kriterler esas alınmalı ve kaynak dağılımında bu kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Yerleşim alanları, altyapı projeleri, tarım ve tarım dışı alanlar, su ürünleri üretim alanları, mera sahaları, yüzey ve yeraltı suyu kaynakları ve jeotermal alanlar, turizm, sit, orman ve koruma alanları, ulaşım yolları ve şekilleri belirlenmelidir.

4. Araştırma Bulguları

Bu bölümde su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve kalitelerinin korunması için geliştirilmiş araştırma metodolojisi Eğirdir Gölü Havzası için uygulanmıştır. Önemli bir yüzey suyu havzası olan Eğirdir Gölü havzasında geliştirilen bu metodoloji pek çok havza için örnek oluşturacak ve özellikle genç araştırmacılara ışık tutacaktır. Araştırma sonuçları aşağıda kısaca sunulmuştur.

Eğirdir Gölü yaklaşık 3417.04 km²'lik bir beslenme havzasına sahiptir. Havza içerisinde büyük tali yeraltısuyu havzaları olarak Senirkent- Uluborlu ve Yalvaç-Gelendost ovaları bulunmaktadır (Şekil 2).



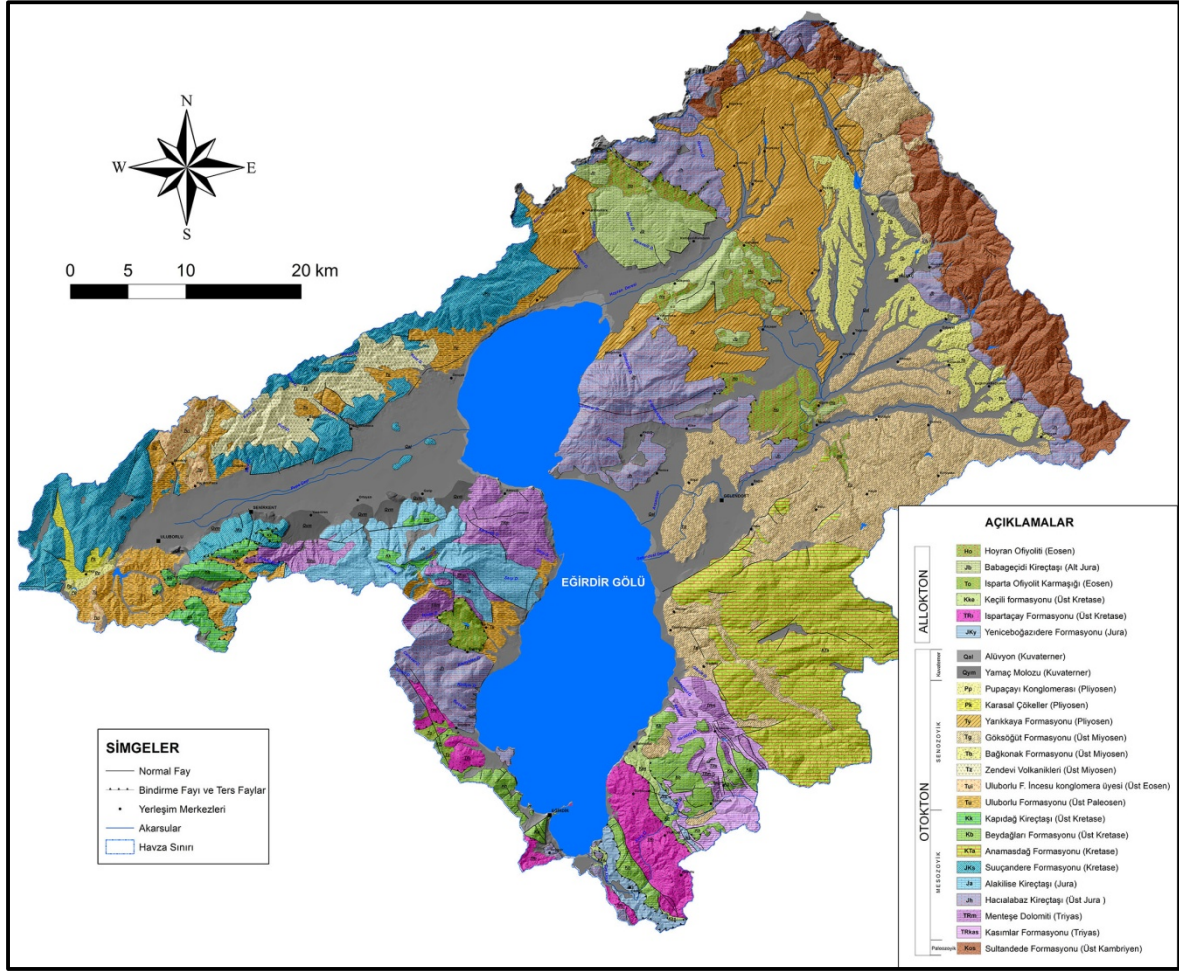
Şekil 2. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Jeolojik araştırmalar: Havzada yer alan stratigrafik birimler otokton ve allokton konumlu olmak üzere iki grup altında toplanmıştır. Eğirdir Gölü'nün batısında gözlenen otokton birimler Menteşe dolomiti, Alakilise kireçtaşı, Suuçandere kireçtaşı, Beydağları formasyonu, Kapıdağ kireçtaşı, Uluborlu formasyonu, İncesu konglomera üyesi, Zendeve volkanitleri, Pupaçayı konglomerası, Karasal çökeller ve tüm birimleri uyumsuz olarak örten yamaç molozu ve alüvyondan oluşmaktadır. Allokton birimler ise, Ispartaçay formasyonu ve Isparta ofiyolit karmaşığdır. Gölün doğusunda gözlenen otokton birimler Sultandede formasyonu, Kasımlar formasyonu, Menteşe dolomiti, Hacialabaz kireçtaşı, Anamasdağ formasyonu, Beydağları formasyonu, Bağkonak formasyonu, Yarıkkaya formasyonu, Göksöğüt formasyonu, yamaç molozu ve alüvyon iken allokton birim olarak ise Yeniceboğazidere formasyonu, Keçili formasyonu ve Hoyran ofiyoliti yer almaktadır (Şekil 3; Dumont ve Kerey, 1975; Gutnic, 1977; Günay vd., 1982; Koçyiğit, 1983; Yalçınkaya vd., 1986; Özgül vd., 1991; Şenel vd., 1997; Şener, 2010; Şener 2011; Davraz vd., 2012).

Hidrojeolojik Araştırmalar: Havzada bulunan jeolojik birimler fiziksel özellikleri ve akifer olabile potansiyellerine göre yeniden değerlendirilmiştir. Alüvyon ve yamaç molozu *Taneli Ortam Akiferi*; Alakilise kireçtaşı, Anamasdağ formasyonu, Babageçidi kireçtaşı, Beydağları formasyonu, Hacialabaz kireçtaşı, Kapıdağ kireçtaşı, Menteşe

dolomiti, Suuçandere kireçtaşı *Erimeli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi*; Pupaçayı konglomerası, İncesu konglomera üyesi, Zendeve volkanitleri *Akitard Ortam-1*; Bağkonak formasyonu, Göksöğüt formasyonu, Kasımlar formasyonu, Yarıkkaya formasyonu *Akitard Ortam-2*; Hoyran ofiyoliti, Isparta ofiyolit karmaşığı, Ispartaçay formasyonu, Keçili formasyonu, Yeniceboğazidere formasyonu *Akifüj Ortam-1*; Karasal çökeller, Uluborlu formasyonu *Akifüj Ortam-2*; Sultandede formasyonu *Akifüj Ortam-3* olarak sınıflandırılmıştır (Şener, 2010; Şener, 2011). Gevşek tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundaki malzemeden ve bunların farklı kombinasyonlarından oluşan alüvyon ve yamaç molozu, özellikle çakıl ve kumlu seviyelerinde yeraltısuyu bulundurabilme kapasitesinden dolayı çalışma alanının en önemli akiferidir. Bölgede içme, sulama ve kullanma suyunun bir kısmı farklı kurum ve şahıslar tarafından bu birim içerisinde açılmış sondaj kuyularından sağlanmaktadır. Havzadaki sondaj kuyularında yapılan pompaj testlerinden yararlanılarak hesaplanmış olan, sondaj kuyusu bulunmayan bölgeler için ise literatürde verilmiş iletkenlik değerleri dikkate alındığında, çalışma alanının batısında alüvyon birimler içerisinde belirlenen hidrolik iletkenlik değerleri 8.72×10^{-6} m/sn ile 2.24×10^{-4} m/sn arasında, Hoyran ovasında 1.18×10^{-5} m/sn ile 5.6×10^{-7} m/s arasında, yüksek geçirimsizliğe sahip olan kireçtaşlarında 10^{-3} m/sn, killi birimlerde ise 10^{-9} ile 10^{-10} m/sn arasında değişmektedir (Şener, 2011; Şener and Davraz, 2013).

Akifer kirlenebilirliğinin değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden biri olan vadoz zonun özellikleri bölgede açılmış sondaj kuyu loglarından ve bölgenin jeoloji haritasından yararlanılarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, Senirkent-Uluborlu ovasında göle yakın kesimlerde siltli kum, kil, kum ve çakıl birimler gözlenirken batıya doğru gidildikçe çakıl, killi, kumlu çakıl ve kireçtaşı birimleri gözlenmektedir. Hoyran ovasında killi seviyelerin fazla oluşu, kumlu ve çakıllı seviyelerin yayılımlarının az oluşu bu alanların akifer özelliğini azaltmaktadır. Yalvaç ovasında ilçenin kuzey ve güneyinde yaygın olarak kil, kum ve çakıllı seriler; Gelendost ovasında ise, Gelendost yerleşiminin civarında kumlu seriler gözlenirken, göle yakın kesimlerde daha çok kumlu, çakıllı seviyeler dikkati çekmektedir (Şener, 2011; Şener and Davraz, 2013).



Şekil 3. İnceleme alanının jeoloji haritası (Şener, 2010; Şener 2011; Davraz vd., 2012)

Çalışma alanında yeraltı suyu dinamiğinin değerlendirilmesi için Mayıs-Ekim 2010 tarihlerinde 67 adet sondaj kuyusunda yeraltı suyu seviye ölçümleri yapılmıştır. Eğirdir Gölü havzasında en geniş alüvyon akiferleri Uluborlu-Senirkent ve Yalvaç-Gelendost ovalarında bulunmaktadır. Senirkent-Uluborlu ovası içerisinde alüvyon ortamda yeraltı suyu derinliği yaklaşık olarak 3-36 m, Yalvaç ovasında yeraltı suyu derinliği 1-21.6 m, Gelendost ovasında 0.15-51.2 m, Hoyran ovasında ise 2.6-38.7 m arasında değişmektedir (Şener, 2011; Şener and Davraz, 2013). Uluborlu civarında hidrolik eğim yaklaşık olarak 0.015, Senirkent civarında ise 0.0008 olup yeraltı suyu akım yönünün Eğirdir Gölü'ne doğru olduğu belirlenmiştir. Uluborlu-Senirkent ovası yeraltı suyu ve yüzeysularının Eğirdir Gölüne boşalması nedeniyle yarı geçirimli havza özelliğindedir. Genel olarak yeraltı suyu seviye eğrileri çalışma alanının batısında Uluborlu dolayında sıklaşırken, Pupaçayı dere yatağı boyunca Eğirdir Gölü'ne doğru seyrekleşmektedir. Bu durum Eğirdir Gölüne doğru alüvyon akiferin permeabilitesinin arttığını göstermektedir (Şener, 2010; Şener 2011; Davraz vd., 2012).

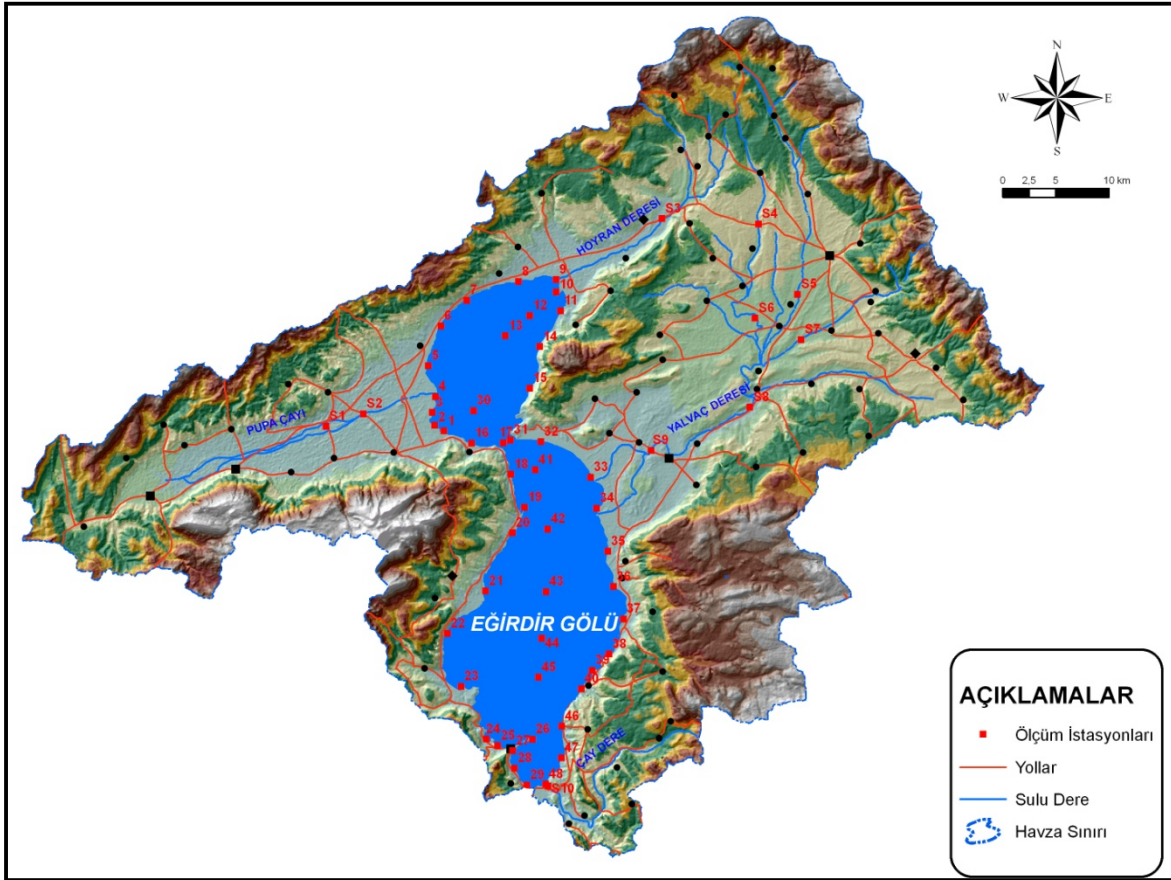
Eğirdir Gölü havzasının kuzeydoğusunda bulunan Yalvaç civarında yeraltı suyu akım yönünün güney batıda bulunan Gelendost civarına doğru olduğu görülmektedir. Yalvaç deresi boşalması ile de yüzey suyu akımı yine aynı doğrultudan Eğirdir Gölü'ne doğrudur. Yalvaç ovasında yeraltı suyu derinliği 1-21.6 m, Gelendost Ovasında ise 0.15-51.2 m olarak belirlenmiştir. Yalvaç civarında hidrolik eğimin 0.0048-0.017 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Gelendost ilçesi civarında ise hidrolik eğim 0.004-0.085 arasındadır. Gelendost civarında yeraltı suyu akım yönü Eğirdir Gölü'ne doğrudur. Eğirdir Gölü'nün kuzeyinde bulunan Hoyran bölgesinde ise Eğirdir Gölü'ne doğru yeraltı suyu seviye eğrileri seyrekleşmekte ve hidrolik eğim 0.003-0.013 arasında değişmektedir. Bölgede yeraltı suyu akım yönü göle doğrudur. Hoyran Ovasında yeraltı suyu derinliği 2.6-38.7 m arasında değişmektedir. Havzada genel yeraltı suyu dinamiğine bakıldığında, yeraltı sularının Eğirdir Gölü'ne doğru boşaldığı gözlenmektedir (Şener, 2010; Şener 2011; Davraz vd., 2012; Şener and Davraz, 2013).

Hidrolojik Araştırmalar: Eğirdir Gölü kullanılabilirliği açısından önem taşıyan hidrolojik özelliklerin zamansal değişiminin gözlenebilmesi için

1962-2009 yılları arasındaki meteorolojik verilerden yararlanılmıştır. Çalışma alanında uzun dönemlik yağış verilerine göre 1981-1994 yılları arasında oldukça uzun kurak dönem gözlenmiştir. Bu yıllar arasında göl seviyesi 2 m'den fazla düşmüştür. Söz konusu yıllarda havza içinde yüzey ve yeraltı sularının kullanımında geçmiş yıllara göre çok büyük bir farklılık belirlenememiş olması, hem havzaya hem de göl yüzeyine düşen yağış miktarının göl seviye değişimi üzerindeki büyük etkisini göstermektedir. Göl yüzeyinden buharlaşma miktarının yıllık değişimleri göl seviye değişimleri ile karşılaştırıldığında, buharlaşmanın yağış kadar etkili olmadığı sonucuna varılmıştır (Şener, 2010; Davraz vd., 2012; Davraz vd., 2014). 1970-2010 yılları için ortalama boşalım miktarı 763.61 hm³, ortalama ölçülen beslenme miktarı 400.71 hm³ ve ortalama ölçülemeyen yeraltı suyu -yüzeysuyu beslenimi ise 355.12 hm³ olarak hesaplanmıştır. Eğirdir Gölü havzası'nın 1908.96 hm³/yıl olan ortalama yağıştan beslenme miktarı dikkate alındığında havzaya düşen yağışın %18'inin ölçülemeyen yeraltı suyu ve yüzeysuyu beslenimi olarak Eğirdir Gölü'ne ulaştığı belirlenmiştir (Şener, 2010; Davraz vd., 2012; Davraz vd., 2014).

Hidrojeokimya ve Kirlilik Araştırmaları: Eğirdir Gölü suyu ve gölü besleyen yüzey sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin ve kirlilik yüklerinin belirlenmesi amacıyla, göl sularında 48 lokasyon, göle boşalan yüzey sularında 10 lokasyon ve göl dip sedimanlarında 42 lokasyondan oluşan bir ölçüm ağı oluşturulmuştur (Şekil 4). Su örneklemeleri yağışlı ve kurak dönemleri temsil edecek şekilde Mayıs 2009-2010 ve Ekim 2009-2010 aylarında toplam 4 dönem, sediman örneklemeleri ise Mayıs 2009-Ekim 2009 aylarında toplam 2 dönem yapılmıştır. Su örneklerinin iyon analiz sonuçlarına göre, göl sularının genel olarak Ca-Mg-HCO₃ su tipinde olmasının yanı sıra, Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃-SO₄, Mg-HCO₃-SO₄ ve Mg-K-HCO₃ gibi farklı su tipleri de kaya-su etkileşimine bağlı olarak belirlenmiştir (Şener, 2010; Şener 2011; Davraz vd., 2012; Şener vd., 2013; Şener vd., 2014).

Eğirdir Gölü su kalitesini etkileyen faktörlerin belirlenebilmesi için havza içerisindeki antropojenik kirlenimler araştırılmıştır. Bu kirlenici kaynaklar, noktasal kirlenimler (evsel atık sular, katı atık depolama alanları, endüstriyel faaliyetler) ve yayılı kirlenimler (tarımsal aktiviteler) olarak sınıflandırılmıştır. Eğirdir Gölü beslenme havzası içerisinde yeraltı suyu ve yüzey suyu akımlarının göle doğru olması havzadaki kirlenimlerin göle etkisini arttırmaktadır.



Şekil 4. Eğirdir Gölü Havzası yüzey ve yeraltı suları örnek alım lokasyonları (Şener, 2010; Davraz vd., 2012)

Çalışma alanındaki yüzey sularının kalite özelliklerinin değerlendirilmesinde Su Kirliliği Kontrol

Yönetmeliği'nde belirlenen Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kriterlerine ait standart değerlerden

yararlanılmıştır. Bu değerlendirmede göl sularının genel olarak I. su kalitesini temsil etmesine rağmen, pH, nitrit azotu, toplam fosfor ve toplam organik karbon parametreleri bakımından IV. su kalite sınıfında; amonyum azotu, nitrit azotu ve toplam fosfor parametreleri bakımından III. su kalite sınıfında; sıcaklık, çözünmüş oksijen, amonyum azotu, toplam fosfor, BOİ, kurşun, sülfür, demir ve kurak dönemde As parametreleri bakımından ise II. su kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, gerekli önlemler alınmadığı takdirde göl suyunun zamanla içilemez duruma geleceğini söylemek mümkündür. Göl sularında ölçülen ağır metal değişiminin büyükten küçüğe doğru S>Fe>Al>B>Ba>Mn>As>Pb>Zn>Ni>Cu>Co şeklinde olduğu belirlenmiştir. Göl sularının nitrit azotu, toplam fosfor ve toplam organik karbon değerlerinin derelerin göle boşalım noktalarında, tarım alanlarının göle yakın olduğu kesimlerde ve Eğirdir ilçesi civarında yüksek miktarlarda ölçülmüş olması, dış kökenli kirleticilerin gölü olumsuz etkilediğini göstermektedir (Şener, 2010; Davraz vd., 2012; Şener vd., 2013; Şener vd., 2014).

Göl sularının analiz sonuçları içme suyu standartları ile de değerlendirildiğinde pH değerleri 8.67-9.40 arasında değişmesi sebebiyle TSE (2005)-A1 kategorisi, WHO ve EPA standartlarına göre içme suyu olarak kullanıma uygun olmadığı görülmektedir. Bulanıklık ölçüm sonuçlarına göre ise, göl sularında sadece 4 nolu örnek (5.44 NTU) sınır değerlerin üzerindedir. Bu durum, 4 nolu örnek yerinin Pupa çayının göle boşalım noktası olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer ölçüm lokasyonlarının analiz sonuçlarına göre göl suları bulanıklık açısından içme suyu standartlarına uygundur. Amonyak parametresine göre, göl suları yine sadece 4 nolu lokasyonda (1.620 mg/l) sınır değerlerin üzerinde belirlenmiştir. Amonyum parametresi açısından göl sularında 4 nolu ve 37 nolu lokasyonlardan alınan örnekler de yine sınır değerlerin üzerindedir. Diğer tüm örneklerin amonyum içerikleri sınır değerlerin altında belirlenmiştir. Göl suları Al, Ni ve Fe parametreleri bakımından genel olarak standartlara uygun olup, sadece 35 nolu lokasyonda sınır değerlerin üzerinde (Al: 0.0026 mg/l, Ni: 0.0025 mg/l, Fe: 0.37 mg/l) belirlenmiştir. BOİ bakımından göl sularında sadece 4 nolu örnekte (4.7 mg/l) sınır değerlerin üzerinde sonuç alınmıştır. Bu nedenle, genel olarak göl suları içme suyu olarak kullanılabilir özellik taşımaktadır (Şener, 2010; Davraz vd., 2012; Şener vd., 2013; Şener vd., 2014).

Proje kapsamında, gübre olarak kullanılan hayvan atıkları ve göl çevresinde bulunan yerleşim merkezlerinin kanalizasyon atıklarının göle etkilerinin belirlenmesi amacıyla bir yıl boyunca iki dönem bakteriyolojik analizler yapılmıştır. Toplam koliform ve E.coli analiz sonuçları, Eğirdir Gölü

suyunun A1 kategorisinden yüksek A2 kategorisinden ise daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Yönetmelikte, bu kategorilerde verilen yöntemler kullanılarak arıtma yapılması gerekliliği belirtilmiştir. A2 kategorisine giren sular için fiziksel arıtma, kimyasal arıtma ve dezenfeksiyon yöntemleri uygulanarak arıtılan suların içme suyu olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir (Şener, 2010; Davraz vd., 2012).

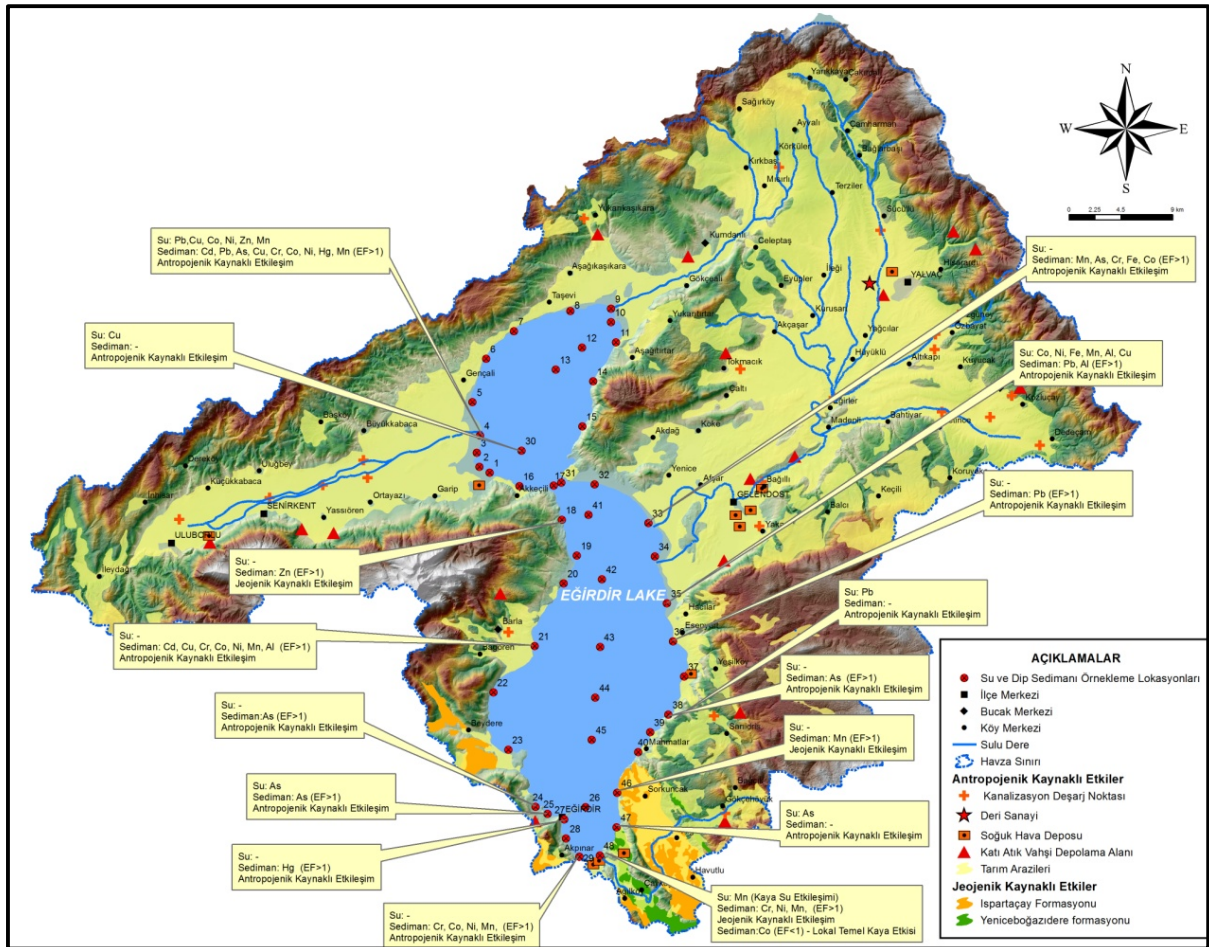
Ayrıca, çalışmada Eğirdir Gölü havzası içerisinde tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu nedeniyle kullanılan zirai mücadele ilaçlarının Eğirdir Gölü su kalitesine olası etkilerinin belirlenmesi amacıyla bir yıl boyunca aylık periyotlarda pestisit analizleri yapılmıştır. Örneklerin çoğunda pestisit saptanamamıştır. Fakat, S-3 ve 4 nolu istasyonlarda Ekim-2009 döneminde 0.002 ppb'den az diazinon türü pestisit kalıntısına rastlanmıştır (Şener, 2010; Davraz vd., 2012).

Elde edilen analiz sonuçlarına göre, göl dip sedimanlarında belirlenen ağır metal değişimi Ni>Zn>Mn>Cr>Cu>Pb>As>Co>Fe>Al>Cd>Hg şeklindedir. Sediman analiz sonuçları değerlendirilmesi sırasında şeyl ortalama değerleri ile karşılaştırılarak her bir metal için zenginleşme faktörü hesaplanmıştır. Sedimanlarda ölçülen Cr, Cu ve Co konsantrasyonları ortalama şeyl değerlerinin altında olmasına rağmen bu metallerin maksimum değerlerinin ölçüldüğü lokasyonlarda şeyl ortalama değerlerinin üzerinde (>70 ppm) Ni saptanmıştır. Gölün doğusunda bulunan Yalvaç deresinin göle boşalım noktasında Cr ve Co parametrelerinin maksimum konsantrasyonlarda ölçülmüş olması tamamen antropojenik girdileri işaret etmektedir. Aynı şekilde Pupa çayı ve Çay derenin göle boşalım noktalarında Cr, Cu, Co ve Ni parametreleri maksimum konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Ayrıca, gölün batısında, çevresinde yoğun tarım alanlarının bulunduğu 21 nolu lokasyondan alınan sediman örneğinde de yine aynı parametreler yüksek miktarlarda belirlenmiştir. Bu lokasyonlardaki metallerin zenginleşme faktörü değerinin 1'den büyük olarak belirlenmiş olması antropojenik kökenli kirliliği doğrulamaktadır. Ancak, gölün güneyinde bu etkiyi oluşturacak yapay kökenli antropojenik kirlilik kaynağı bulunmamaktadır. Bu bölgedeki lokasyonlarda belirlenen zenginleşme faktörü değerinin de 1'in üzerinde çıkması jeojenik etkinin varlığını göstermektedir. Bu bölgedeki metaller (Mn, Ni, Cu, Cr ve Co) Ispartaçay formasyonu kaynaklı kayasuları etkileşimine bağlı olarak yüzeysuları vasıtasıyla göle taşınmaktadır. Elde edilen bulgulara göre göl su ve dip sedimanlarında gözlenen metal zenginleşmeleri jeojenik ve antropojenik olmak üzere iki grup altında toplanmıştır. Eğirdir Gölü dip sedimanlarında metal birikiminde genel olarak yapay kökenli girdilerin etkisinin jeojenik kökenli etkilerden daha baskın olduğu sonucuna varılmıştır (Şener, 2010; Davraz vd.,

2012; Şener vd., 2014). Eğirdir Gölü ve havzası için kirletici kaynaklar sentez haritası hazırlanmıştır (Şekil 5).

Bu çalışmalara ek olarak, 39 ortak lokasyondan alınan su ve sediman örneklerinin Pb, As, Co, Cu, Ni, Zn, Fe ve Mn içerikleri karşılaştırılarak olası sebep – sonuç ilişkileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sırasında, gölü besleyen derelerin göle taşıdıkları sediment miktarları, göl içerisindeki mevcut sedimentasyon durumu, sedimanlarda metal hareketliliğini denetleyen faktörler, ağır metallerin suda çözünürlük ve çökeltme potansiyelleri ile hakim

rüzgar yönü ve şiddetine bağlı olarak oluşan gölün akıntı modeli dikkate alınmıştır. Eğirdir gölü suları ve dip sedimanlarda ölçülen Pb, As, Co, Cu, Ni, Zn, Fe ve Mn konsantrasyonlarında genel olarak yüksek değerlerin antropojenik girdiler ile doğrudan ilişkili olduğu, belirli bölgelerde ise kaya-su etkileşiminin varlığı belirlenmiştir. Ayrıca, göl içerisindeki akım döngüsünün ağır metal taşınımlarında doğrudan etkili olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre göl su ve dip sedimanlarında gözlenen metal zenginleşmeleri jeojenik ve antropojenik olmak üzere iki grup altında toplanmıştır (Şener, 2010; Davraz vd., 2012; Şener vd., 2014).



Şekil 5. Eğirdir Gölü ve havzası kirletici kaynaklar sentez haritası (Şener, 2010)

5. Sonuç ve Tartışma

Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için yüzey suyu (göl ve nehir) ve yeraltı suyu havzalarında yapılması gereken en temel bilimsel çalışmalar hidroloji, jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya ve kirlilik araştırmaları başlıkları altında verilebilir. Bu araştırmada geliştirilen metodoloji çerçevesinde yapılan araştırmalar ve sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında Eğirdir Gölü havzasında

sürdürülebilir su kullanımı için yapılması gereken önlemler ve öneriler aşağıda açıklanmıştır.

Gölün hidrolojik bilançosunun hesaplanmasında karşılaşılan en büyük sorun düzenli ölçülmüş verilerin bulunmamasıdır. Gölün sürdürülebilir kullanımı açısından meteorolojik ve akım gözlem istasyonu sayısının artırılması ile gölden çekilen su miktarı değerlerinin en doğru verilerle ölçülebilmesi için gerekli hassasiyetin gösterilmesi ve bu konuda göl çevresinde yerleşim yerlerinde bulunan halkın da bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Elde edilen araştırma sonuçlarına göre, gölü olumsuz olarak etkileyen 3 önemli unsur belirlenmiştir. Bunlar; evsel ve sanayi atık sularını göle taşıyan Pupa çayı ve Yalvaç deresi, Eğirdir ilçesi ve göl yakınındaki diğer yerleşim yerleri ve yeraltısuyu akımı ile göle taşınan tarımsal mücadele ilaçlarıdır. Bu üç önemli unsurun kontrol altına alınması Eğirdir Gölü havzasında sürdürülebilir su kalite yönetiminin oluşturulabilmesini sağlayacaktır. Evsel ve sanayi atıklarının kontrolü ile yerleşim yerlerinin atıklarından kaynaklanan etkilerin azaltılması, maliyet açısından daha yüksek fakat uygulanabilirlik açısından ise noktasal kirlilik kaynakları olması da dikkate alındığında, sadece yerel yöneticilerin bilinçlendirilmesi gerektiğinden daha kısa sürede gerçekleştirilebilecek unsurlardır. Yalvaç deresinde belirlenen en önemli kirlilik etkeni, Yalvaç Deri Organize sanayinin atık sularının atık su arıtma tesisinde zaman zaman yaşanan problemler nedeniyle çalıştırılmaması sonucu Yalvaç deresine ulaşmasıdır. Bu tesisin boyutlarının büyük planlanması nedeniyle tesis çalışma maliyetinin yüksek olması sürekli çalıştırılmasını engellemektedir. Pupa çayında ise Senirkent ve Uluborlu yerleşim merkezleri ile bunlara bağlı köylerin kanalizasyon sularının boşaltılması en önemli kirlilik etkenidir. Bu bölgelerde kontrollü kanalizasyon sisteminin biran önce oluşturulması Pupa çayından Eğirdir Gölü'ne ulaşan kirliliğin önlenmesini sağlayacaktır. Havzadaki diğer yerleşim yerlerinden kaynaklanan en önemli kirlilik yine kanalizasyon sularının kontrol altına alınmamış olmasıdır.

Havzada kirlilik etkisi en yaygın olan ve bu etkinin ortadan kaldırılabilmesinin zaman alacağı unsur ise tarımsal faaliyetlerin etkileridir. Çünkü, tarımsal faaliyetler havza genelinde çok yaygın olarak ve nüfusun büyük bir çoğunluğu tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, öncelikle tarımla uğraşan insanların bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi gerekmektedir. Havza genelinde bitkinin ihtiyacından çok fazla tarım ilacı kullanılmakta, kullanılan sulama yöntemleri ile kirlilik unsurlarının yeraltısuyu ve yüzey sularına taşınımı sağlanmakta, ilaç ambalajlarının gelişigüzel atılması ve yüzey sularında yıkanması ile direkt kirlilik etkisi oluşmakta ve doğa dostu olarak bilinen pestisitlerin kullanımı ise en az seviyede bulunmaktadır.

Eğirdir Gölü havzasında özellikle damlama sulama yönteminin son beş yıl içerisinde yaygınlaşması yüzey ve yeraltısularına taşınan tarımsal mücadele ilaçlarının azalması ve sulama randımanı değerinin artmasına bağlı olarak kullanılan sulama suyu miktarının azalması açısından büyük önem taşımaktadır. Havza içerisinde Yalvaç ve Gelendost ilçelerinde iki merkezde bulunan ve çiftçiye verilmek üzere yeterli dozajda karıştırılmış ilaçların bulunduğu depoların oluşturulmuş olması fazla ilaç kullanımının azaltılması ve ilaç ambalajlarının zararlarının

önlenmesi açısından sevindiricidir. Havzada yapılan arazi çalışmaları sırasında çiftçilerin sulama yöntemleri ve uygun dozajda ilaç kullanımı açısından bilinçlenmeye başladıkları gözlenmiştir. Ancak, yerel yöneticilerin önderliğinde eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Ayrıca, doğa dostu olarak bilinen pestisit türlerinin kullanımının yaygınlaştırılması ve bu tür pestisitlerin diğerlerinden daha pahalı olması nedeniyle çiftçiye gerekli mali devlet desteğinin verilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, kimyasal mücadelede kimyasal pestisitlerin belirlenmiş olumsuz özellikleri nedeniyle, mücadele programlarında en son başvurulması gereken mücadele yöntemi olarak ele alınması sağlanmalıdır. 'Çevre Dostu Mücadele Yöntemleri' olarak bilinen metodların uygulanmasının yaygınlaştırılması ve bu konuda eğitimlerin yapılması gerekmektedir.

Çalışma alanı olan Eğirdir Gölü havzasında sürdürülebilir su yönetimi için öncelikle havzada bulunan yüzey ve yeraltısularının kullanım amaçları açısından önceliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak, maalesef pek çok havzada olduğu gibi Eğirdir Gölü havzasında da mevcut yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarının kullanımı için tercih yapılamamakta içmesuyu, sulama ve endüstri suyu olarak bu kaynaklardan ortak yararlanılmak zorunda kalınmaktadır. Bu durumda farklı amaçlarla kullanımların gerçekleştirilebilmesi için havza bazında ihtiyaçlar ve öncelikler dikkate alınarak planlamalar yapılmalıdır. Yüzey ve yeraltı sularının kalitesini bozacak yada olumsuz yönde etkileyebilecek faaliyetler düzenli olarak kontrol altına alınmalı ve gerekli yaptırımlar kısa zamanda gerçekleştirilmelidir. Havzada yüzey ve yeraltı sularının sulama, içme, kullanma, turizm ve benzeri amaçlarla kullanılmasında kaynakların korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla örgün ve yaygın eğitim hizmetleri verilmeli ve bu eğitim, toplumun her kesimini kapsamalıdır.

Bu değerlendirmelere göre, göle yakın olan alanlar başta olmak üzere alüvyon akiferdeki yeraltısuyunun hemen hemen tamamı risk altındadır ve yüksek hassasiyete sahip bölgeleri oluşturmaktadır. Sonuç olarak, mevcut durumda içmesuyu olarak kullanımı açısından bir sorun görülmemesine rağmen gölün sürdürülebilir kullanımı için havzadaki antropojenik kökenli kirliticilerin kontrol altına alınması zorunlu görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ÇAYDAG-108Y258 nolu proje ve Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 1546-D-07 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Davraz, A., Şener, Ş., Şener, E., Kesici, E., Polat, E., Gündoğdu, V., 2012. İçme Suyu Havzalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Sürdürülebilir Su Kalite Yönetimi Oluşturulması; Eğirdir Gölü Modeli, TÜBİTAK-108Y258 nolu proje raporu, 277s

Davraz, A., Şener, E., Şener, Ş., Varol, S., 2014. Water Balance of the Eğirdir Lake and the Influence of Budget Components, Isparta, Turkey. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(2):27-36.

DSİ, 2012. Türkiye'nin nehir havzaları www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/07/20140704-23-1.doc

Dumont, J.F., Kerey, E., 1975. Eğirdir Gölü güneyinin (Isparta ili) temel jeolojik etüdü. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 18, 2, 1-10.

Gutnic, M., 1977. Geologie du Taurus Pisidien au nord d'Isparta, Turquei: Principaux resultats exraits des notes de M. Gutnic entre 1964 et 1971 par O. Monod, Universite du Paris-Sud Orsay, 130p.

Günay, Y., Bölükbaşı, S. ve Yoldemir, O., 1982. Beydağlarının stratigrafisi. Türkiye 6. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 91-101.

Koçyiğit, A., 1983. Hoyran Gölü (Isparta Büklümü) dolayının tektoniği. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 26, 1-10.

Köle, M., 2014. Ankara Örnekleme Üzerinde Cumhuriyet Dönemi Su Kaynakları Yönetim Modelleri, Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi, 18(1), 69.

Meriç, T., B., 2004. Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 27- 38.

Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş, Y., Korucu, M., 1991. Göller bölgesinin tektona-stratigrafik birlikleri. Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 213-237.

Şenel, M., 1997. 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Isparta J-11 paftası, MTA, Ankara

Şener, E. Davraz, A., 2013. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey), Hydrogeology Journal, 21(3):701-714

Şener, E., 2011. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Akifer Kirlenebilirlik Haritalarının Çok Kriterli Karar Verme Analizleri Kullanılarak Hazırlanması:

Eğirdir Gölü Havzası Örneği, SDÜ Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 131 s, Isparta

Şener, Ş., 2010. Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal İncelemesi, SDÜ Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, 348 s., Isparta

Şener, Ş., Davraz, A., Karagüzel, R., 2013. Evaluating the anthropogenic and geologic impacts on water quality of the Eğirdir Lake, Turkey, Environmental Earth Sciences, 70:2527–2544

Şener, Ş., Davraz, A., Karagüzel, R., 2014. Assessment of Trace Metal Contents in Water and Bottom Sediments From Eğirdir Lake, Turkey. Environmental Earth Sciences, 71:2807–2819 DOI: 10.1007/s12665-013-2659-6.

TSE, 2005. Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, 25 s, Ankara.

Yalçınkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö. P., Taner, K., Dalkılıç, H., 1986. Batı Torosların jeolojisi; Isparta projesi raporu. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü raporları (yayınlanmamış), Ankara.