

**T. C.  
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI**

**HASSAS ALANLARDA ANALİTİK HİYERARŐI METODU İLE EN UYGUN  
İYİLEŞTİRME ÖNLEMLERİNİN BELİRLENMESİ: MANYAS GÖLÜ  
ÖRNEĞİ**

**- UZMANLIK TEZİ -**

**HAZIRLAYAN: CEREN AKSU**

**ANKARA – 2017**

**T. C.  
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI**

**HASSAS ALANLARDA ANALİTİK HİYERARŐI METODU İLE EN UYGUN  
İYİLEŞTİRME ÖNLEMLERİNİN BELİRLENMESİ: MANYAS GÖLÜ  
ÖRNEĞİ**

**- UZMANLIK TEZİ -**

**HAZIRLAYAN: CEREN AKSU**

**TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. AYŞEGÜL TANIK**

**ANKARA – 2017**

T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI  
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

HAZIRLAYAN  
CEREN AKSU

HASSAS ALANLARDA ANALİTİK HİYERARŞİ METODU İLE EN UYGUN  
İYİLEŞTİRME ÖNLEMLERİNİN BELİRLENMESİ: MANYAS GÖLÜ  
ÖRNEĞİ

TEZ DANIŞMANI  
PROF. DR. AYŞEGÜL TANIK

BU TEZ ORMAN VE SU İŞLERİ UZMANLIĞI YÖNETMELİĞİ  
GEREĞİ HAZIRLANMIŞ OLUP JÜRİMİZ TARAFINDAN UZMANLIK TEZİ  
OLARAK KABUL EDİLMİŞTİR.

TEZ JÜRİSİ BAŞKANI : PROF. DR. CUMALİ KINACI



ÜYE: BİLAL DİKMEN



ÜYE: DR. YAKUP KARAASLAN



ÜYE: HÜSEYİN AKBAŞ



ÜYE: MARUF ARAS



**T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI**  
**SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Bu belge ile bu uzmanlık tezinde tüm bilgileri akademik kurallara ve etik davranıő ilkelerine uygun olarak hazırlayıp sunduğumu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim. (01.02.2017)

Tezi Hazırlayan Uzman Yardımcısı

Ceren AKSU

01.02.2017

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında değerli görüşleriyle tezime önemli katkıda bulunan ve bana yol gösteren Sayın Hocam Prof. Dr. Ayşegül Tanık'a,

Engin bilgisini bizden esirgemeyen, çalışmam süresince de bana yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Ali Ertürk'e,

Çalışmalarımız kapsamında bizlere her türlü desteği sunan kıymetli Genel Müdürümüz Sayın Prof. Dr. Cumali Kınacı'ya,

Tezin hazırlanma sürecinde gösterdiği anlayıştan ötürü Sayın Genel Müdür Yardımcılarım Dr. Yakup Karaaslan ve Bilal Dikmen'e,

Bakanlıkta göreve başladığımdan beri birlikte çalıştığım; gerek bilgisini gerekse anlayışını çalışanlardan esirgemeyen Şube Müdürüm Sayın Zakir Turan'a,

Üç yıldır mesai arkadaşlığından öteye geçen dostluklarıyla birlikte huzurla ve keyifle çalıştığım şube arkadaşlarıma,

Tez hazırlama sürecinde karşılaştığım teknik aksaklığın üstesinden gelerek ilerlememi sağlayan Sena Çetinkaya'ya,

Tezimin kapsamının oluşturulmasından tamamlanmasına kadar her aşamada bana manevi desteğiyle ve bilgisiyle yol gösteren Necla Bilgin'e,

Her zaman olduğu gibi bu süreçte de desteklerini hissettiğim değerli arkadaşlarım Ozan Soytürk, Aylin Okuldaş Çetin, Hatice Duman, Alper Uğurluoğlu ve Gizem Kıymaz'a,

Sağladığı manevi destek ve motivasyonu benden esirgemeyen sevgili arkadaşım, dostum Işıl Kaya Mert'e,

Ve tüm zorlukları birlikte atlattığım canım aileme çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>x</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ULUSLARARASI VE ULUSAL MEVZUAT</b> .....	<b>3</b>
2.1 Uluslararası Mevzuat .....	3
2.1.1 Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi (91/271/EEC).....	4
2.1.2 Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Direktifi (91/676/EEC) .....	7
2.1.3 Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC).....	9
2.1.4 Diğer Direktifler .....	12
2.2 Ulusal Mevzuat .....	12
2.2.1 Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği .....	12
2.2.2 Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği .....	13
2.2.3 Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik.....	15
2.2.4 Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmelik.....	15
2.2.5 Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği .....	17
2.2.6 Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik.....	19
2.2.7 Durgun Yerüstü Kara İçsularının Ötrofikasyona Karşı Korunmasına İlişkin Tebliğ .....	20
2.2.8 Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği.....	22

2.2.9 Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği...	22
2.2.10 Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik.....	25
2.2.11 Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı Genelgesi .....	26
<b>3. HASSAS ALANLARDA YÖNETİM ESASLARI .....</b>	<b>27</b>
3.1 Ötrofikasyon ve Hassas Alanlar.....	27
3.2 Hassas Su Kütlelerinde Alınabilecek Önlemler.....	30
3.2.1 Korumaya Yönelik Önlemler .....	30
3.2.1.1 Kirliliğin Kaynakta Kontrolü .....	31
3.2.1.2 Hassas Su Kütlelerini Besleyen Kaynakların Kontrolü.....	31
3.2.1.3 Kirliliğin Toplanarak Farklı Bir Alana Yönlendirilmesi .....	31
3.2.1.4 Noktasal ve Yayılı Kaynakların Kontrol Altına Alınması.....	31
3.2.2. İyileştirmeye Yönelik Önlemler.....	33
3.2.2.1 Yapay Sirkülasyon .....	34
3.2.2.2 Hipolimnetik Havalandırma.....	36
3.2.2.3 Hipolimniyondan Su Çekimi .....	39
3.2.2.4 Göl Suyunun Değiştirilmesi.....	41
3.2.2.5 Kimyasal Madde İlavesi.....	41
3.2.2.6 Göl Dibinin Taranması.....	44
3.2.2.7 Biyomanipülasyon .....	47
3.2.2.8 Yüzer Sulak Alan .....	52
3.2.2.9 İyileştirme Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları .....	55
<b>4. ANALİTİK HİYERARŞİ METODU (AHP).....</b>	<b>59</b>
4.1 Analitik Hiyerarşi Metodu Nedir? .....	59
4.2 AHP'nin Aksiyomları .....	60
4.3 AHP'nin Karar Verme İlkeleri.....	61

4.4 AHP'nin Aşamaları.....	63
4.5 AHP'nin Kullanım Alanları .....	66
4.6 Expert Choice Yazılımı.....	67
<b>5. MANYAS GÖLÜ ALT HAVZASI.....</b>	<b>68</b>
5.1 Havzanın Genel Özellikleri.....	68
5.2 Arazi Kullanımı.....	69
5.3 Göl Su Bütçesi .....	70
5.4 Manyas Gölü Alt Havzası Kirletici Baskı Unsurları .....	72
5.5 Su Kalitesi Durumu.....	73
5.6 Kirlilik Yükü.....	78
5.7 Sınırlayıcı Besin Elementi .....	78
5.8 Manyas Gölü Alt Havzası Su Kalitesi Eylem Planı Eylemleri .....	79
<b>6. MANYAS GÖLÜ'NDE İYİLEŞTİRME YÖNTEMİNİN SEÇİMİ İÇİN AHP UYGULAMASI.....</b>	<b>80</b>
6.1 Kriterlerin Belirlenmesi .....	80
6.1.1 Teknolojik Kriterler .....	82
6.1.2 Ekonomik Kriterler .....	83
6.1.3 Çevresel ve Sosyal Kriterler.....	83
6.2 Karşılaştırma Matrisleri İle Kriterlerin Karşılaştırılması.....	84
6.3 Manyas Gölü İçin Alternatiflerin Karşılaştırılması.....	88
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>102</b>
7.1 Sonuçlar .....	102
7.2 Öneriler .....	104
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>107</b>
<b>EK-1: MANYAS GÖLÜ ALT HAVZASI SU KALİTESİ EYLEM PLANI EYLEMLERİ .....</b>	<b>114</b>



<b>EK-2: GÖL İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN KRİTERLER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>	<b>121</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>123</b>

## KISALTMALAR

<b>AB</b>	Avrupa Birliği
<b>AHP</b>	Analitik Hiyerarđi Metodu
<b>ÇŞB</b>	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
<b>ÇEM</b>	Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
<b>ÇKS</b>	Çevresel Kalite Standardı
<b>ÇKKV</b>	Çok Kriterli (Ölçütlü) Karar Verme
<b>DKMP</b>	Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü
<b>DSİ</b>	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
<b>GTHB</b>	Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı
<b>KASAD</b>	Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi
<b>N</b>	Azot
<b>ND</b>	Nitrat Direktifi
<b>OGM</b>	Orman Genel Müdürlüğü
<b>OSİB</b>	Orman ve Su İşleri Bakanlığı
<b>P</b>	Fosfor
<b>SÇD</b>	Su Çerçeve Direktifi
<b>SYGM</b>	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
<b>TN</b>	Toplam Azot
<b>TP</b>	Toplam Fosfor
<b>YSKY</b>	Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifinin Uygulama Takvimi.....	6
Tablo 2. Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifinin AB Ülkeleri İçin Uygulama Takvimi...	7
Tablo 3. Ötrofikasyonla İlgili Direktifler ve Gereklilikleri [1].....	11
Tablo 4. Göl, Gölet ve Baraj Göllerinde Trofik Sınıflandırma Sistemi Sınır Değerleri .....	19
Tablo 5. Sınırlayıcı Besin Elementi Oranları [8] .....	28
Tablo 6. İyileştirme Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları.....	56
Tablo 7. AHP Değerlendirme Ölçeği [54] .....	65
Tablo 8. İkili Karşılaştırma Matrisi.....	65
Tablo 9. Su Bütçesi Hesabı [69] .....	71
Tablo 10. Manyas Gölü SUKAİG002 Nolu İstasyona Ait Analiz Sonuçları .....	74
Tablo 11. Manyas Gölü SUGİG004 Nolu İstasyona Ait Analiz Sonuçları .....	76
Tablo 12. Manyas Gölü Trofik Durumu .....	78
Tablo 13. Alternatiflerin Karşılaştırılması Tablosu .....	89
Tablo 14. Teknolojik Kriterler Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması.....	91
Tablo 15. Performans Kriterleri Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması.....	93
Tablo 16. Yönetimsel Kriterler Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması.....	95
Tablo 17. Ekonomik Kriterler Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması .....	97
Tablo 18. Çevresel ve Sosyal Kriterler Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması.....	99
Tablo 19. Alternatiflerin Kriterler Bazında Tercih Edilebilirlik Oranları.....	101

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Kentsel Atıksu Arıtma Direktifine İlişkin Önemli Hususlar [1].....	5
Şekil 2. Önlem Geliştirme Süreci [1].....	30
Şekil 3. Su Kolonundaki Fosfor ve Gölün Fosfor Mirası Nedeniyle Zamansal İlişki	33
Şekil 4. Hipolimnetik Oksijenlendirme Uygulamaları [21].....	38
Şekil 5. Hipolimnyondan Su Çekimi [31].....	40
Şekil 6. Hidrolik (sol) ve Mekanik (sağ) Dip Tarama Uygulamaları [76].....	46
Şekil 7. Sığ ve Ötrofik Bir Göldeki İlişkiler Ağı .....	48
Şekil 8. Biyomanipülasyon-Besin Zinciri Etkisi [22].....	49
Şekil 9. Yüzer Sulak Alan Görünümü [53].....	54
Şekil 10. Çin'de Yüzer Sulak Alan Uygulaması [53].....	55
Şekil 11. AHP'nin Aşamaları [61].....	63
Şekil 12. AHP'nin Hiyerarşik Yapısı [63].....	64
Şekil 13. Manyas Gölü Arazi Kullanım Durumu [69].....	70
Şekil 14. Manyas Gölü Su Seviyesi Değişimi [69].....	71
Şekil 15. Manyas Gölü'ne Etki Eden Baskı Unsurları [69].....	73
Şekil 16. Manyas Gölü Kirlilik Yüğü [69].....	78
Şekil 17. En Uygun İyileştirme Yöntemi Seçimi Kriterleri.....	81
Şekil 18. Expert Choice Şematizasyonu .....	84
Şekil 19. Ana Kriterlerin Amaca Göre Karşılaştırılması .....	85
Şekil 20. Teknolojik Kriterlerin Karşılaştırılması.....	85
Şekil 21. Performans Kriterlerinin Karşılaştırılması.....	86
Şekil 22. Yönetimsel Kriterlerin Karşılaştırılması.....	86
Şekil 23. Ekonomik Kriterlerin Karşılaştırılması.....	87
Şekil 24. Çevresel Kriterlerin Karşılaştırılması .....	87
Şekil 25. Alternatiflerin Ana Kriterler Açısından Karşılaştırılması.....	90
Şekil 26. Alternatiflerin Teknolojik Alt Kriterler Açısından Karşılaştırılması.....	92
Şekil 27. Alternatiflerin Performans Kriterleri Açısından Karşılaştırılması.....	94
Şekil 28. Alternatiflerin Yönetimsel Kriterler Açısından Karşılaştırılması.....	96
Şekil 29. Alternatiflerin Ekonomik Kriterler Açısından Karşılaştırılması.....	98
Şekil 30. Alternatiflerin Çevresel ve Sosyal Kriterler Açısından Karşılaştırılması.	100

## ÖZET

Bu çalışmada, hassas alanlarda uygulanacak iyileştirme yöntemlerinin değerlendirilmesi ve bu yöntemlerden en uygun olanının belirlenmesi aşamasında karar vericilere yardımcı olacak bir yaklaşımın ortaya konulması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, hassas alanlara ilişkin ulusal ve uluslararası mevzuat incelenmiş, hassas su kütlelerinde korumaya ve iyileştirmeye yönelik yöntemler değerlendirilmiş, korumaya yönelik tedbirlerin alınmasına rağmen istenilen düzeyde iyileşmenin sağlanmadığı durumlarda uygulanabilecek yöntemler detaylı olarak anlatılmıştır. Hassas bir su kütlesi için en uygun iyileştirme yönteminin belirlenebilmesi konusunda bir “karar destek aracı” olan Analitik Hiyerarşi Metodu (AHP) hakkında bilgi verilmiştir.

Uygulama alanı olarak ülkemizin önemli sulak alanlarından biri olan Manyas Gölü seçilmiştir. Manyas Gölü'nün hipertrofik özellikleri de göz önünde bulundurularak bu gölde uygulanabilecek dört iyileştirme yöntemi (kimyasal madde ilavesi, göl dibinin taranması, biyomanipülasyon ve yüzer sulak alan) teknolojik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler çerçevesinde AHP'yi esas alan Expert Choice programından faydalanılarak karşılaştırılmıştır. Bahsekonu kriterler ve bu kriterlerin alt kriterleri dâhilindeki karşılaştırmalar neticesinde dört iyileştirme yönteminin tercih edilebilirlik oranları hesaplanmıştır. Manyas Gölü için karşılaştırılan dört yöntemden %34'lük oranla yüzer sulak alan yöntemi tercih edilebilirlik sıralamasında ilk sırada yer almaktadır. Yüzer sulak alanı sırasıyla %28,7'lik oranla biyomanipülasyon, %21,8'lik oranla kimyasal madde ilavesi ve %15,5'lik oranla göl dibinin taranması takip etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hassas Alan, Ötrofikasyon, Analitik Hiyerarşi Metodu, Göl İyileştirme Yöntemleri, Manyas Gölü

## ABSTRACT

In this study, it is aimed to evaluate the restoration methods applied in sensitive areas and to provide an approach which will help decision makers in determining the highly suitable methods.

Within the scope of this study, national and international legislation on sensitive areas have been examined and methods for conservation and improvement in sensitive water bodies have been evaluated and restoration methods that can be applied in cases where the desired level of improvement has not been provided despite taking protective measures have been thoroughly explained. Information was provided on the Analytical Hierarchy Process (AHP), which would be a "decision support tool" for determining the most appropriate method for a sensitive water body.

As a case study area, Lake Manyas was chosen representing one of the major wetlands of Turkey; bearing hypertrophic characteristics. Four restoration methods (chemical addition, dredging, biomanipulation and floating wetland) that can be applied to this lake were compared using the Expert Choice program, based on AHP, within the framework of technological, economic, environmental and social criteria. The preference ratios of the four methods were calculated on the basis of the mentioned criteria and their comparisons included regarding the sub criteria. Accordingly, the floating wetland method with 34% share among the four methods leads the first place in the order of preference. The floating wetland is followed by biomanipulation with 28.7%, chemical addition with 21.8%, and dredging with 15.5%.

**Keywords:** Sensitive Area, Eutrophication, Analytical Hierarchy Process, Lake Restoration Methods, Manyas Lake

## 1. GİRİŞ

Batı felsefesinin kurucusu sayılan Thales'in belirttiği gibi "*herşeyin başlangıcı/ilkesi sudur*". Su, hayatın devamlılığı için en değerli ve vazgeçilmez doğal kaynaktır. Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km<sup>3</sup>'tür. Bu miktarın %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak bulunurken, toplam suyun yalnızca %2,5 tatlı su olarak bulunmaktadır. Mevcut tatlı su kaynaklarının önemli bir bölümünün de kutuplarda ve yer altında bulunduğu göz önüne alındığında ulaşılabilir tatlı su miktarının ne denli az ve kıymetli olduğu anlaşılmaktadır.

Erişilebilir tatlı su kaynaklarının doğal kısıtının yanında kentleşme, ekonomik faaliyetler, nüfus artışı, iklim değişikliği vb. etmenler de su kaynakları üzerinde ciddi baskı oluşturmaktadır. Yağmur suları, kayaların aşınması, orman yangınları, erozyon vb. doğal olaylar ya da evsel ve endüstriyel kaynaklı atıksular, tarımsal alanlardan gelen drenaj suları zamanla su kaynağındaki ekolojik dengeyi bozmakta; su ortamına taşınan besin elementleri su kalitesinin bozulmasına ve aşırı alg üretimine yol açarak ötrofikasyona neden olmaktadır.

Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik'te hassas su kütlesi; "*Ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli tedbirler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek su kütlesi*" olarak tanımlanmıştır. Bu çerçeveden bakıldığında bir su kütesinin hassas olup olmama durumunu belirleyen etmen ötrofikasyondur.

Ötrofikasyon ekosistem üzerinde değişikliklere neden olurken aynı zamanda su kütesinden rekreasyonel ve ticari amaçlı, su temini vb. konularda yararlanılmasına da engel olmaktadır. Bu kapsamda, hassas alan yönetiminde de ötrofikasyon kontrolü önem taşımaktadır. Ötrofikasyonun önlenmesi maksadıyla alınabilecek önlemler "korumaya yönelik önlemler" ve "iyileştirmeye yönelik önlemler" olarak iki başlık altında değerlendirilebilir. Korumaya yönelik önlemler besin elementlerinin su kaynağına girişini kontrol altına almayı amaçlayan önlemlerdir. Ancak bazı su kütlelerinde besin elementleri tarafından beslenme engellense dahi bu su kütesinde istenilen trofik seviyeye ulaşmak mümkün olmamaktadır. Özellikle göllerde besin

elementleri girişi ile alg oluşumu doğrusal olmayan bir eğilim izlemektedir. Bu doğrusal olmayan ilişki, işsel besin yuıklemesinin de etkili olduğu sığ gollerde daha belirgindir. Bu nedenle korumaya yonelik onlemlerin yanında iyileştirmeye yonelik onlemlerin de alınması gereği ortaya çıkmaktadır.

RAMSAR alanı olan ve Kuş Cennetine ev sahipliği yapan Manyas Golu uikemizin onemli sulak alanlarındanır. Ancak hipertrofik seviyedeki bu gol, ciddi duzeyde su kalitesi problemiyle karşı karşıyadır. Gole besin elementleri girişi engellense dahi golin trofik seviyesinde istenilen duzeyde iyileşme gorulmesi ihtimali oldukca duşuktur. Bu tez ęalıřmasında da gol iyileştirme yontemleri değerlendirilmiş ve Manyas Golu için kullanılabilecek en uygun yontem araştırılmıştır. Bu araştırma ve karar verme surecinin analitik bir yapıya oturtulması maksadıyla da Analitik Hiyerarşi Metodu (AHP) kullanılmıştır. Birden ęok kriter içeren karmaşık problemlerin ęozumunde kullanılan bir karar verme yontemi olan AHP ile Manyas Golu için uygulanabilecek iyileştirme yontemleri teknolojik, ekonomik, ęevresel ve sosyal kriterler ışığında değerlendirilmiştir.

Bu tez ęalıřmasının, başta hassas alanların yonetimi olmak uzere, karar verme sureclerinde değerlendirmelerin hem karşılaştırmalı hem de butuncul bir ęeręevde yapılması ve en uygun seğeneğin bu şekilde tespitine yonelik bir yol goşterici olacağı duşunulmektedir.



## 2. ULUSLARARASI VE ULUSAL MEVZUAT

Sularda miktar ve kalite açısından yaşanan problemlerin önem kazanmasıyla beraber ülkeler su yönetimi konusunda çalışmalara yönelmiş ve bunu destekleyici mevzuat oluşturmuşlardır. Bu bölümde, tez çalışması kapsamında hassas alanların belirlenmesi ve yönetimi konusunda yararlanılan güncel ulusal ve uluslararası mevzuata ilişkin bilgiler özetlenmiştir.

### 2.1 Uluslararası Mevzuat

Nüfus artışı, sanayi, büyüme vb. faktörler küresel ölçekte çevresel tehditlerin artmasına neden olmaktadır. Bu çevresel tehditlerin içerisinde en dikkat çeken alanlardan biri “su yönetimidir”. Bu doğrultuda, Avrupa Birliği’nde (AB) su kalitesinin artırılması, denizlerdeki kirliliğin önlenmesi, sınırötesi sorunlarla bölgesel ve uluslararası düzeyde mücadele edilmesi gibi pek çok alanda kapsamlı bir su politikası oluşturulmuştur [1].

Bahse konu politikaların tarihsel gelişimine bakıldığında, 2000 yılı öncesine kadar su kaynaklarının yönetiminde karmaşık bir yapının varlığı görülmektedir. AB üyesi ülkeler çevre ve su alanlarında birbirinden farklılık gösteren yaklaşımlara sahiptir. Bu kapsamda, AB su politikasının gelişimi üç dönemde incelenebilir:

#### 1. Dönem: 1970-1980’li yıllar

Bu dönemde suya ilişkin ana tema “halk sağlığı”dır. Suyun içme suyu olarak kullanımı, yüzme suyu kalitesi ile su ürünleri konusundaki su kalitesine ilişkin düzenlemeler bu dönemde gerçekleştirilmiştir [2].

#### 2. Dönem: 1990’lı yıllar

Sularda “kirliliğin azaltılması” konusu bu dönemde gündeme gelmiştir. Su kaynakları ile ilgili en önemli yasal düzenlemelerden olan Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi (91/271/EEC) ve Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Hakkında Direktif (91/676/EEC) bu dönemde yayımlanmıştır [2].

### 3. Dönem: 2000’li yıllar ve sonrası

“Bütünleşik yönetim ve sürdürülebilir kullanım” bu döneme ilişkin ana temadır. Yasal düzenlemeler ise Su Çerçeve Direktifi (SÇD) (2000/60/EC) ve bu temel direktifle içme ve yüzme suyu direktiflerinin entegrasyonu olarak öngörülmektedir. Daha önceki direktiflerin aksine tüm su kaynaklarını kapsayan SÇD, su kaynaklarının korunmasına bütünleşik yaklaşım getirmekte, kaynak ıslahı ve sürdürülebilir kullanım olanağı sağlamaktadır. Bunun yanında SÇD’nin geniş ve uzun vadeli etkilere sahip olması beklenmektedir [2].

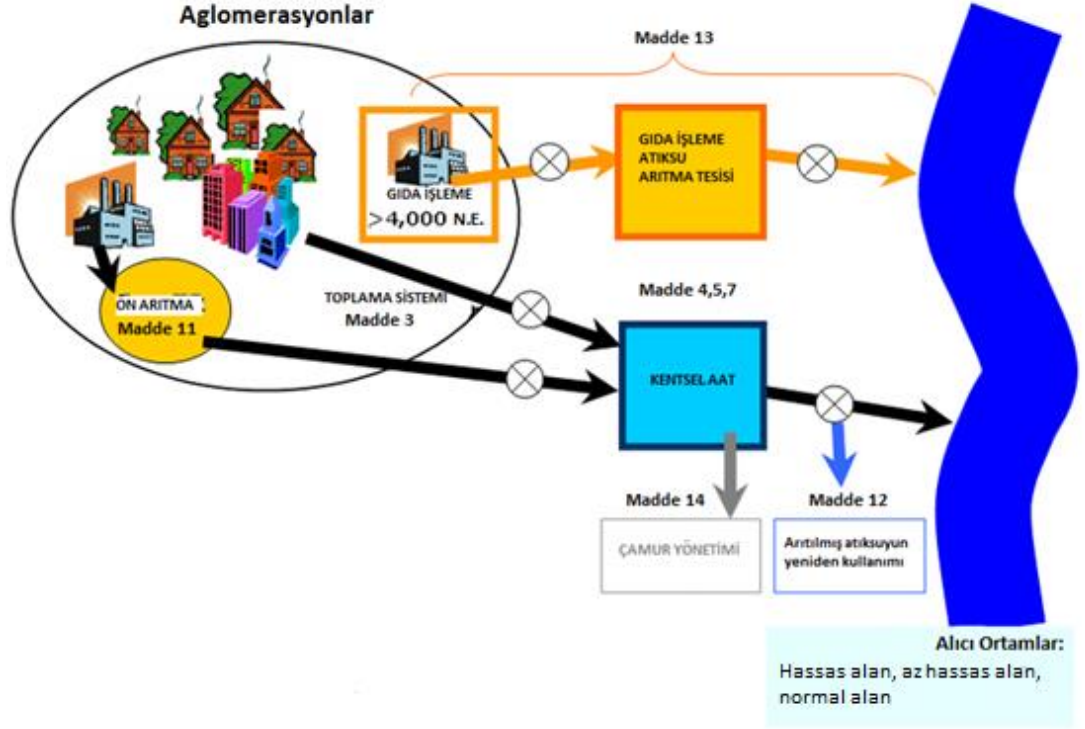
#### 2.1.1 Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi (91/271/EEC)

Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi (91/271/EEC) 1991 senesinde kabul edilmiştir. Direktif kentsel ve özellikle belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklı atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjını kapsamakta olup, bu deşarjların olumsuz etkilerinden çevreyi korumayı amaçlamaktadır. Direktifin önemli noktalarından biri “hassas alan” kavramının tanımlanmış olmasıdır. Direktife göre hassas alan; “*Ötrofik olduğu belirlenen ya da gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek tatlısular, haliçler ve kıyı suları, içme suyu temini amaçlanan 50 mg/L nitrat içeren ya da içerme ihtimali bulunan yerüstü suları, başka direktifler ile uyum sağlanabilmesi için daha ileri arıtma gereken alanlar*” olarak tanımlanmıştır. Zira Direktifin kabulünden 7 yıl sonra, 1998 senesinde yayımlanan bir değişiklik ile ötrofikasyona maruz kalan hassas alanlara, kentsel atıksu arıtma tesislerinden yapılacak deşarjlar ile ilgili uyulması gereken kurallara açıklık getirilmesi amaçlanmıştır.

Bunun yanında direktifte “az hassas alan” tanımı da yer almaktadır. Direktife göre az hassas alan “*Herhangi bir atıksu deşarjında, morfolojik, hidrolojik veya spesifik hidrolik koşullarda olumsuz bir çevresel etki yaratmayan deniz suları*” olarak tanımlanmıştır.

Direktif kapsamında üye ülkelerin 31 Aralık 1993’e kadar hassas ve az hassas alanları belirleme zorunluluğu bulunmaktadır. Hassas alanların deşarj standartlarından

daha sıkı standartlar uygulayan ülkelerde alanların tamamı hassas alan sayılmaktadır. Direktife ilişkin önemli hususlar Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kentsel Atıksu Arıtma Direktifine İlişkin Önemli Hususlar [1]

### **Direktifin Temel Gereklilikleri**

- Eşdeğer nüfusu 2.000’den fazla olan tüm yerleşimler için kentsel atıksu toplama sistemlerinin (kanalizasyon) ve arıtma tesislerinin kurulması,
- Hassas olarak tanımlanan ve eşdeğer nüfusu 2.000’den fazla olan yerleşimlerde tüm deşarjlar için ikincil arıtmanın; eşdeğer nüfusu 10.000’den fazla olan yerleşimlerden yapılan deşarjlar için ise ileri arıtmanın uygulanması,
- Tüm kentsel atıksu ve direktifte değinilen sektörlere ait endüstriyel atıksu deşarjları için ön şartlar ve/veya özel izin gerekliliği,
- Arıtma çamurlarının bertarafının ve yeniden kullanımının sağlanması, uygun olduğu takdirde arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımının sağlanması,
- Arıtma tesisleri performansının ve alıcı ortamların izlenmesidir [1].

## Direktifin Uygulanması

Direktifin uygulanmasına ilişkin uygulama takvimi Tablo 1’de, AB üyesi ülkeler için detaylı uygulama takvimi ise Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifinin Uygulama Takvimi

Tarih	Uygulama
<b>30 Haziran 1993</b>	Direktifin uyumlaştırılması Hassas alanların dört senede bir güncellenmek üzere tanımlanması Az hassas alanların dört senede bir güncellenmek üzere - eğer gerek duyuluyorsa - tanımlanması
<b>31 Aralık 1993</b>	Endüstriyel atıksuların kanalizasyona ve kentsel atıksu arıtma tesislerine deşarjından önce belirli şartları sağlamaları Gıda işleme endüstrileri kaynaklı atıksuların yüzey sularına doğrudan deşarjından önce belirli şartları sağlamaları Direktif uygulama programının geliştirilmesi
<b>30 Haziran 1994</b>	Uygulama programlarının Avrupa Komisyonu’na iletilmesi ve değişiklik olması durumunda her iki senede bir 30 Haziran tarihinde güncellenmesi
<b>30 Haziran 1995</b>	Kentsel atıksu çamurlarının toplanması, arıtılması ve bertarafı durum tespit raporlarının yayımlanması ve iki senede bir Komisyona iletilmesi
<b>31 Aralık 1997</b>	Tanımlanan hassas alanlar ve havzaları için ilk gözden geçirme ve güncelleme
<b>31 Aralık 1998</b>	Eşdeğer nüfusu 10.000’in üzerinde olan ve hassas alanlar ile havzalarına deşarj yapan yerleşim birimlerinde kanalizasyon sistemlerinin kurulmuş olması Kentsel atıksu arıtma tesisleri çamurlarının bertarafının kayıt altına alınması ve izne tabi olması Yüzey sularına çamur bertarafının yasaklanması
<b>31 Aralık 2000</b>	Eşdeğer nüfusu 15.000’in üzerinde olan ve normal alanlara deşarj yapan yerleşim birimlerinde kanalizasyon bulunması Eşdeğer nüfusu 15.000’in üzerinde olan yerleşim birimlerinin tamamında ikincil arıtma bulunması Endüstriyel biyoçözünür atıksulardan 4.000 eşdeğer nüfus üzerinde olanların yüzey sularına doğrudan deşarjının izne tabi olması
<b>31 Aralık 2005</b>	Eşdeğer nüfusu 2.000 ile 15.000 arası olan yerleşim birimlerinin bütün deşarjlarının kanalizasyon ile toplanması Eşdeğer nüfusu 10.000 ile 15.000 arası olan yerleşim birimlerinin bütün deşarjlarının ikincil arıtmaya tabi tutulması Eşdeğer nüfusu 2.000 ile 10.000 arası olan yerleşim birimlerinden tatlısulara ve içsulara yapılan deşarjların ikincil arıtmaya tabi olması Eşdeğer nüfusu 2.000’in altında olan yerleşim birimlerinden tatlı sulara ve içsulara yapılan deşarjların gerekli arıtmaya tabi tutulması Eşdeğer nüfusu 10.000’in altında olan yerleşim birimlerinden kıyı sularına yapılan deşarjların gerekli arıtmaya tabi tutulması Hassas ve az hassas alanların tanımlanmasının gözden geçirilmesi

Tablo 2. Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifinin AB Ülkeleri İçin Uygulama Takvimi

Nüfus Eşdeğeri	0-2000	2.000-10.000	10.000-15.000	15.000-150.000	>150.000
<b>Hassas Alanlar</b>	Toplama varsa 31.12.2005'e kadar uygun arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2005'e kadar ikincil arıtma	Toplama zorunlu 31.12.1998'e kadar daha ileri arıtma	Toplama zorunlu 31.12.1998'e kadar daha ileri arıtma	Toplama zorunlu 31.12.1998'e kadar daha ileri arıtma
<b>Normal Alanlar</b>	Toplama varsa 31.12.2005'e kadar uygun arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2005'e kadar ikincil arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2005'e kadar ikincil arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2000'e kadar ikincil arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2000'e kadar ikincil arıtma
<b>Az Hassas Alanlar</b>	Toplama varsa 31.12.2005'e kadar uygun arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2005'e kadar ikincil arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2005'e kadar birincil veya ikincil arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2000'e kadar birincil veya ikincil arıtma	Toplama zorunlu 31.12.2000'e kadar ikincil arıtma

**Not:**

- Uygun arıtma: direktifin getirdiği standartlara uygun toplama (kanalizasyon) ve arıtma prosesi
- İkincil arıtma: biyolojik arıtma prosesi veya eşdeğeri
- Daha ileri arıtma: karbonun yanında azot ve fosforun da giderildiği arıtma prosesi
- Birincil arıtma: BOİ<sub>5</sub>'in en az %20, askıda katı maddelerin ise en az %50 oranında giderildiği fiziksel ve/veya kimyasal arıtma prosesi

### 2.1.2 Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Direktifi (91/676/EEC)

Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Direktifi (91/676/EEC) 1991 yılında kabul edilmiştir. Direktif; SÇD'nin temel bileşenlerinden biri olup, tarımsal kaynaklı baskılara karşı suların korunmasındaki en önemli araçtır.

Direktif kapsamında kirli ya da kirlenme riski altındaki sular şu şekilde tanımlanmaktadır:

- 50 mg/L üzeri nitrat içeren ya da tedbir alınmazsa içerebilecek yerüstü suları, özellikle içme suyu maksadıyla kullanılan/kullanılacak sular,
- 50 mg/L üzeri nitrat içeren ya da tedbir alınmazsa içerebilecek yeraltı suları,
- Ötrofik olan ya da tedbir alınmazsa ötrofik olabilecek tatlısu kaynakları, haliçler, kıyı suları ve denizel sular.

Direktife göre yukarıda sıralanan kirli ya da kirlenme riski altındaki sulara drene olan ve kirliliğin oluşmasına etkisi olan alanlar “Nitrata Hassas Bölge” olarak tanımlanmalıdır.

Direktifin temel gereklilikleri şu şekildedir:

- Direktif kapsamında kirli ya da tedbir alınmazsa kirlenebilecek suların belirlenmesi,
- İyi tarım uygulamaları kodunun oluşturulması,
- Nitrata hassas bölgelerde eylem planlarının oluşturulması,
- Ulusal izleme ağı ve raporlama sisteminin oluşturulması [1, 4].

### **İyi Tarım Uygulamaları Kodunun Oluşturulması**

Gübrenin uygulanması, depolanması, araziye yayılırken hangi teknolojinin kullanılacağı ve bitki türlerine göre uygulama normlarını düzenleyen iyi tarım uygulamaları kodunun nitrata hassas bölgelerde uygulanması zorunlu olup diğer alanlarda da çiftçiler tarafından gönüllü olarak uygulanmaktadır. İyi tarım uygulamaları kodu:

- Bitkinin yalnızca bitki besin maddesine ihtiyaç duyduğu zaman azot almasına izin vermek için tarlaya gübre atılabilecek dönemleri sınırlayan önlemleri,
- Gübre uygulaması için koşulları sınırlandıran önlemleri (aşırı eğimli araziler, donmuş veya karla kaplı araziler, nehir yollarının kıyıları),
- Hayvan gübresi için minimum depolama kapasitesinin gerekliliğini,
- Nemli mevsimlerde sızıntıyı sınırlandırmak için, ekim nöbetini, kış için örtücü bitkileri, ara ürünleri vb., kapsamalıdır [1].

### **Eylem Planlarının/Programlarının Oluşturulması**

Nitrata hassas bölgelerde eylem planları ya da programlarının oluşturulması zorunludur. Bu planlar aşağıdaki unsurları içermelidir:

- Nitrata hassas bölgelerde zorunlu olan iyi tarım uygulamaları kodunda yer alan tedbirler,

- Gübre kullanımının sınırlandırılması (mineral ya da organik), bitkinin gübre ihtiyacının göz önünde bulundurulması, bütün azot girdileri ve toprağın azot girdisinin dikkate alınması, uygulanabilecek en fazla hayvan gübresi (yıllık hektar başına 170 kg azot) gibi diğer tedbirler.

### **İzleme ve Raporlamanın Gerçekleştirilmesi**

Üye ülkelerin her dört yılda bir aşağıdaki listede yer alan unsurları raporlamaları gerekmektedir:

- Yerüstü ve yeraltı sularında nitrat konsantrasyonu,
- Yerüstü sularında ötrofikasyon durumu,
- Su kalitesi ve tarımsal uygulamalar konusundaki programların etki analizi,
- Nitrata hassas bölgeler ve eylem programlarının revizyonu,
- Su kalitesi konusundaki gelecek eğilimleri [3].

#### **2.1.3 Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC)**

Su Çerçeve Direktifi (SÇD) (2000/60/EC) sürdürülebilir su yönetimi konusunda etkin bir çerçeve oluşturmaktadır. Direktifin amacı su kütlelerinde bozulmanın önüne geçilmesi, sürdürülebilir su tüketiminin sağlanması ve sucul yaşamın geliştirilmesi ve korunmasıdır.

AB mevzuatında “hassas alan” kavramı ötrofikasyonla ilişkilendirilmektedir. SÇD’de su kütleleri tipe özgü referans koşullara göre sınıflandırılmaktadır. Bu durumda ötrofikasyon süreci birincil üretimden kaynaklı bir durum ya da sadece bir trofik seviye olmanın ötesinde antropojenik faaliyetler nedeniyle sucul ortamdaki bozulma olarak görülmektedir.

Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi (KASAD) ve Nitrat Direktifi (ND) ötrofikasyon değerlendirmesini bir gereklilik olarak açıkça ortaya koymaktadır (ilk direktif “hassas alanları”, yani hassas su kütlelerini belirleme uygulamasıyla; ikincisi ise “kirlenmiş suları” belirleme ve ardından “nitrate hassas bölge”leri tespit etme uygulamasıyla). Söz konusu bu direktiflerde “ötrofikasyon” terimi açık bir şekilde

belirtilmekte olup KASAD’da hassas alanların ve arıtma koşullarına uygunluğunun belirlenmesi, ND’de ise nitrata hassas bölgelerin tespit edilip eylem programlarının uygulanması ile iki direktifin de ötrofikasyonla mücadele kapsamında önlemler ortaya koyduğu görülmektedir. SÇD ise ötrofikasyonun ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi için bir temel sağlamakta ve daha önceki AB mevzuatının ortaya koyduğu gerekleri de tamamen dikkate alarak suya besin elementi girdisinin (ötrofikasyon) yönetimi için daha tutarlı ve bütüncül bir yaklaşım ortaya koymaktadır. SÇD ayrıca yerüstü su kütlelerinin ekolojik durumunu sınıflandırırken ötrofikasyonun değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir [1].

SÇD’de hassas alan kavramı, Madde 6 ve Ek-IV’de belirtilen “koruma alanları” ile ilgili hükümlerde yer almaktadır. Direktifte belirtilen koruma alanları:

- İnsani kullanım amaçlı su temini için tahsis edilen alanlar,
- Ekonomik bakımdan önemli sucul türlerin korunması için tahsis edilen alanlar,
- 76/160/EEC sayılı Yüzme Suyu Direktifi uyarınca yüzme suyu olarak tahsis edilen alanlar dâhil, rekreasyon alanları olarak tahsis edilen su kütleleri,
- KASAD ile belirlenen hassas su alanları ve ND ile belirlenen nitrata hassas bölgeler dâhil olmak üzere besin elementleri açısından hassas alanlar,
- 92/43/EEC sayılı Habitat Direktifi ve 79/409/EEC sayılı Kuş Direktifi altında tahsis edilen Natura 2000 alanları dâhil olmak üzere korumanın özellikle su durumunu koruma ve iyileştirmeye dayandığı habitatlar ya da türlerin korunması için tahsis edilen alanlar,

olarak tanımlanmaktadır [1].

Diğer taraftan SÇD’nin 10. Maddesinde belirtilen “Bütüncül Yaklaşım İlkesi” çerçevesinde, üye ülkelerin ilgili direktiflerin gerekliliklerini de karşılayacak şekilde noktasal ve yayılı kaynaklı kirliliğin kontrolü için uygulamalar tanımlanmaktadır. Üye ülkeler yerüstü sularına yapılan bütün deşarjların bu maddede belirtilen bütüncül yaklaşıma uygun olarak kontrol edilmesini sağlamalıdır.



Üye ülkeler aynı zamanda;

- Mevcut en iyi tekniklere dayalı emisyon kontrollerinin yapılmasını,
  - İlgili emisyon sınır değerlerinin oluşturulmasını,
  - Yayılı kaynaklı kirliliğin bulunması halinde kontroller dâhil olmak üzere en iyi çevresel uygulamaların gerçekleştirilmesini,
- sağlamakla yükümlüdürler.

Bunların dışında direktife göre; besin elementi zenginleşmesi nedeniyle risk altında olan su kütlelerini izlemek amacıyla, üye ülkeler besin elementi zenginleşmesinin etkilerine en duyarlı biyolojik kalite unsuru veya unsurlarının göstergesi olan parametrelerin yanı sıra su kütlesine önemli miktarlarda deşarj edilen besin elementleri de izlemelidir. İzleme, ekolojik durum sınıflandırmasında yeterli bir düzeyde güvenilirlik ve kesinliğe ulaşabilmeyi sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Ötrofikasyonla ilgili minimum izleme sıklıkları da direktifte belirlenmiştir.

Direktif hedeflerine ulaşamama riski taşıyan su kütlelerinde operasyonel izleme yapılmalıdır. Operasyonel izlemeyle elde edilen izleme verileri, söz konusu su kütlelerinin durumunu belirlemek ve yönetim önlemleri sonucu durumlarında meydana gelen değişimleri değerlendirmek için kullanılmalıdır. Hassas alan veya ötrofikasyonla ilgili direktiflerde yer alan değerlendirme ve izlemeye yönelik koşullar Tablo 3’de genel hatlarıyla özetlenmiştir.

Tablo 3. Ötrofikasyonla İlgili Direktifler ve Gereklilikleri [1]

Direktif	Ötrofikasyon Değerlendirme Gereklileri	Ötrofikasyonla ilgili Minimum İzleme Gereklileri
<b>Su Çerçeve Direktifi</b>	Besin elementi zenginleşmesinin biyolojik ve fiziko-kimyasal kalite unsurlarını etkilediği Ekolojik Durum sınıflaması içinde yer almıştır.	-Fitoplankton (6 ay), sucul flora (3 yıl), -Makro omurgasızlar (3 yıl), balıklar (3 yıl) -Hidromorfolojik kalite unsurları (Hidroloji sürekli - 1 ay; diğerleri 6 yıl) -Fiziko-kimyasal kalite unsurları (3 ay)
<b>Kentsel Atık Su Arıtma Direktifi</b>	Ötrofikasyondan etkilenmiş su kütleleri veya önlem alınmazsa yakın gelecekte ötrofikasyondan etkilenebilecek su kütleleri uyarınca hassas alanları belirlemek	En az dört yılda bir mevcut hassas alanlar gözden geçirilir ve yeni alanlar tayin edilir.

<b>Nitrat Direktifi</b>	“Kirlenmiş suları” belirlemek ve bu suların havzasını nitrattan zarar görebilir bölgeler olarak tayin etmek	Yerüstü ve yeraltı suyu nitrat konsantrasyonunu belirlemek için bir yıllık süre boyunca izlenmelidir. Bu izleme programı en az dört yılda bir tekrarlanmalıdır. Yerüstü suları, halıçlar ve kıyı sularının ötrofikasyondan etkilenme durumu dört yılda bir gözden geçirilmelidir.
-------------------------	---	---

#### 2.1.4 Diğer Direktifler

Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi, Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Direktifi ve Su Çerçeve Direktifi haricindeki diğer direktiflerde hassas alanlar ve ötrofikasyona ilişkin doğrudan hükümler bulunmamakla beraber bunları etkileyen hususlara yer verilmiştir. Yeraltı Suyu Direktifi’nde (80/68/EEC) pestisitler ve nitrat için kalite standartları belirlenmiş olup; yeraltı suyunun kimyasal olarak izlenmesine ilişkin temel parametreler (oksijen içeriği, pH, geçirgenlik, nitrat ve amonyak) yer almaktadır. Tehlikeli Maddeler Direktifi’nde (76/464/EEC) fosfor, amonyak ve nitrat için kalite hedeflerini belirleme gerekliliği yer almaktadır. Habitat Direktifi’nde (92/43/EEC) ötrofikasyonun değerlendirilmesine ilişkin metodlar tanımlanmamakla beraber korunan türler ve habitatlar için ötrofikasyon önemli bir husus olarak belirtilmektedir. Zira besin zenginleşmesi neticesinde oluşan ötrofikasyon sucul ekosistemler için risk oluşturmaktadır [4].

## 2.2 Ulusal Mevzuat

### 2.2.1 Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği 08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı, kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıksu deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevreyi korumaktır. Yönetmelik, kanalizasyon sistemlerine boşaltılan kentsel ve belirli endüstriyel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı, atıksu deşarjının izlenmesi, raporlanması ve denetlenmesi ile ilgili teknik ve idari esasları kapsamaktadır.

Yönetmelikte az hassas su alanı “*Morfoloji, hidroloji ya da özel hidrolik şartlara göre atıksu deşarjının çevreyi olumsuz yönde etkilemediği deniz, haliç ve lagün gibi doğal su ortamları*” olarak tanımlanmıştır. Hassas su alanı ise “*Ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek doğal tatlı su gölleri, diğer tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı suları, önlem alınmaması halinde yüksek nitrat konsantrasyonları içerebilecek içme suyu temini amaçlanan yüzeysel tatlı sular ve daha ileri arıtma gerektiren alanlar*” olarak ifade edilmiştir.

Hassas ve az hassas su alanlarının belirlenmesine ilişkin kriterler yönetmeliğin Ek 1’inde yer almaktadır. Az hassas su alanları belirlenirken, deşarj edilen kirlilik yüklerinin, önemli çevre etkilerine neden olabilecek komşu bölgelere taşınabileceği riskinin de dikkate alınacağı belirtilmiştir. Yönetmelikte hassas alanlara ilişkin en önemli esaslar şunlardır:

- Mevcut arıtma derecesinin yetersiz kalması durumunda çevrenin olumsuz yönde etkilenmesinin önlenmesi için, bu yönetmelik hükümleri gereğince uygun görülen yerlerde kentsel atıksuyun ikincil arıtmasının yapılması,
- Az hassas su alanlarında çevrenin olumsuz yönde etkilenmemesi durumunda birincil arıtma, hassas su alanlarında ise ileri arıtma yönteminin kullanılması.

Yönetmelik kapsamında hassas ve az hassas su alanlarının belirlenmesindeki amaç kentsel atıksuyun deşarj edildiği alıcı ortamın hassasiyetine uygun seviyede arıtım teknolojisinin belirlenebilmesidir. Yönetmelik kapsamında hassas ve az hassas su alanlarının dört yılda bir güncellenmesi gerekmektedir. Hassas ve az hassas su alanlarına yapılacak deşarjlarda uyulması gereken limitler yönetmelikte Tablo 4 ve Tablo 5’te yer almaktadır.

### **2.2.2 Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği**

27.06.2009 tarihli ve 27271 sayılı Resmî Gazete’de yayımlananarak yürürlüğe giren tebliğin amacı Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği uyarınca hassas su alanları

ve az hassas su alanlarının tespiti, izlenmesi ile bu alanlara yapılacak kentsel atıksu deşarjlarının tabi olacağı usul ve esasları belirlemektir.

Tebliğde;

- Az hassas su alanı: Morfoloji, hidroloji ya da özel hidrolik şartlara göre atıksu deşarjının çevreyi olumsuz yönde etkilemediği deniz, haliç ve lagün gibi kıyı su ortamları ile hassas su alanları haricindeki kıyı sular,
- Hassas su alanı: Ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek doğal tatlı su gölleri, diğer tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı suları, önlem alınmaması halinde yüksek nitrat konsantrasyonları içerebilecek içme suyu temini amaçlanan yüzeysel tatlı sular ve diğer sebeplerle daha ileri arıtma gerektiren alanlar,
- Gri alanlar: Morfolojik ve su kalitesi özelliklerine göre kentsel atık su girdilerinin ötrifikasyon riski oluşturabileceği düşünülen ve/veya potansiyel olarak ötrifikasyon riski taşıdığı tespit edilen ancak veri yetersizliği olan izlenmesi gereken haliçler ve kıyı sular,
- Normal su alanı: Hassas su alanları dışında kalan kıta içi su ortamları,
- Ötrofikasyon: Suların, besi maddelerince özellikle azot ve/veya fosfor bileşiklerince, alg ve daha yüksek yapıları organizmaların üremesini hızlandıracak, böylece sudaki canlıların dengesini bozacak ve su kalitesinde istenmeyen değişimlere yol açacak şekilde zenginleşmesi,

olarak tanımlanmıştır.

Belirlenen az hassas, hassas, normal ve gri alanların 4 yılda bir izleme sonuçlarına göre güncelleneceği ifade edilmektedir. İç sularda hassas ve normal alanların belirlenmesinde Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinin Ek 1'indeki esasların dikkate alınacağı belirtilmiştir. Tebliğ kapsamında Konya Kapalı Havzası, Burdur Kapalı Havzası, Van Gölü Kapalı Havzası, Akarçay Kapalı Havzası ve Ilısu Baraj Havzası hassas alan olarak belirlenmiştir. İçme ve kullanma suyu temin edilen ya da temini amacıyla yatırım programına alınmış olan yüzeysel su kaynaklarının havzaları da hassas alan olarak belirlenmiştir.

### **2.2.3 Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik**

Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik 07.04.2012 tarih ve 28257 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı, iyi durumda olan yeraltı sularının mevcut durumunun korunması, yeraltı sularının kirlenmesinin ve bozulmasının önlenmesi ve bu suların iyileştirilmesi için gerekli esasları belirlemektir.

Yönetmelik kapsamında şu hususlar yer almaktadır:

- Yeraltı suyu kütlelerinin miktar ve kalitesinin değerlendirilmesi,
- Yeraltı suyu kimyasal durumunun değerlendirilmesi ve eşik değerlerin belirlenmesi,
- Yeraltı suyu miktar durumunun değerlendirilmesi için kriterler,
- Yeraltı sularının izlenmesi,
- Yeraltı suyu kimyasal durum değerlendirmesi için metodoloji,
- Yeraltı suyunun artan kimyasal durum bozulmasının ve iyileştirmeye başlama noktasının tespit edilmesi,
- Tedbirler programı,
- Yeraltı suyu koruma alanları.

Yönetmelikte hassas alanlara ilişkin açık bir husus yer almamakla beraber, 5. Maddenin 6. fıkrasında “*Yeraltı sularının tarımsal faaliyetler sonucunda kirlenmiş olduğunun tespiti durumunda, 18/2/2004 tarihli ve 25377 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği hükümlerine göre tedbirler alınır ve uygulanır*” ifadesi yer almaktadır. Bunun yanında nitrat için 50 mg/L sınırı belirlenmiştir.

### **2.2.4 Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmelik**

Su Havzalarının Korunması ve Yönetim Planlarının Hazırlanması Hakkında Yönetmelik 17.10.2012 tarih ve 28444 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak

yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı, yüzeysel sular ve yeraltı sularının bütüncül bir yaklaşımla miktar, fiziksel, kimyasal ve ekolojik kalite açısından korunması ve su havzaları yönetim planlarının hazırlanmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Yönetmelik kapsamında su kaynaklarının havza bazında sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesi, iyileştirilmesi, korunması ve kullanılmasının sağlanmasına ilişkin esaslar belirtilmiştir.

Yönetmelikte belirtilen “Havza Yönetim Planları” SÇD’de belirtilen “Nehir Havzası Yönetim Planları” ile uyumluluk göstermektedir. Yönetmeliğin 9. Maddesinde hassas alanlara ilişkin olarak aşağıdaki hususlar belirtilmiştir:

Yetkili idareler, koruma alanlarının belirlenmesi, tanımlanması, harita üzerinde gösterilmesi ve bu alanlara ait sicillerin düzenlenmesi işlemlerini;

- Günde ortalama 10 m<sup>3</sup> fazla veya 50’den fazla kişiye hizmet veren insani tüketim maksatlı suyu temin eden bütün yüzey suyu kütleleri ve havzaların hidrojeolojik ve su kullanım özellikleri dikkate alınarak belirlenecek yeraltı suyu kütlelerini,
- Ekonomik bakımdan önemli sucul türlerin korunması için tahsis edilen alanları,
- Yüzme suyu olarak tahsis edilen alanlar dâhil, eğlenme-dinlenme maksadıyla tahsis edilen su kütlelerini,
- 08.1.2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği’nde tanımlanan hassas su alanlarını,
- 18.02.2004 tarihli ve 25377 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği kapsamında Nitrata Hassas Bölgeleri,
- Sucul habitatlar ya da sucul türlerin korunması maksadıyla su durumunun korunması ve iyileştirilmesi gereken alanları,
- Diğer koruma alanlarını,

dikkate alarak yapar.

### 2.2.5 Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği

Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği 30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı yerüstü suları ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi, bu suların kullanım maksatlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde koruma kullanma dengesi de gözetilerek ortaya konulması, korunması ve iyi su durumuna ulaşılması için alınacak tedbirlere yönelik usul ve esasların belirlenmesidir.

Yönetmelik kapsamında yerüstü su kalitesinin korunmasına dair ilke ve esaslar şunlardır:

- Yerüstü suların kalitesini ve ekolojik özelliklerini korumak, iyileştirmek, mevcut kalitesinden geriye gidişini önlemek ve çevresel hedeflere ulaşmak esastır.
- Yerüstü suların biyolojik, fiziko-kimyasal ve kimyasal açıdan kalitelerinin korunması maksadıyla her türlü atık ve artık, mevcut su kalite durumunu ve ekolojisini bozacak şekilde alıcı su ortamına bırakılamaz.
- Ekosistemin bütüncül korunması bakımından, yerüstü sular ile birlikte bu sularla etkileşim içerisinde olan karasal alanlarda faaliyet gösteren sanayi tesislerinde, bütünlük kirlilik önleme ve kontrol, temiz üretim, mevcut en iyi teknikler ve en iyi çevresel uygulamalara öncelik verilmesi esastır.
- Atıksuların alıcı ortama deşarj standartlarının, alıcı ortamdaki çevresel kalite standartları dikkate alınarak belirlenmesi esastır.
- Hassas su alanlarına yapılacak deşarjlarda, bu alanlara özel olarak belirlenmiş çevresel hedeflere uyulması esastır.
- Yayılı kirletici girişinin azaltılması için iyi tarım uygulamaları kodlarında yer alan önlem ve tedbirlerin alınması esastır.

Yönetmelikte hassas bölge “*ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli tedbirler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek tabii tatlı su göllerini, diğer tatlı su kaynaklarını, haliçler ve kıyı sularını etkileyen bölgeler*”, hassas su alanı ise “*ötrofik*

*olduğu belirlenen veya gerekli tedbirler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek su kaynakları, kıyı ve geçiş suları ile tedbir alınmaması halinde yüksek nitrat konsantrasyonları ihtiva edebilecek içme suyu temini maksatlı sular ve diğer sebeplerle daha ileri arıtma gerektiren sular” olarak tanımlanmıştır.*

Yönetmelik kapsamında koruma bölgeleri şu şekilde tanımlanmıştır:

- İnsani kullanım maksatlı su temini için tahsis edilen alanlar,
- Ekonomik bakımdan önemli sucul canlı türlerinin korunması için tahsis edilen alanlar,
- Yüzme suyu olarak tahsis edilen alanlar dahil, rekreasyon maksatlı kullanılan su kütleleri,
- Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği kapsamında besin elementleri açısından hassas bölgeler ve hassas su alanları olarak belirlenmiş alanlar,
- Su durumunun sürdürülmesi ya da iyileştirilmesinin sağlanması için önemli bir faktör olduğu habitatlar ya da türlerin korunması için tahsis edilen alanlar ve Natura 2000 alanları.

7. Maddede su kirliliği açısından hassas su alanları ile nitrata hassas su alanlarının Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından, nitrata hassas bölgelerin ise Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından müştereken belirleneceği belirtilmiştir. Ayrıca suların ekolojik ve kimyasal kalite durumlarını gösteren haritaların Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından hazırlanacağı ifade edilmiştir.

Hassas alanlara ilişkin olarak yönetmeliğin 5. Maddesinin 1. Fıkrasının d bendinde *“Hassas su alanlarına yapılacak deşarjlarda, bu alanlara özel olarak belirlenmiş çevresel hedeflere uyulması esastır”* ibaresi yer almaktadır. Bu ifadeyi tamamlayıcı şekilde 9. Maddenin 3. Fıkrasında ise *“Hassas alanlar ve koruma bölgeleri için özel olarak belirlenmiş hedeflere ve ilgili mevzuata uyulur”* denilmiştir. Bunun yanında 5. Maddenin 1. Fıkrasının e bendinde ise *“Yayılı kirletici girişinin*



azaltılması için iyi tarım uygulamaları kodlarında yer alan önlem ve tedbirlerin alınması esastır” denilmiştir.

Su kütlesinin besin maddesi konsantrasyonu, klorofil-a, fitoplankton biyokütlesi ve ışık geçirgenliği göz önünde bulundurularak belirlenen durumunu ifade eden trofik seviyeye ilişkin olarak belirleme kriterleri Yönetmeliğin 6. Ekinde Tablo 7, 8, 9 ve 10’da verilmiştir. Göl, gölet ve baraj göllerinde trofik sınıflandırma sistemi sınır değerlerini içeren tablo ise aşağıda yer almaktadır.

Tablo 4. Göl, Gölet ve Baraj Göllerinde Trofik Sınıflandırma Sistemi Sınır Değerleri

Su Kalitesi Sınıfı	TP (µg/L)	TN (µg/L)	Klorofil-a (µg/L)	Seki Disk Derinliği (m)	Çözülmüş Oksijen (mg/L)
Oligotrofik	< 10	< 350	< 3,5	> 4	> 7
Mezotrofik	30	650	9	2	6
	50*	1000*	15*	1,5*	4*
Ötrofik	100	1500	25	1	3
Hipertrofik	> 100	> 1500	> 25	< 1	< 3

\* Gölet veya baraj göllerinde geçerlidir.

## 2.2.6 Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik

Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik 11.02.2014 tarihli ve 28910 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı, ülke genelindeki bütün yüzeysel sular ve yeraltı sularının miktar, kalite ve hidromorfolojik unsurlar bakımından mevcut durumunun ortaya konulması, suların ekosistem bütünlüğünü esas alan bir yaklaşımla izlenmesi, izlemede standardizasyonun ve izleme yapan kurum ve kuruluşlar arasında koordinasyonun sağlanmasına yönelik usul ve esasların belirlenmesidir.

Yönetmelikte hassas alan “*tabiatın ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında önemli fonksiyonlara haiz, sahip olduğu değerlerin tabii hali ile muhafaza edilmesi vazgeçilmez önem taşıyan ve tehlikeye maruz kalması muhtemel, ekosistem bütünlüğüne sahip veya ekosistemler arası doğal bağlantı sağlayan sulak alan, dağ, deniz ve kıyı ekosistemi, peyzaj koruma alanı, mikro iklimik alanlar, ekosistemler ve mağaralar*”, hassas su alanı “*ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli tedbirler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek su kaynakları, kıyı ve geçiş suları*

*ile tedbir alınmaması halinde yüksek nitrat konsantrasyonları ihtiva edebilecek içme suyu temini amaçlı sular ve diğer sebeplerle daha ileri arıtma gerektiren sular”, koruma bölgesi ise “Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği EK-3’de verilen ve korumaya ihtiyaç duyulan su kaynakları ile suya bağlı özel tür ve habitat alanları” olarak tanımlanmıştır.*

Yönetmeliğin 6. Bölümünde koruma bölgelerinin ve hassas alanların izlenmesi ile ilgili esaslar belirtilmiştir. Bu kapsamda 22. Maddenin 7. Fıkrasında “*Risk altında olan bütün koruma alanlarında operasyonel izleme yapılır ve belirlenen çevresel hedeflere ulaşıncaya kadar izlemeye devam edilir*” ifadesi yer almaktadır. Operasyonel izlemeye ilişkin hususlar ise yönetmeliğin 15. Maddesinde detaylandırılmıştır.

### **2.2.7 Durgun Yerüstü Kara İçsularının Ötrofikasyona Karşı Korunmasına İlişkin Tebliğ**

Durgun Yerüstü Kara İçsularının Ötrofikasyona Karşı Korunmasına İlişkin Tebliğ 26.02.2014 tarih ve 28925 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Tebliğin amacı, göl, gölet ve baraj göllerinin ötrofikasyona karşı korunmasına ilişkin ilke ve esasları belirlemektir.

Bu tebliğ kapsamındaki göl, baraj gölü ve göletlerin korunması doğrultusunda belirlenen ilke ve esaslar şunlardır:

- Yayılı ve noktasal kaynakların baskısı altında olan ve potansiyel olarak ötrofikasyon riski bulunan göl, baraj gölü ve göletlerin belirlenmesi,
- Tatlı su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının sağlanabilmesi maksadı ile göl, baraj gölleri ve göletlerin besin elementleri açısından özümleme kapasitelerinin belirlenmesi,
- Hipertrofik, ötrofik ve ötrofikasyon riski altında olan göl, baraj gölü ve göletlere yapılacak kentsel atık su deşarjlarında azot ve/veya fosfor gideriminin yapılması,

- Noktasal ve yayılı kaynakların baskısı sebebi ile ötrofikasyon riski altında bulunan göl, baraj gölü ve göletlerde besin elementlerinin kontrolüne yönelik tedbirlerin alınması,
- Ötrofikasyon riski altında bulunan göl, baraj gölü ve göletlerde, yönetmeliğin Ek-7 Tablo 10’unda verilen parametrelerin izlenmesi,
- Doğal göllerde gölün ekolojik yapısının bozulmasının engellenmesi amacıyla Orman ve Su İşleri Bakanlığı ile Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından izin verilmediği sürece göldeki doğal balık türleri ile ekstansif balık yetiştiriciliği dışında yetiştiricilik yapılmaması,
- Baraj gölü ve göletlerin özümleme kapasitesi belirleninceye kadar balık yetiştiriciliği tesisleri kurulurken Yönetmeliğin 14 üncü maddesindeki trofik seviye sınıflandırmasının dikkate alınması,
- Göl, gölet ve baraj göllerinde, yönetmelikte belirtilen esaslara göre balık yetiştiriciliği tesisi kurulması,
- Entansif ve/veya yarı entansif yetiştiricilik tesislerinin oligotrofik ve mezotrofik gölet ve baraj göllerinde faaliyet göstermesi.

Tebliğde trofik seviyenin iyileştirilmesi için tedbirler de belirlenmiştir. Buna göre göl, baraj gölü ve göletlerin trofik seviyesinin ötrofik veya hipertrofik çıkması durumunda su kütlelerinin havzalarında noktasal kaynaklardan gelen kirliliğin azaltılması ve trofik seviyenin oligotrofik ve mezotrofik seviyeye ulaşacak şekilde iyileştirilmesi amacıyla Orman ve Su İşleri Bakanlığınca Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na; yayılı kaynaklardan gelen kirliliğin azaltılması ve trofik seviyenin oligotrofik ve mezotrofik seviyeye ulaşacak şekilde iyileştirilmesi amacıyla ise Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığınca bildirimlerde bulunulacağı ifade edilmiştir. Balık yetiştiriciliği tesislerinin su kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılmasına yönelik gerekli tedbirlerin alınması için Orman ve Su İşleri Bakanlığınca Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığınca bildirimde bulunulacağı belirtilmiş olup, uygulamaların takibinin yapılacağı söylenmiştir. Göl, baraj gölü veya göletin dip çamurunun temizlenmesi amacıyla yapılacak fizibilite ve tarama çalışmalarının DSİ tarafından ilgili kurumların görüşlerinin alınarak gerçekleştirileceği belirtilmiştir.

### **2.2.8 Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği**

Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği 04.04.2014 tarihli ve 28962 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı, Türkiye’nin karasal sınırları ve kıta sahanlığı dâhilinde yer alan sulak alanların korunması, yönetimi ve geliştirilmesi ile bu konuda görevli kurum ve kuruluşlar arasında işbirliği ve koordinasyon esaslarını belirlemektir.

Yönetmelikte sulak alan; *“Tabii veya suni, devamlı veya geçici, suları durgun veya akıntılı, tatlı, acı veya tuzlu, denizlerin gelgit hareketlerinin çekilme devresinde altı metreyi geçmeyen derinlikleri kapsayan, başta su kuşları olmak üzere canlıların yaşama ortamı olarak önem taşıyan bütün sular, bataklık, sazlık ve turbiyeler ile bu alanların kıyı kenar çizgisinden itibaren kara tarafına doğru ekolojik açıdan sulak alan kalan yerleri”* olarak tanımlanmıştır. RAMSAR Alanı ise *“Sözleşmenin 2 nci maddesi gereğince ilan edilerek Ramsar listesine dâhil edilen sulak alanlar”* olarak ifade edilmektedir.

Yönetmelik kapsamında sulak alanların kirletilmemesi, doğal yapılarının ve ekolojik karakterlerinin korunmasının zorunluluğu belirtilmiş olup, ekolojik karakteri bozulmuş sulak alanların rehabilitasyonunun sağlanacağı ifade edilmiştir.

### **2.2.9 Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği**

Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği ilk olarak 18.02.2004 tarih ve 25377 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Uygulamaya geçmeyen bu yönetmelikte kirliliğin tespiti ve nitrata hassas bölgelerin belirlenmesi konularında güncellemeler yapılarak yeni yönetmelik 23.07.2016 tarih ve 29779 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı, tarımsal kaynaklı nitratin suda neden olduğu kirlenmenin tespit edilmesi, azaltılması ve önlenmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Yönetmelik, yer altı ve yer üstü sularında tarımsal kaynaklı kirliliğe neden olan azot ve azot bileşiklerinin belirlenmesi ve kirliliğin önlenmesi ile ilgili teknik ve idari esasları kapsamaktadır.

Yönetmelikte ötrofikasyon “*Suların besin maddelerince özellikle azot ve/veya fosfor bileşiklerince; alg ve daha yüksek yapılu bitkilerin üremesini hızlandıracak, böylece sudaki canlıların dengesini bozacak ve su kalitesinde istenmeyen bozulmalara yol açacak şekilde zenginleşmesi*” olarak tanımlanmıştır. Nitrata hassas bölge kavramı ise “*Tarımsal kaynaklı kirlilikten dolayı ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli tedbirler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek tabii tatlı su göllerini, diğer tatlı su kaynaklarını, haliçler ve kıyı sularını etkileyen bölgeler*” olarak tanımlanmıştır.

Yönetmelikte nitrata hassas bölgelerin bu yönetmeliğin yayımlandığı tarihten itibaren iki yıllık dönem içinde Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından müştereken belirleneceği ifade edilmiştir. Yönetmelik kapsamında ayrıca bütün sularda kirlenmeye karşı genel bir korunma düzeyi sağlamak amacıyla iyi tarım uygulama koduna ilişkin bilgiler, belirlenen hassas bölgelere ilişkin eylem planları ve izleme programlarının oluşturulmasına dair esaslar da yer almaktadır.

### **İyi Tarım Uygulamaları Kodu**

İyi tarım uygulamaları kodu;

- Gübrelerin toprağa uygulanmasının uygun olmadığı kapalı dönemlerin belirlenmesini,
- Gübrelerin eğimli arazilere uygulama yöntem ve koşullarını,
- Gübrenin suyla doygun, sele maruz kalmış, donmuş veya karla kaplı toprağa uygulama koşullarını,
- Su kaynaklarına yakın topraklara gübre uygulama koşullarını,
- Depolanmış hayvan gübresi ve silaj gibi bitki materyallerinden kaynaklanan sızıntı sularının, yüzey akışı ve yer altına sızma şeklinde sularda meydana getirebileceği kirliliği önlemeyi amaçlayan depolama ünitelerinin inşaa niteliklerinin ve kapasitesinin belirlenmesini,
- Kimyasal ve hayvansal gübrelerin doğru uygulama miktarlarının belirlenerek, toprağa homojen bir şekilde dağılımının sağlanması, böylece topraktan

yıkanarak suya karışacak miktarların kabul edilebilir düzeyde kalmasını sağlayacak uygulama yöntemlerinin belirlenmesini,

- Ekim nöbeti sistemi ile çok yıllık ve tek yıllık bitkilere ayrılan alanların oranlarını dikkate alacak şekilde tarımsal alanların yönetimini,
- Yağışlı dönemlerde nitratin topraktan yıkanarak su kirliliğine neden olmasını engelleyecek şekilde toprak yüzeyinde minimum miktardaki bitki örtüsünün bulundurulmasını,
- Gübreleme planlarının tarımsal işletme düzeyinde yapılarak kullanılan gübrelerin kaydının tutulmasını,
- Sulama sistemlerinin bulunduğu bölgelerde, yüzey akışlarından ve suyun bitki kök sisteminin altına inmesinden meydana gelen su kirliliğinin önlenmesini,

kapsamaktadır.

### **Eylem Planları**

Yönetmelikte eylem planlarının;

- Gübrelerin toprağa uygulanmasının uygun olmadığı kapalı dönemleri,
- Hayvansal gübre depolama ünitelerinin inşaa nitelikleri,
- Hayvansal gübre depolama ünitelerinin kapasitesinin;
  - Nitrata hassas bölgelerde gübrelerin toprağa uygulanmasının uygun olmadığı en uzun dönem süresince depolama için gerekli olan miktarlardan daha fazla olacak şekilde belirlenmesi,
  - Depolama kapasitesini aşan miktarlardaki hayvan gübresinin çevreye zarar vermeyecek usuller ile elden çıkarılacağına yetkili kuruluşlara kanıtlanabilmesi istisnai durumu,
- Toprağa uygulanacak gübre miktarının; iyi tarım uygulamaları koduna uygun şekilde nitrata hassas bölgenin toprak şartları, toprak tipi, eğimi, iklim şartları, yağış miktarı ve sulama, arazi kullanımı, mevcut tarımsal uygulamalar, bitki rotasyon sistemleri ile bitkilerin öngörülebilir azot gereksinimleri ve topraktan ve gübrelemeden bitkilere gelen azot miktarı arasındaki dengeyi gözeterek şekilde sınırlandırılması,
- Bitkilere topraktan ve gübrelerden geçen azot miktarının; bitkilerin azot kullanmaya başladığı dönemde toprakta mevcut olan azot miktarı, topraktaki

organik azot rezervlerinin mineralizasyonu yoluyla sağlanan azot miktarı ve gübrelerden gelen azot miktarı göz önünde bulundurularak belirlenmesi,

- Nitrata hassas bölgelerde toprağa hayvansal gübre ile verilebilecek saf azot miktarının;
  - Bölge, toprak ve iklim özellikleri ile bitki ihtiyacı dikkate alınarak hektar başına yılda en fazla 170 kg olarak uygulanması,
  - Ancak ilk dört yıllık eylem planları esnasında ve sonrasında; uzun yetiştirme dönemleri, yüksek azot alan ürünler ve yüksek denitrifikasyon kapasitesine sahip topraklar gibi koşulların olduğu istisnai durumlarda farklı azot miktarlarının belirlenebilmesi,

hususlarını kapsadığı belirtilmiştir.

#### **2.2.10 Hassas Su Kütelleri ile Bu Kütelleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik**

Hassas Su Kütelleri ile Bu Kütelleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik 23.12.2016 tarih ve 29927 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin amacı besin elementleri açısından hassas su kütellerinin ve bu kütelleri etkileyen kentsel ve nitrata hassas alanların tespit edilmesi, buna ilişkin ilke ve esasların ortaya konulması ve hassas su kütellerinde su kalitesinin iyileştirilmesi için alınması gerekli tedbirlerin belirlenmesidir.

Yönetmelik kapsamında hassas su kütellerinin belirlenmesinde;

- Yönetmeliğin Ek-1’inde yer alan su kütlesi belirleme kriterleri ve bütün baskı unsurları da dikkate alınarak nehir, göl ve kıyı sularının su kütellerine ayrılması,
- Su kütellerine etki eden kentsel ve endüstriyel faaliyetler, tarım, tarım dışı arazi kullanımı ve hayvancılık faaliyetleri ile hidromorfolojik baskı unsurlarının ve kirletici yüklerin tespit edilmesi,
- Su kütellerinin mevcut durumunun ortaya konması amacıyla fizikokimyasal parametreler, biyolojik kalite bileşenleri ve hidromorfolojik kalite bileşenleri izleme çalışmalarının yapılması,

- Baskı unsurları, kirlilik yükleri, izleme neticeleri ve su kütleleri arasındaki etkileşimin birlikte değerlendirilmesi,

esastır.

Yönetmelikte hassas su kütlelerini besleyen drenaj alanının, kentsel ve tarımsal baskının değerlendirilmesi neticesinde nitrata hassas alan ve/veya kentsel hassas alan olarak tanımlanacağı belirtilmiştir. Buna göre 25 havzada toplamda 778 hassas alan bulunmakta olup, 855 kentsel hassas alan ve 844 nitrata hassas alan yönetmelik ekinde verilmiştir. Yönetmelikte nitrata hassas alanlara ilişkin olarak Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından iyi tarım uygulamaları kodunun yürütüleceği belirtilmiştir. Bunun yanında ağaçlandırma, erozyon ve rusubat kontrolüne yönelik tedbirler de tanımlanmıştır. Kentsel hassas alanlara ilişkin olarak ise endüstriyel tesislerden kaynaklanan besin elementi yükünün azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılacağı ifade edilmiştir. Ayrıca bu alanlarda uygulanacak tedbirleri ihtiva eden eylem planlarının, bu yönetmeliğin yayımından sonra Bakanlık ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile müştereken 6 ay içinde hazırlanacağı ve yayımlanacağı belirtilmiş, bu eylem planlarında yer alacak tedbirlerin uygulanmasında sorumlu kuruluşun Çevre ve Şehircilik Bakanlığı olduğu ifade edilmiştir.

### **2.2.11 Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı Genelgesi**

Ülkemizde tabii ve/veya insan kaynaklı ekolojik ve hidrolojik olumsuz etkilere maruz kalan kritik göl ve sulak alanların belirlenerek, bu alanların üzerindeki etkilerin tespit edilmesi ve öncelikle mevcut durumlarının korunarak, daha iyi ekolojik durum için gerekli tedbirlerin ivedilikle alınması büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda su kaynaklarının havza esaslı yaklaşımlarla korunması ve belirlenen hedeflere ulaşılabilmesi maksadıyla, Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın koordinasyonunda, ilgili kurum ve kuruluşların katkıları ile 2017-2023 yıllarını kapsayan "Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı" hazırlanmıştır. Söz konusu Eylem Planının ilgili kurum ve kuruluşlarla koordineli olarak uygulanması, uygulama koordinasyonunun Bakanlığımız tarafından yapılması ve neticelerin sorumlu kurum/kuruluşlar tarafından Bakanlığımıza dört ayda bir raporlanması hususlarını kapsayan 2017/1 sayılı Bakanlık Genelgesi yayımlanmıştır.



### 3. HASSAS ALANLARDA YÖNETİM ESASLARI

Ötrofikasyon hassas alanların tanımlanmasındaki temel unsurdur. Bu kapsamda da ötrofikasyonun nedeni, oluşumu ve nihayetinde önlenmesi hassas alanların yönetimi açısından büyük önem arz etmektedir. Çalışmanın bu bölümünde ötrofikasyon ve hassas alan kavramı üzerinde durulmuş, hassas su kütlelerinde alınabilecek önlemler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

#### 3.1 Ötrofikasyon ve Hassas Alanlar

Ötrofikasyon su ortamının besleyici elementlerle, alg ve daha yüksek yapılı bitkilerin üremesini hızlandıracak, böylece sudaki canlıların dengesini bozacak ve su kalitesinde istenmeyen bozulmalara yol açacak şekilde zenginleşmesidir. Ötrofikasyonun yağmur suları, kayaların aşınması, göl tabanının toprak yapısı, orman yangınları, bitki polenler ve erozyon gibi doğal nedenlerle oluşması durumuna “doğal ötrofikasyon” denir. Kanalizasyon atıkları, endüstriyel ve evsel nitelikli atıksular, tarımsal arazilerden süzülen drenaj suları ile göle giren fosfor ve azot ise yapay ötrofikasyona neden olabilmektedir. Bu da “kültürel ötrofikasyon” olarak tanımlanır [25].

Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik’te hassas su kütlesi; “*Ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli tedbirler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek su kütlesi*” olarak ifade edilmektedir. Aynı yönetmelikte kentsel hassas alan “*Hassas su kütlelerinin drenaj alanı ile bu su kütlelerinin membasında bulunan ve hassas su kütlelerinde baskı oluşturarak su kalite hedeflerinin sağlanamamasına sebep olan kentsel atıksu drenaj alanları*”, nitrata hassas alanlar ise “*Tarımsal kaynaklı kirlilikten dolayı ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli tedbirler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek tabii tatlı su göllerini, diğer tatlı su kaynaklarını, haliçler ve kıyı sularını etkileyen ve nitrata hassas alan içerisinde bulunan tarımsal bölgeler*” olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda, hassas alan tanımlamasındaki temel unsur ötrofikasyondur.

Hassas alanların etkin şekilde yönetimi için ötrofikasyon kontrolü oldukça önemlidir. Bu noktada da, ötrofikasyona neden olan sınırlayıcı besin elementlerinin doğru şekilde tanımlanması gerekmektedir. Ötrofikasyon sorununda sınırlayıcı element fitoplankton oluşumunu sağlayan azot, fosfor, karbon ve silisyum elementlerinden biri olmalıdır. Karbon fitoplanktonlar tarafından kolay elde edilebilen bir besin elementi olması açısından sınırlayıcı bir faktör olarak düşünülmez. Silisyum ise diğer elementlere kıyasla çok az kullanıldığından sınırlayıcı element olarak görülmemektedir. Bu durumda ötrofikasyon sürecini sınırlayıcı elementler azot (N) ve fosfordur (P) [6]. Sucul ekosistemlerde biyolojik gelişmeyi hangi elementin sınırladığını belirlemek amacıyla ortalama azot ve fosfor konsantrasyonları kullanılmaktadır [7]. Bu besin elementlerinden hangisinin sınırlayıcı faktör olduğuna ilişkin karar aşamasında bilinmesi gereken temel faktör ötrofikasyona neden olan fitoplankton türünün sitokiyometrisidir. 1 µg klorofil-a oluşumu için 1 µg P ve 10 µg N gerektiği şeklinde bir kabul yapıldığı takdirde; N/P<10 durumunda fitoplankton büyümesi azot tarafından, N/P>10 durumunda ise sistem fosfor tarafından sınırlandırılıyor denilebilir. N/P=10 durumunda sistem ikisi tarafından da sınırlandırılmaz. Bu oranlar tüm fitoplanktonlar için genişletilirse N/P>20 durumunda fosfor sınırlayıcı N/P<5 durumunda azot sınırlayıcı olarak kabul edilmesi daha emniyetli bir yaklaşım olur [8]. Göllerde sınırlayıcı elementin tespitine yönelik kullanılabilecek genel yaklaşım Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5. Sınırlayıcı Besin Elementi Oranları [8]

	Besin Elementi Kaynağı	N/P Oranı	Sınırlayıcı Besin Elementi
<b>Nehirler</b>	Noktasal Kaynakların Baskın Olması Durumu	<< 10 (fosfor giderimi yok) >> 10 (fosfor giderimi var)	Azot Fosfor
	Yayıllı Kaynakların Baskın Olması Durumu	>> 10	Fosfor
<b>Göller</b>	Büyük Göller (Yayıllı Kaynakların Baskın Olması Durumu)	>> 10	Fosfor
	Küçük Göller (Noktasal Kaynakların Baskın Olması Durumu)	<< 10	Azot

Ötrofikasyonun göllerde neden olduğu etkiler iki ana başlık altında değerlendirilebilir:

1. Ekosistem üzerindeki etkiler;

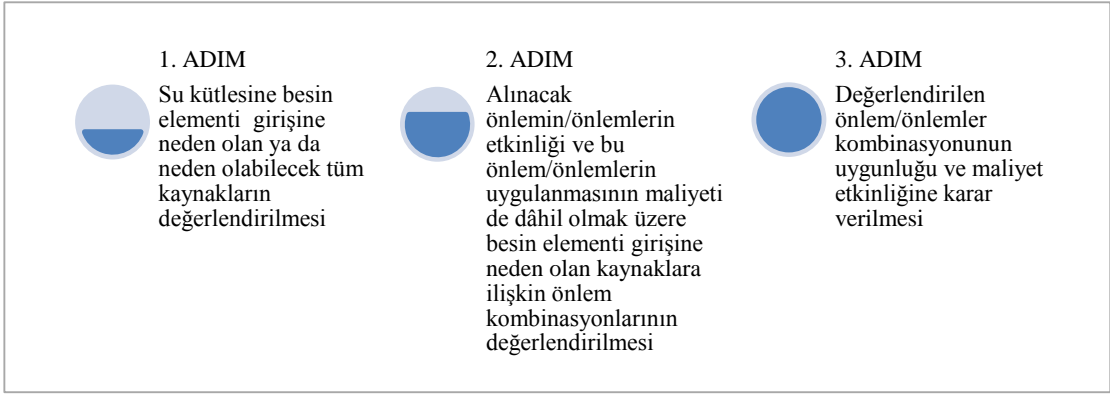
- Gölde tür kompozisyonu ve dominant olan biyota değişir, tür çeşitliliği azalır.
- Aşırı alg ve bitki artışı meydana gelir. Algler durgun su yüzeyinde “alg patlaması” denilen uzun yeşilimsi kümeler oluşturur. Ayrıca aşırı oranda çoğalan ipliksi algler balıkların solungaçlarına dolanarak ölümlerine neden olur.
- Bulanıklık artar.
- Sedimentasyon oranı artar, göl sığlaşarak yaşama süresi kısalmış ve bataklığa dönüşür.
- Anaerobik şartlar gelişir.

2. Gölün kullanımı ve gölden yararlanılması üzerindeki etkiler;

- Su, içinde yaşayan organizmalar ve insan sağlığı için zararlı hale gelmeye başlar.
- Gölde artmakta olan vejetasyon su akışını dolayısıyla göl suyunun kullanılmasını engeller.
- Ticari değeri olan ve et kalitesi yüksek alabalık gibi soğuk su balıklarının zamanla yok olmasına neden olur.
- Eğer gölden içme suyu temin edilecekse elde edilen su tat, koku ve kimyasal içerik bakımından uygun şartlara sahip olmaz.
- Gölün rekreasyon amaçlı kullanımı engellenir [25].

### 3.2 Hassas Su Kütlelerinde Alınabilecek Önlemler

Ötrofikasyonun göllerde neden olabileceği sorunlar değerlendirildiğinde hassas bir su kütlelerinde önlemlerin alınması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu önlemlerin nasıl geliştirileceği ve hangi önlemin uygun olacağını belirlemek ise oldukça önemlidir. Bir su kütlelerinde alınacak önlemlerin nihai amacı o su kütlelerini ötrofik olmayan bir duruma getirmek olmalıdır [4]. Bu doğrultuda da su kütleleri için önlem geliştirme süreci ana hatlarıyla Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Önlem Geliştirme Süreci [1]

#### 3.2.1 Korumaya Yönelik Önlemler

Hassas su kütlelerinde alınabilecek önlemler korumaya yönelik önlemler ve iyileştirmeye yönelik önlemler olarak iki kategoride değerlendirilebilir. Korumaya yönelik önlemler besin elementlerinin su ortamına girişini kontrol altına almaya yönelik önlemlerdir. Bu önlemler;

1. Kirliliğin kaynaktan kontrolü,
  2. Hassas su kütlelerini besleyen kaynakların kontrolü,
  3. Kirliliğin toplanarak farklı bir alana yönlendirilmesi,
  4. Noktasal ve yayılı kaynakların kontrol altına alınması,
- olarak sıralanabilir.

### **3.2.1.1 Kirliliğin Kaynakta Kontrolü**

Ötrofikasyon kontrolü için temel elementlerden biri fosfordur. Bu noktada deterjanlar ve gıda maddeleri arıtma tesislerindeki fosfor yükünün başlıca sebebi olarak gösterilebilir. Bu sebeple deterjanlardaki ve gıda maddelerindeki fosfor miktarının azaltılması ya da üretim süreçlerinde fosfor kullanımının kaldırılması fosfor yükünün azalmasını sağlayacaktır [9, 10]. Tarımsal faaliyetlerde fosfor içeriği yüksek gübre kullanımı da su kütlelerindeki kirlilik yükünün artmasına neden olmaktadır. Yayılı fosfor yükünün önlenmesine yönelik olarak gübre içeriğindeki fosfor miktarının gözden geçirilmesi ve ihtiyaca uygun gübre kullanımı önem taşımaktadır.

### **3.2.1.2 Hassas Su Kütlesini Besleyen Kaynakların Kontrolü**

Nehir ve göllerde besin elementleri nedeniyle oluşan kirliliğin önlenmesi amacıyla sulak alanların oluşturulması mümkündür. Hipertrofik bir göl öncesinde oluşturulan sulak alan ile göle giren toplam fosfor yükü %30-67, toplam azot yükü ise %30-52 oranında azaltılabilmektedir. Sulak alanlarda nitrat serbest azota dönüştürülerek atmosfere salınırken fosfor bitkiler tarafından sulak alan toprağında adsorbe edilir [11].

### **3.2.1.3 Kirliliğin Toplanarak Farklı Bir Alana Yönlendirilmesi**

Kontrol altına alınamadığı durumlarda, besin elementleri girişinin bir kollektör sistemi yardımıyla toplanarak besin elementleri etkisinin daha az olacağı alıcı ortamlara yönlendirilmesi ile besin elementi yükü azaltılabilmektedir [8].

### **3.2.1.4 Noktasal ve Yayılı Kaynakların Kontrol Altına Alınması**

Noktasal kaynaklı kirliliğin nedeni olarak, evsel ve endüstriyel nitelikli atıksular ile düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suları gösterilebilir. Bu kaynaklardan gelen azot ve fosfor yükünün biyolojik veya kimyasal yöntemlerle giderilerek alıcı ortama etkisi azaltılabilir. Bu hususta en etkili yöntem kimyasal arıtma ve biyolojik besin elementi giderimidir. Biyolojik besin elementi giderimi sistemleri pahalı sistemler olmakla birlikte son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak membran filtrasyonu ve ters osmoz gibi ileri arıtma teknikleri de kullanılabilir

[8, 12, 13, 70]. Yeni yapılacak atıksu arıtma tesisi planlamalarında azot ve fosfor giderimine dikkat edilmesi, mevcut atıksu arıtma tesislerinde ise bu hususta iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

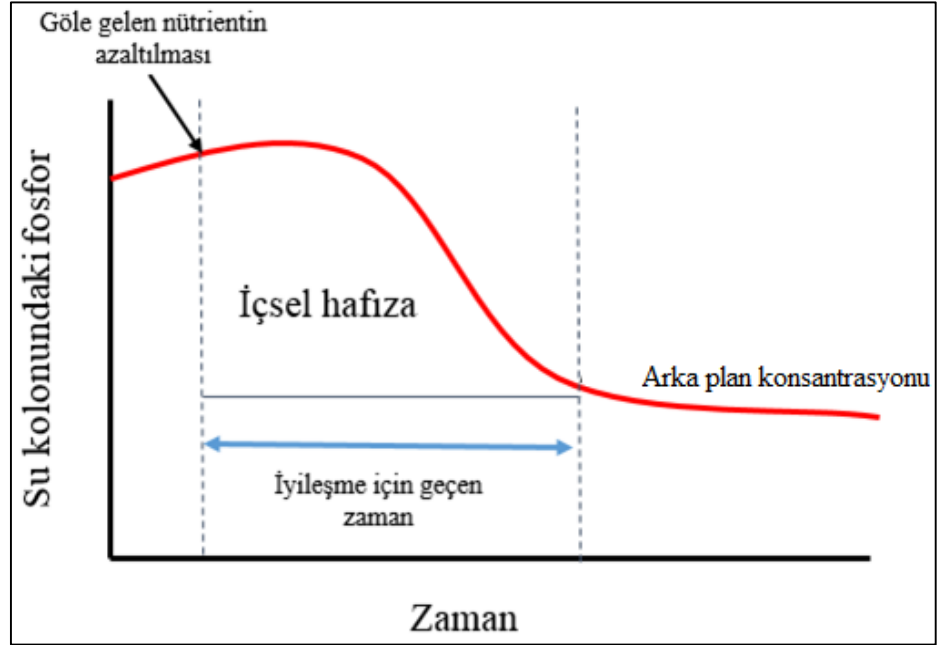
Noktasal kirletici kaynaklarının yanında su kütlelerine yayılı kirletici kaynaklarından gelen kirliliğin tespiti ve önlenmesi de önem arz etmektedir. Yayılı kirletici kaynakları tarımsal sulama geri dönüş suları, yerleşimlerden yüzeysel akışla gelen sular, orman alanlarından gelen sular ve düzensiz depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları olarak sıralanabilir [13, 70]. Bu kaynaklar içerisinde özellikle tarımsal faaliyetler neticesinde su kütlelerine ulaşan kirlilik yükünün üzerinde durulması gerekmektedir. Yoğun tarımsal faaliyetler esnasında azot ve fosfor içerikli gübre ve pestisit kullanımıyla beraber oluşan akış su kütlelerine ulaşmaktadır. Bu faaliyetler neticesinde oluşan besin elementi girdisini etkileyen temel faktörler; uygulanan gübrenin miktarı ve içeriği, tarımsal faaliyetin niteliği, toprak yapısı, erozyon, yağış olarak sıralanabilir [14].

Göl ve akarsu havzalarında insan eliyle yapılan arazi kullanımı değişiklikleri de yerüstü sularına besin elementi girdisini arttırmaktadır. Genellikle doğal orman örtüsünün ve sulak alanların korunduğu havzalara sahip akarsulara ulaşan besin elementi girdisi düşük olurken doğal vejetasyon örtüsünün yerini tarım/otlatma alanlarının ya da kent ve yolların aldığı havzaların azot ve fosfor tutma kapasitesi azalmaktadır [15, 16].

Noktasal kaynaklara kıyasla yayılı kaynakların kontrolü ve önlenmesi daha güçtür. Çünkü bu kaynakların tespiti, ölçümü ve izlenmesi oldukça zordur. Bu kaynaklardan gelen yüklerin kontrol altına alınması bazı tedbirlerin alınmasıyla mümkündür. Bunlar tarımsal arazinin kullanım şekline, gübre uygulama tekniğine, tarımsal alanlarda kullanılan kimyasalların içeriğinin değiştirilmesine, gübre ve pestisit kullanımının kontrol altına alınmasına, tarım alanlarının ürün çeşidine göre planlanmasına, erozyon kontrolüne, gübre kullanımı öncesi toprak testlerinin yapılmasına, tampon bölge oluşturulmasına ilişkin tedbirlerdir [10, 12, 17].

### 3.2.2. İyileştirmeye Yönelik Önlemler

Ötrofikasyon durumu su kütlelerinin besin elementlerince aşırı oranda zenginleşmesidir. Bu besin elementleri tarafından beslenme engellendiğinde, bazı su kütleleri daha kabul edilebilir bir trofik seviyeye ya da kalite durumuna ulaşabilmektedir. Ancak göllerde ötrofikasyon sürecinde, göle gelen besin elementi yükü ve alg oluşumu arasında doğrusal bir ilişki den bahsetmek mümkün değildir. Aksine besin elementi yükü ve alg oluşumu sigmoid bir eğilim izler çünkü göl içi biyolojik sistemler besin elementi yükünde oluşan değişime karşı direnç göstermektedir. Bu doğrusal olmayan ilişki, içsel besin yüklemesinin de etkili olduğu küçük ve sığ göllerde çok daha belirgindir. Bu duruma “içsel hafıza/fosfor mirası” denilmektedir. Dışarıdan gelen besin elementi yükünün azaltılmasının gölün iyileşme sürecine çok uzun vadede etki etmesinin temel nedeni olarak gösterilebilmektedir (Şekil 3). Bu nedenle, su kütlesine dışarıdan gelen besin elementi yüküne ilişkin önlemlerin dışında, su kütlesinin kendisinde de çeşitli önlemler alınması gerekmektedir [18, 19].



Şekil 3. Su Kolonundaki Fosfor ve Gölün Fosfor Mirası Nedeniyle Zamansal İlişki

Son 50 yıldan beri çok çeşitli göl iyileştirilme metodları geliştirilmiş ve denenmiştir. Amaç çoğunlukla ötrofikasyonla mücadele etmektir [20]. İyileştirme önlemleri doğrudan su kaynağında yapılan çalışmalardır ve bu çalışmaların başarısı ve verimi dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınmasına bağlıdır. Su kütlesinde en iyi sonucu alabilmek için tekniğin yaratacağı problemler ve tekniğin uygulanmasını sınırlayıcı faktörlerin de iyi tanımlanması gerekmektedir [6, 17].

İyileştirmeye yönelik en yaygın yöntemler şunlardır:

1. Yapay sirkülasyon
2. Hipolimnetik havalandırma
3. Hipolimniyondan su çekimi
4. Göl suyunun değiştirilmesi
5. Kimyasal madde ilavesi
6. Göl dibinin taranması
7. Biyomanipülasyon
8. Yüzer sulak alan

Bu yöntemler ilerleyen bölümde detaylı olarak açıklanmıştır. Bu yöntemlerin dışında bentik örtü oluşturulması, algisid-herbisid kullanımı, makrofit kesimi gibi uygulamalar da mevcuttur. Ancak bu yöntemlerin amaca ulaşmakta yetersiz kaldığı ve kayda değer sonuçlar vermediği görüldüğünden bu tez çalışması kapsamına alınmamıştır.

### **3.2.2.1 Yapay Sirkülasyon**

Bir gölde hipolimniyon tabakasının oksijenli olmasının kayda değer olumlu etkisi vardır. Akış aşağı biyotanın ihtiyacının karşılanması, ötrofikasyona yol açan etkenlerden biri olan sedimentten fosfor salınımını azaltması, bakteriyel büyümeyi destekleyerek azot miktarını azaltması, sedimentten demir, mangan, sülfid gibi sucul canlılar için toksik etki gösterecek maddelerin salınımının önlenmesi bunlara örnek olarak gösterilebilir. Hipolimniyon tabakasının oksijensiz (anoksik) durumdan



oksijenli duruma getirilmesinde üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; yapay sirkülasyon, hipolimnetik havalandırma ve hipolimnetik oksijenlendirmedir [21].

Yapay sirkülasyonun su kalitesi üzerindeki temel etkisi su kolonunda oksijenlenmeyi ve burada kimyasal oksidasyonu sağlamasıdır. Sedimentten fosfor salınımının ana nedeninin anoksik koşullardaki sedimentte demir indirgenmesinin olduğu durumlarda, tam karışımla beraber demir yükseltgenir ve fosforla bağ oluşturur. Böylelikle sedimentten fosfor salınımı azaltılmış olur. Ancak bazı alkali göllerde fosforun sudaki çözünürlüğü demir yerine kalsiyum tarafından kontrol edilebilir, ya da demir/fosfor oranı fosfor salınımını kontrol edemeyecek kadar düşük olabilir. Böyle durumlarda yapay sirkülasyonla sediment-su kolonu arasındaki geçiş alanında sıcaklığın artmasıyla fosfor salınımı artabilmektedir [22].

Tabakalaşma olmayan, sığ ve ötrofik göllerde fosfor salınımı yüksek olabilmektedir ki bu göllerde sediment-su kolonu arasında kalan alan yeterince oksijenlidir. Bu nedenle böyle göllerde fosfor salınımının azalmasını yapay sirkülasyonun bir sonucu olarak görmek doğru olmayacaktır. Sığ ve tabakalaşmanın olduğu göllerde ise yapay sirkülasyon sonrası fosfor salınımı ve tüm göldeki toplam fosfor konsantrasyonunda azalma görülebilir. Ancak fotik zonda büyüme için gerekli fosfor konsantrasyonunda artış olabilir [22]. Zira çok sayıda ötrofik gölde yapay sirkülasyon sonrası içsel fosfor yükünde kayda değer oranda azalma gözlenmemiştir ve bu yöntemin neticeleri gölden göle farklılık göstermektedir [23].

Fitoplankton biyokütlesi açısından bakıldığında ise, yapay sirkülasyonla belirli bir derinlikte gerçekleştirilen karıştırma sayesinde plankton hücrelerinin su kolonunda fotosentez için gereken ışığı almasına engel olunarak büyüme veya çoğalma azaltılmış olur. Bu derinlik “kritik derinlik” olarak adlandırılmaktadır. Kritik derinlik, gerek fitoplankton büyümesi gerekse içsel fosfor yüklemesi açısından özellikle sığ göller için önemli bir kriter olarak değerlendirilmektedir [22].

Ötrofik göllerde CO<sub>2</sub> ve pH değişimi, yüzer hücrelerin varlığı ve zooplankton tarafından beslenme fitoplankton biyokütlesi içerisinde mavi-yeşil alg ve diatom ya da

yeşil alg baskınlığını etkileyen unsurlardır. Yeşil algler düşük pH'da besin elementleri konusunda mavi-yeşil alglere rakip olabilmektedir. Yapay sirkülasyon sayesinde de dipteki suyun su kolonunda dikeydeki hareketiyle beraber CO<sub>2</sub> konsantrasyonu artarken pH düşmüş olur. Mavi-yeşil alglerin içerisindeki gaz vokülleri onlara su yüzeyinde yüzerlik fırsatı tanımaktadır. Bu sayede yüzeyde oluşturdukları tabaka güneş ışığının geçişini ve diğer alglere ulaşmasını engellemektedir. Yapay sirkülasyonla yüzeyde oluşan bu tabaka engellenmektedir. Mavi-yeşil algler dışındaki diğer alglerin baskın olmasıyla birlikte zooplanktonlar için büyüme ortamı da sağlanmış olur [22]. *Microcystis* gibi istenmeyen cinslerin engellenmesi için büyüme mevsimi boyunca yapay sirkülasyonun uygulanması önerilmektedir [23].

Yapay sirkülasyon, sıkıştırılmış havanın uygun derinlikten difüzör ya da delikli borular vasıtasıyla göle verilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Pompa ya da su-jeti gibi uygulamalarda mevcut olmakla birlikte, en ucuz ve uygulaması kolay olan yöntem sıkıştırılmış havanın difüzyonla verilmesidir [22]. Km<sup>2</sup>'ye dakikada 9.2 m<sup>3</sup>'lük hava verilmesi göllerin çoğunda havalanmanın sağlanması için yeterli görülmektedir ancak bu miktarın siyanobakterilerin engellenmesi için yeterli olup olmadığı kesinlik kazanmamıştır [23].

Sıklıkla kullanılan ve yüksek maliyetli bu yöntem, özellikle besin elementi kısıtının olmadığı ve düşük oksijen seviyesi nedeniyle sıcak su canlılarının tehdit altında olduğu göller için uygundur. Buna karşılık yeterli derinliğin olduğu ve besin elementi kısıtının olmadığı derin göller de uygulama alanı olabilir [22, 24]. Sonuç olarak yapay sirkülasyonun başarısını etkileyen temel unsurlar; yeterli düzeyde ve derinlikte karıştırma, gölün çok sığ olmaması, karıştırmayı sağlayacak sistemin yatayda yeterince homojen yayılım göstermesidir [23]. Yöntemin etkisi nispeten hızlı şekilde görülse de yeterince verim alınabilmesi için yıl içinde tekrarlanması gerekmektedir [22, 74].

### **3.2.2.2 Hipolimnetik Havalandırma**

Ötrofik göllerde ötrofikasyonun ilk göstergelerinden biri hipolimniyon tabakasında çözülmüş oksijen miktarının düşüşüdür. Bu metod ile gölün hipolimniyon

bölgesinin oksijen açısından zenginleşmesi sağlanır. Hipolimnetik bölgeye verilen hava gölün diğer kısımlarıyla yapay sirkülasyonda olduğu kadar fazla karışmadan sirkülasyona neden olur. Böylelikle gölün bu bölgesinde besin elementi birikimi önlenir. Bunun yanında oksijen düzeyinin artmasıyla birlikte indirgenen demir ve mangan yükseltgenerek çözülmüş formdaki demir ve mangan konsantrasyonu düşer. Oksijen düzeyinin artmasıyla birlikte aerobik organizmalar faaliyete geçer, demirin indirgenmesi nedeniyle meydana gelen sedimentten suya fosfor salınımı azalır. Nitrifikasyonun artışı sayesinde de amonyum konsantrasyonu azalır [22, 25]. Yöntemin temel amacı olan oksijenlendirme etkisi, uygulamayla beraber hızlı şekilde gözlemlenir [24]. Ancak temelde hipolimniyon tabakasının oksijenlendirilmesi esas alındığından ve gölün tümüne etkisi az olduğundan, alg patlamalarının kontrolünde gölde tam karışımın sağlandığı yapay sirkülasyona kıyasla daha düşük etkinliğe sahip bir yöntemdir [26].

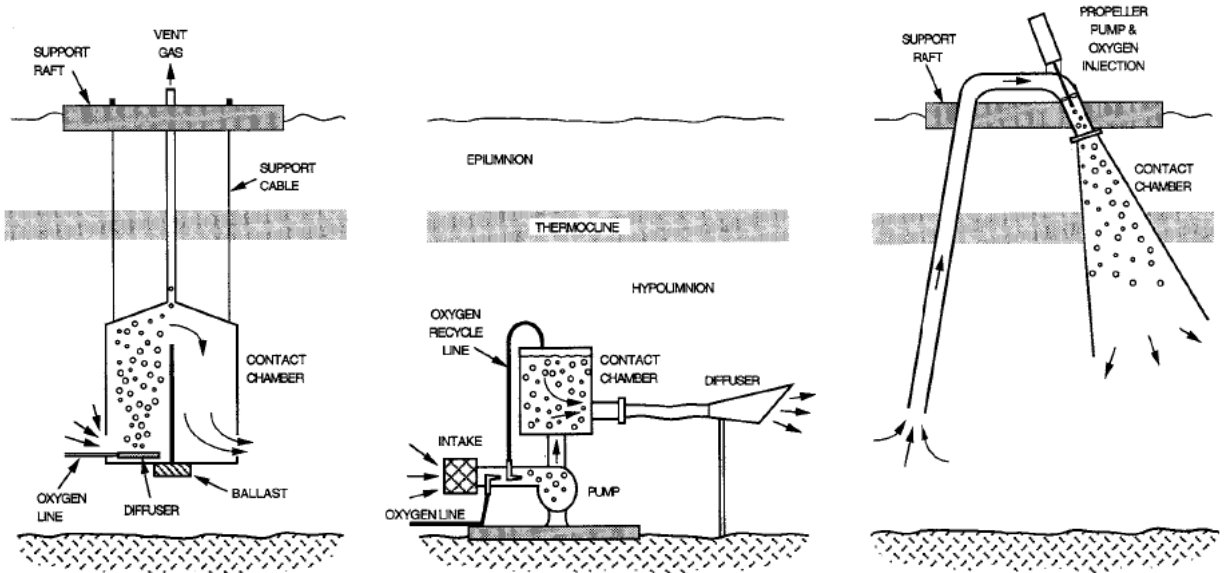
Hipolimniyon tabakasının oksijen açısından zenginleştirilmesi amacıyla kullanılan yöntemler genel olarak üç kategoride değerlendirilmektedir. Bu yöntemler; mekanik karıştırma, saf oksijen enjeksiyonu ve hava enjeksiyonudur (Şekil 4). Mekanik karıştırmada hipolimniyon tabakasından çekilen su göl yüzeyinde “çarptırma” yoluyla ya da göl dışında havalandırılarak en az sıcaklık artışının olacağı derinlikte göle tekrar verilir. Bu yöntem verimliliği düşük olduğundan fazla tercih edilmemektedir [22]. Hipolimnetik oksijenlendirme en yaygın uygulanan yöntem olarak görülmektedir. Hipolimnetik havalandırmadan farklı olarak hipolimnetik bölgeye oksijen verilerek gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin temel avantajı saf oksijenin suda çözünebilirliğinin, hava verilmesi yoluyla suya karışacak oksijenden beş kat daha fazla olmasıdır. Çünkü bilindiği üzere oksijen havanın yalnızca %20'sini oluşturmaktadır [21]. Havalandırma esnasında göldeki balıkların zarar görmemesi için hipolimnetik suyun azot gazınca aşırı doygun duruma gelmemesine dikkat edilmelidir [30].

Hipolimnetik havalandırma çok sığ göllerde başarılı şekilde uygulanamamaktadır. Bu göllerde tabakalaşma olsa dahi tabakalaşmayı sağlayan yoğunluk gradyanının yeterli olmadığı durumlarda hipolimniyondaki hafif bir sirkülasyonla gölde tam karışım gerçekleşebilmektedir. Böyle durumlarda da tüm

gölde çözülmüş oksijen seviyesi düşmekte, göl yüzeyinde mavi-yeşil alg tabakası oluşmaktadır. Bu nedenle maksimum derinliğin 12-15 m'den az olduğu ya da hipolimnetik hacmin düşük olduğu koşullarda hipolimnetik havalandırma önerilmemektedir [22].

Hipolimniyon tabakasının oksijenlendirilmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmalar, dip tarama gibi oldukça maliyetli yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetli olmakla beraber yine de maliyeti yüksek uygulamalardır ve uzun vadeli çözüm getirmezler. Uygulama dönemi bahar karışımından sonra başlar, yazın stagnasyon (durgunluk) boyunca devam eder. Kış tabakalaşması sürecinde ara verilen uygulama ihtiyaç duyulması halinde kışın da gerçekleştirilir [14, 25, 27].

Hipolimnetik havalandırmadaki temel amaç hipolimniyon tabakasının oksijenlendirilmesi olsada, bu uygulama içsel fosfor yüklemesinin azaltılmasına da katkı sağlayabilmektedir. Ancak havalandırma esnasında fosfor konsantrasyonunda azalma olsa dahi bu etki fosfor inaktivasyonu ya da hipolimniyondan su çekimi kadar kalıcı ve etkili değildir. Uygulama ile hipolimnetik fosfor konsantrasyonu ortalama %30-50 arasında azalmaktadır [22].



Şekil 4. Hipolimnetik Oksijenlendirme Uygulamaları [21]

### 3.2.2.3 Hipolimniyondan Su Çekimi

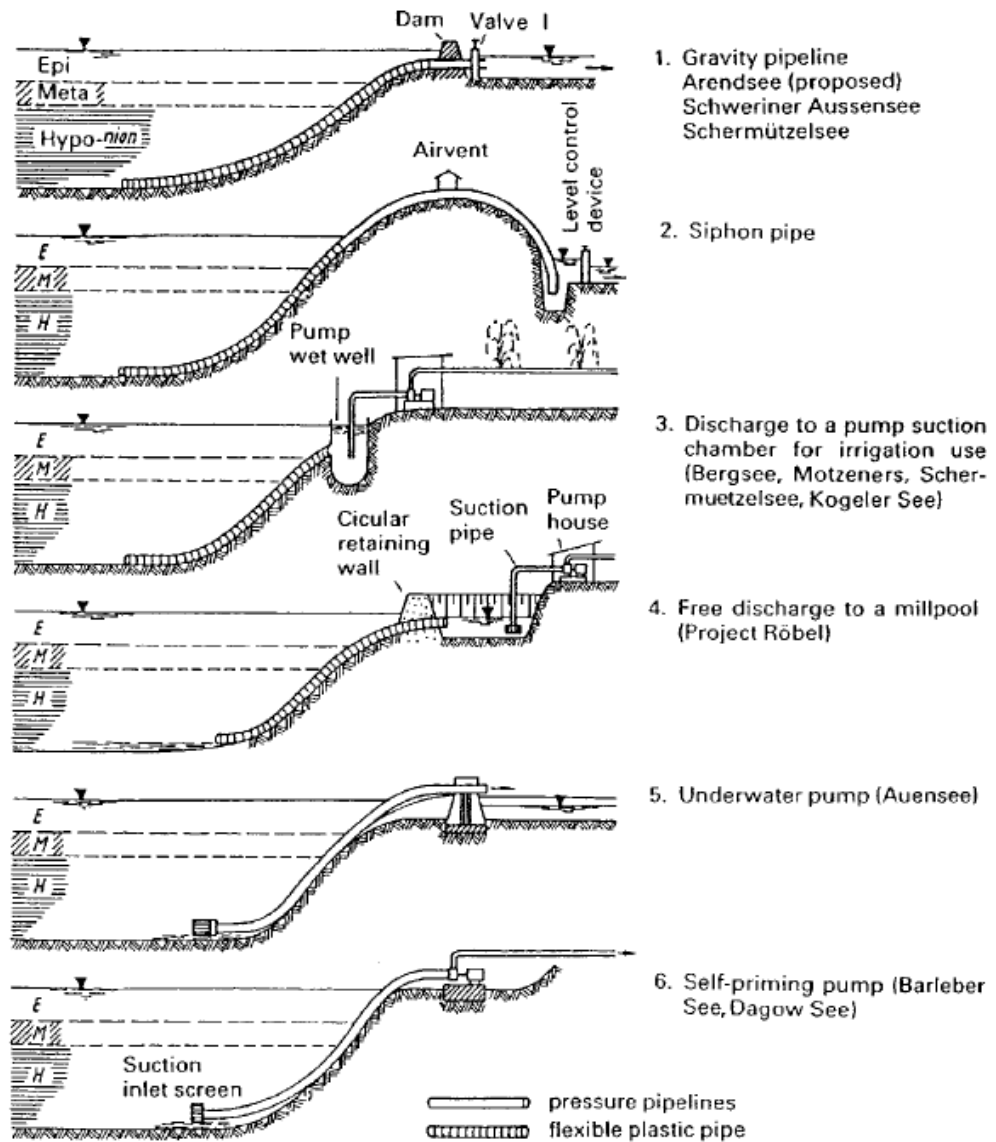
Hipolimniyon tabakasındaki besince zengin su kütlesinin çekilmesine dayalı bu teknikle göldeki besin elementi konsantrasyonu azaltıldığı gibi çözülmüş oksijen konsantrasyonu da yükseltilmektedir. Bilindiği gibi su ortamında derinlik arttıkça genellikle oksijen konsantrasyonu azalmakta ve bazı durumlarda anaerobik şartlar oluşmaktadır. Hipolimniyon tabakasındaki suyun epilimniyon tabakasındaki suya göre daha soğuk olmasından dolayı bu çekme işlemi gerçekleştirildiği zaman gölün ortalama sıcaklığında artış gözlenmektedir. Bu da biyokütlenin metabolik faaliyetlerinde bir artışa sebep olacaktır. Hipolimniyon tabakasının, fosforun sedimentten su ortamına geçmesine olanak sağlayan anaerobik koşullar altında olduğu durumlarda bu bölgede yapılan çekme işlemi besin elementi gideriminde oldukça iyi sonuçlar vermektedir [1].

Hipolimniyon tabakasından su çekiminin, tabakalaşmanın hemen ertesinde ancak anoksik koşullar oluşmadan gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu yöntem, gölün en derin yerinden yaklaşık 1-2 m yukarıya yerleştirilen bir boru vasıtasıyla uygulanmaktadır. Borunun çıkış noktası genellikle göl seviyesinin altında tutulur ve böylelikle sifonlama benzeri bir işlem uygulanarak hipolimniyondan su çekimi gerçekleştirilir (Şekil 5) [22, 29, 31].

Yöntemin ilk yatırım ve işletme maliyeti düşüktür. Uygulamanın etkisi gölde oldukça hızlı şekilde gözlemlenir. Özellikle derin ve yüzey alanı küçük olan göllerde başarılı neticeler vermektedir. Ancak uygulama alanı az olan bir yöntemdir. Yöntemin başarısı için su seviyesinin nispeten sabit kalması ve tabakalaşmada değişiklik olmaması gerekmektedir. Bahsekonu hususlar dikkate alındığında uzun vadeli ve kalıcı etkisinden söz etmek mümkündür. Ancak bu etkinin sağlanabilmesi adına tabakalaşma dönemi boyunca çeşitli defalar hipolimniyonun hacminin değiştirilmesi gerekmektedir. Bunun yanında uygulamanın gölde kalıcı bir etki verebilmesi için en az 3 kez olmak üzere yaklaşık 5 yıl boyunca tekrarlanması gerekmektedir [22, 24]. Ancak göle dışarıdan yeterli kalitede su girişi sağlanamıyorsa, göl su seviyesinde büyük dalgalanmaların engellenmesi için hipolimniyondan çekilecek su miktarında kısıtlamaya gidilmelidir [30]. Amerika, Kanada ve Avusturya'daki göllerde

gerçekleştirilen çalışmalarda hipolimnetik toplam fosfor giderimi ortalama %70-80 civarındadır [22].

Hipolimnetik suyun çekimi ile gölde iyileşme sağlanırken, hipolimniyon tabakasından çekilen suyun düşük çözünmüş oksijen seviyesi ve yüksek besin elementi içeriğiyle alıcı ortamda su kalitesi ve koku problemi oluşturma riski bulunmaktadır. Bu kapsamda gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir [22].



Şekil 5. Hipolimiyondan Su Çekimi [31]

#### **3.2.2.4 Göl Suyunun Değiştirilmesi**

Hipolimniyon tabakasından su çekiminin yanında göle besin elementi girişinin engellenmesi ve yakında gölü doldurabilecek yeterli yer altı suyunun bulunması durumunda göl suyunun pompalama yardımıyla yakınlardaki arazilere değarjını takiben onun yerine besin elementi açısından fakir olan yer altı suyunun yavaş yavaş göle verilmesi de bir göl iyileştirme yöntemidir. Ancak bu uygulamanın sudaki besin elementlerinin uzaklaştırılması açısından faydası görülürken, sedimentteki fosfor üzerinde bir etkisi görülmemektedir [25, 35].

Gölün tamamen boşaltılmasının ekosistem üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Göl suyunun değiştirilmesiyle alg biyokütlesi azaltılmaktadır ancak göle verilecek suyun yeni hücre oluşumunu gözetecek şekilde uygulanması önem taşımaktadır. Bu maksatla, günlük olarak göl hacminin %10-15'inin değiştirilmesi yeterli görülmektedir. Gölü tekrar dolduracak temiz yeraltı suyunun bulunması açısından ise oldukça güç ve yoğun işgücü gerektiren bir uygulamadır. Taşınan suların hipolimniyondan su çekiminde olduğu gibi alıcı ortamda su kalitesi ve koku problemi yaratacağı göz önünde bulundurulmalıdır [25, 35].

Bu yöntemin etkisinin diğer göl iyileştirme yöntemlerine kıyasla daha uzun vadeli ve kalıcı olduğu görülmüş olup, etkinin gözlemlenme hızı yavaştır. Düşük maliyetli bu yöntemle çok sayıda vakada toplam fosfor miktarında azalma ve hipolimnetik anaerobik seviyede düşüş görülmüştür [29, 74]. Ancak gerek gölü dolduracak yeterli yer altı suyu gerekse uygun alıcı ortamın bulunabilmesi açısından değerlendirildiğinde uygulanabilirliği oldukça kısıtlı bir yöntemdir.

#### **3.2.2.5 Kimyasal Madde İlavesi**

Kimyasal madde ilavesi su kolonundaki fosfor içeriğini düşürme (çöktürme) ve sedimentten fosfor salınımını azaltma (inaktivasyon) amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemle besin elementi miktarı azaltıldığından alg biyokütlesinin kontrolü sağlanmaktadır [22].

Çöktürme işleminde kullanılabilen kimyasallardan biri demirdir. Termal tabakalaşma döneminde hipolimniyonda anoksik koşullar oluşmaktadır ve bu koşullarda sedimentteki anaerobik bakterilerin faaliyeti ile demir indirgenir. İndirgenmiş düzeydeki demir çözülmüş hale gelir ve demire bağlanmış haldeki fosfor yapısı su kolonunda yükselir. Oksijenli koşullarda, pH 5-7 aralığında  $Fe(OH)_3$  su kolonundaki fosforu absorbe ederek sedimentte tutar. Bu nedenle demirin, alüminyum tuzlarının kullanılmadığı düşük pH'a sahip göllerde uygulanması daha uygundur. Demirin indirgenmesi ve dolayısıyla çözülmüş hale gelerek sudaki fosforu tutup sedimentten su kolonuna salınımının engellenmesi için havalandırma ya da yapay sirkülasyonla anoksik koşulun engellenmesi gerekmektedir. [18].

Kalsiyum karbonat (kalsit) ve kalsiyum hidroksit de fosfor tutulumu için kullanılabilen diğer kimyasallardır. Kalsit, özellikle pH'ın 9'dan büyük olduğu koşullarda fosforu absorbe etmektedir.  $Fe(OH)_3$ 'ün aksine pH'ın 9.5'ten büyük olduğu alkali koşullarda, kalsiyum iyonu ve fosforun oluşturduğu hidroksiapatit ( $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ) çok düşük çözünürlüğe sahiptir. Ancak hipolimniyonda oluşan anoksik koşullarla beraber pH'ın düşmesi durumunda kalsit ve hidroksiapatit çözünmekte, dolayısıyla suya fosfor salınımı gerçekleşmektedir [18]. Örneğin Kanada'da bir göle kalsiyum hidroksit uygulanmış, güçlü floklar elde edilmesine karşılık hipolimniyonda bu çökelti çözülmüştür [33]. Bu nedenle, pH ve redox değişimlerine hassas olan kalsit ya da kalsiyum hidroksit uygulamalarında demirde olduğu gibi anoksik koşulların engellenmesi ve dolayısıyla fosforla oluşan bağın bozulmaması için havalandırma ya da sirkülasyonun yapılması gerekebilir [22].

Suya alüminyum sülfat (alüm) eklenmesi halinde alüm ayrılarak alüminyum iyonları açığa çıkmaktadır. Çeşitli hidroliz reaksiyonları neticesinde de alüminyum hidroksit ( $Al(OH)_3$ ) oluşmakta, pH düşmektedir. Düşük-orta alkali göllerde ( $< 30-50$  mg/L  $CaCO_3$ ) düşük dozlarda alüm uygulanması halinde bile bu pH düşüşü nedeniyle toksik ve çözünebilir alüminyum formları oluşabilmektedir. Bu durumun engellenmesi adına göle sodyumhidroksit, kalsiyumhidroksit ya da kalsiyumkarbonat gibi tamponların eklenmesi gerekmektedir.  $Al(OH)_3$  koloidal yapıya sahip bir flok olup, yüksek koagülasyon ve fosfor adsorplama özelliğine sahiptir.  $Al(OH)_3$ 'in fosfor



inaktivasyonundaki en önemli özelliği normal iyileştirme koşullarında (pH>6) biyota için çok düşük, neredeyse sıfıra yakın toksik etki oluşturması, yüksek miktarlarda inorganik fosforu absorbe edebilmesi ve fosforla bozulmaz yapıda bir bağ oluşturarak güçlü floklar meydana getirmesidir. Düşük ya da neredeyse sıfıra yakın çözülmüş oksijenin olduğu koşullarda dahi bu flok yapısı bozulmamakta, fosfor salınımı gerçekleşmemektedir. Ancak pH'ın yüksek olduğu (>8) durumlarda çözümlülük artacağından flok yapısı bozulmaktadır. Al(OH)<sub>3</sub> partiküler organik fosforun bir kısmını absorbe ederek su kolonundan uzaklaştırabilmektedir fakat çözülmüş organik fosfor bileşiklerinin uzaklaştırılmasında etkili değildir [18, 22]. Amerika ve Avrupa'da 120 gölde uygulanan alüminyum ilavesinin olumlu etkileri (birkaç göl haricinde) 10-15 yıl ve daha fazla sürmüştür. Fosfor inaktivasyonunda kullanılan kimyasallar içerisinde de alüminyumun etkin sonuçlar verdiği görülmüştür [37].

Demir, kalsit ve alüm gibi kimyasalların yanında son yıllarda lantan elementinin ve modifiye edilmiş zeolitin de fosfor inaktivasyonuna yönelik çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir. Alüminyum ve demire kıyasla daha geniş bir pH aralığında (4.5-8.5) etkin olan lantan fosfatla yüksek sıcaklıklarda dahi çözünmeyen sağlam bir yapı oluşturmaktadır. Bu elementin ekosistem üzerindeki toksik etkisinin engellenmesi için lantan, bentonit gibi killi bir mineral yapısının içine gömülmüştür. Modifiye edilmiş zeolit ise fosforun yanında azotunda tutulması konusunda aktiftir. Diğer kimyasallara kıyasla çok daha hızlı çöklediğinden özellikle bulanıklığın fazla olduğu göller için avantajlıdır [32].

Su ortamının kendisinden kaynaklı (içsel) fosforun döngüsü ve sedimentten salınımı karmaşık bir süreç olup çok sayıda faktörden etkilenmektedir. Gölün morfolojisi su tutma miktarını etkilediğinden fosfor birikimini de doğrudan etkilemektedir. Göl derinliği sediment üzerindeki anoksik tabakanın derinliğini, dolayısıyla sedimentten fosfor salınımını etkilemektedir. Derin göllerde daha büyük anoksik tabakalar bulunurken sığ göllerde sedimentin hemen üzerinde maksimum alg aktivitesinin olduğu alanlar mevcuttur. Tabakalaşmanın olmadığı sığ göllerde, içsel fosfor yükü oldukça önemli olabilmektedir. İklim koşulları göl sıcaklığını belirlerken, sucul bitki gelişimini ve mevsimsel tabakalaşmayı da etkilemektedir. Göl çevresindeki

arazi yapısı, rüzgâr tarafından suyun karıştırılması ve mevsimsel sıcaklık değişimleri üzerinde etkilidir. Dip balıkları su kolonuna azot ve fosfor bırakmaktadır. Sedimentteki biyokarışım, su kolonu ve sedimentte fosforu da içeren madde değişimlerine neden olmaktadır. [33]. Yukarıda sıralanan faktörlerin etkisiyle göllerde içsel fosfor yükü artmaktadır. Kimyasal madde ilavesi ile çöktürme uygulaması da bu içsel fosfor yükünün azaltılması için uzun yıllardır kullanılan, uygulanması kolay ve maliyeti düşük bir yöntemdir. 9 sığ gölde yapılan uygulamadan 6'sı fosfor salınımı konusunda başarılı olmuş ve yaklaşık 5-11 yıl etkili kalmıştır. Bu uygulamalarda ortalama toplam fosfor giderimi %50-60 civarındadır. Tabakalaşmanın olduğu 10 gölden 7'sinde de ortalama 13 yıl başarılı etki gözlenmiştir. Ancak kullanılan kimyasalların biyota üzerindeki olası toksik etkilerine dikkat edilmesi gerekmektedir [22].

İç yüklemenin azaltılması amacıyla dip tarama ve fosfor inaktivasyonu karşılaştırıldığında, dip tarama ile daha uzun dönemli iyileşme görülmesine karşılık, fosfor inaktivasyonunun bu yöneme göre daha ekonomik olduğu ve daha hızlı etki ettiği tespit edilmiştir [24, 36, 74]. Uygulamanın ilk yatırım maliyeti nispeten yüksek gibi görülsede uzun dönemli etkisi göz önünde bulundurulduğunda yöntemin etkinliği sayesinde ilk yatırım maliyeti rahatlıkla amortede edilmektedir [35].

Kimyasal madde ilavesi özellikle makrofit yayılımının az olduğu, sedimentten fosfor salınımının yüksek olduğu, uzun yıllar yüksek besin elementi girişiyle fosfor yüküne maruz kalmış ve 75 mg/L üzeri (CaCO<sub>3</sub>) alkaliniteye sahip, sığ göller için daha etkin bir yöntemdir [22, 34, 73].

### **3.2.2.6 Göl Dibinin Taranması**

Göllerde ötrofikasyon kontrolü için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler uygulanabilmektedir. Dip tarama (ya da sediment tarama) da fiziksel bir göl iyileştirme yöntemidir. Ötrofikasyonun kontrolü amaçlı göl içi yönetim uygulamalarından biri olan bu yöntem; göllerin derinleştirilmesi ve balık üretimi için hacmin artırılması, besin elementlerince zengin veya zehirli madde içeren sedimentin uzaklaştırılması

amacıyla gerçekleştirilen ve uzun vadeli çözüm içeren ancak maliyeti yüksek bir yöntemdir [37, 39].

Gölde dip tarama konusunda dikkate alınması gereken hususlar; sedimentin yapısı, taranacak alanın derinliği, taranan sedimentin oluşturacağı çevresel etkiler, boşaltım alanına olan uzaklık ve sediment tarama metodları olarak sıralanmaktadır. Başka bir deyişle, dip tarama uygulaması; proje planlama, tasarım, işletme ve bakım konularını kapsayan bir işlemdir [40].

Dip taramanın uygulanacağı bir gölde sediment tabakasının kalınlığı, hacmi, sedimentteki partikül boyutu, organik madde içeriği gibi fiziksel karakteristiğinin yanında kirletici tipi, sedimentin toksik içeriği olup olmadığı gibi kimyasal özelliklerin de bilinmesi önemlidir. Taranacak alanın derinliği göldeki faaliyetlerin içeriği (balıkçılık, su yolu ulaşımı, su sporları vb.) ve sediment tabakasının kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir. Taranan sedimentin oluşturacağı çevresel problemler ise göl içi ve göl dışı olarak değerlendirilmelidir. Tarama esnasında çökelmiş olan besin elementlerinin tekrar süspanse olması önemli bir etkidir. Bunun yanında bentik tür ve toplulukların zarar görmesi, makrofitlerin popülasyonu ve çeşitliliğinin değişiklik göstermesi de göl içi etkiler olarak belirtilebilir. Göl çanağının tamamen taranması halinde bentik faunanın yeniden oluşumu 2-3 yılı alabilmektedir. Buna karşılık bir bölüm taranmadan bırakılırsa bu süre 1-2 yıla düşmektedir. Tarama malzemesinin göl dışına çıkarılması ve taşınması esnasında oluşacak dökülme ve sızıntılar kirlenmemiş alanların da kontamine olmasına neden olabilir. Tarama ve taşınım esnasında civar yerleşimleri etkileyecek gürültü kirliliği de önemli bir unsurdur. Bunun yanında tarama ile uzaklaştırılan sedimentin boşaltılacağı alanların seçimi de oldukça önemlidir. Taranan sediment doğrudan bir göle ya da nehre boşaltılacağı gibi, kapalı boşaltım alanlarına taşınması ya da dolgu malzemesi, tarımsal uygulamalar, sulak alan/habitat dolulukları için kullanılabilmesi de mümkündür [22, 24, 40].

Dip taramada dikkate alınması gereken noktalardan biri olan ekipman seçiminde; sedimentin özellikleri ve taranacak miktar, çalışma sahasındaki çevresel koşullar ve boşaltım alanına olan uzaklık gibi faktörler öne çıkmaktadır. Sediment

tarama yönteminde kullanılan ekipmanlar; mekanik, hidrolik ve pnömatrik olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır (Şekil 6). Sucul ortamlarda sert/kaya benzeri sedimentin uzaklaştırılmasında kullanılan sediment tarama uygulamalarının bir aracı olan mekanik ekipmanlar, uygulanişı açısından hidrolik ekipmanlara göre daha başarılıdır. Buna karşın hidrolik ekipmanlar mekaniklere kıyasla daha hızlıdır ve daha az bulanıklık oluşturmaktadır. Su içeriği %70'den fazla olan sedimentlerde hidrolik ekipmanlar daha etkin bir şekilde kullanılmaktadır [39, 40].



Şekil 6. Hidrolik (sol) ve Mekanik (sağ) Dip Tarama Uygulamaları [76]

Dip taramanın uygulanabilirliğine ilişkin kriterler; gölün sığ olması, düşük sedimentasyon hızı, organik açıdan zengin sediment yapısı, nispeten küçük havza alanı/yüzey alanı (10/1), uzun hidrolik su tutma süresi ve tarama sonrası etkin kullanım potansiyeli olarak sıralanabilir [39].

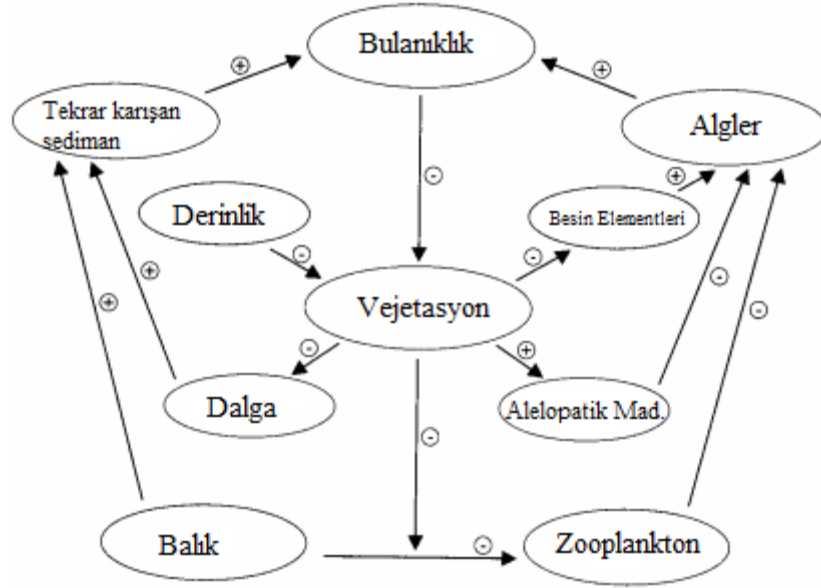
Dip taramaya ilişkin en uzun dönemli izlenen ve raporlanan uygulamalardan biri İsveç'te bulunan Trummen Gölü'nde gerçekleştirilmiştir. Sığ bir göl olan Trummen Gölü'nde 1970 yılında yarım metrelik bir tarama gerçekleştirilmiş bunu takiben 1971 yılında da yine yarım metrelik dip tarama yapılmıştır. Bu uygulamalar neticesinde gölün ortalama derinliği 1,1 m'den 1,75 m'ye yükselmiştir. Yüzeydeki toplam fosfor konsantrasyonunda yaklaşık %90 oranında düşüş olmuş, toplam azot konsantrasyonu ise %80 oranında azalmıştır. Gölde dip taramayı takiben

biyomanipülasyon uygulanmıştır. 1995'ten 2003'e değin su kalitesi taramanın yapıldığı ilk yıldaki ile aynı düzeyde kalmıştır. Amerika'daki Lilly Gölü'nde gerçekleştirilen tarama esnasında ise sediment yeniden süspanse olmuş ancak bu olumsuz etki uzun sürmemiştir. 1981 yılında gerçekleştirilen uygulama sonrasında 1981-1989 yılları arasında toplam fosfor konsantrasyonunda %35, toplam azot konsantrasyonunda ise %27 oranında azalma görülmüştür [22].

Ülkemizde göl ve göletlerde ötrofikasyonun kontrolü amaçlı sedimente ilişkin araştırmalar oldukça yenidir. Mogan Gölü ve Sakaryabaşı Batı Göleti'nde sedimentten fosfor salınımının tahminine yönelik araştırmalar kapsamında, sedimentten kaynaklı fosfor yüklemesinin gölün besin düzeyi üzerinde bir tehlike oluşturmadığı tespit edilmiştir [39].

### **3.2.2.7 Biyomanipülasyon**

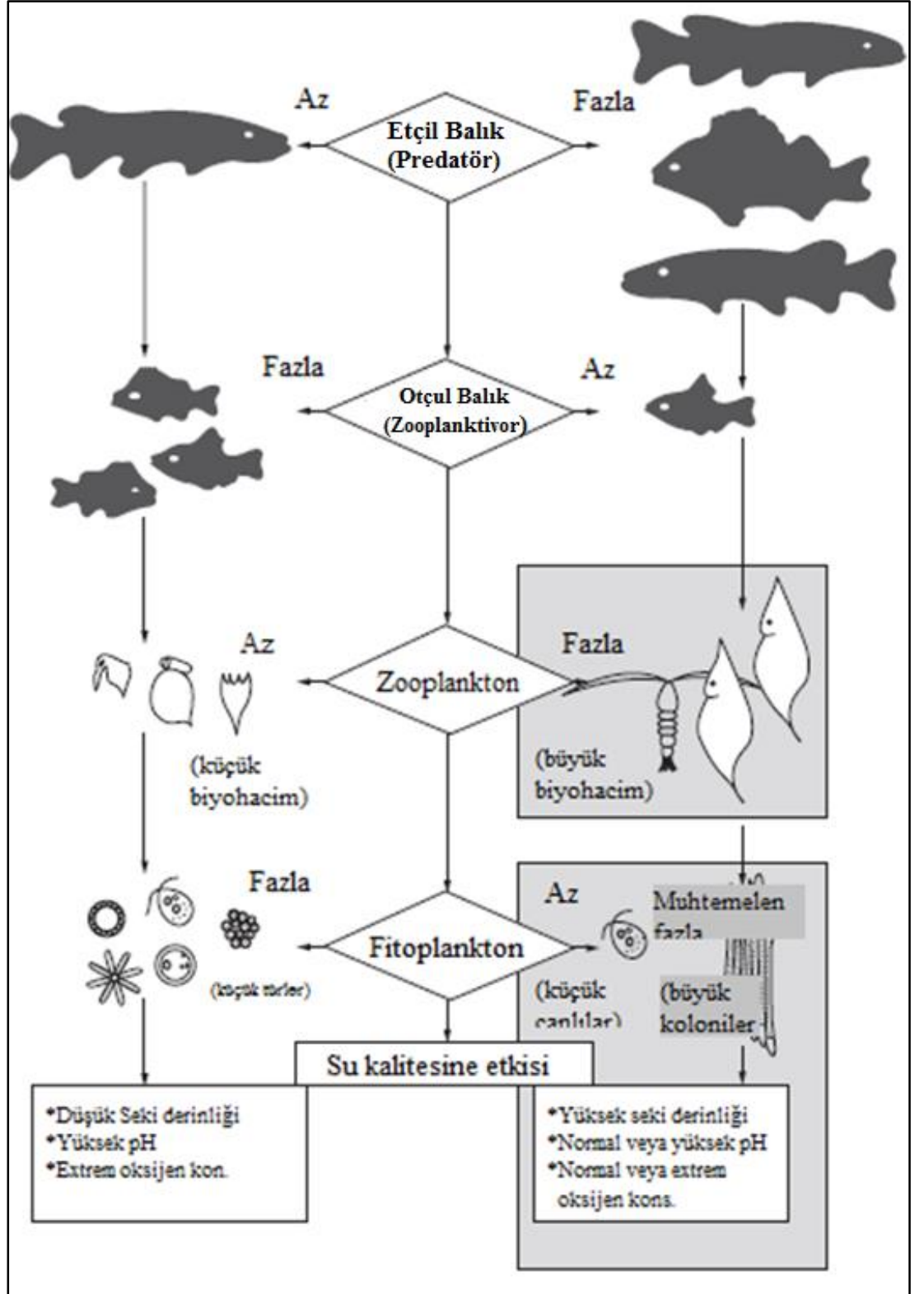
Bir göl ekosistemindeki ilişkiler ağı oldukça kapsamlıdır. Şekil 7'de sığ ve ötrofik göllerdeki bu ilişki ağı gösterilmektedir. Bu ilişkiler ağı değerlendirildiğinde göl yönetimi konusunda besin elementleri, derinlik ve balık unsurları müdahale edilebilir unsurlardır. Ekosistemdeki besin ağ yapısı büyük etçil (predatör) balıklar tarafından düzenlenmektedir. Bu balıkların popülasyonu avcılık vb. nedenlerle azaldığı durumda zooplankton ve bentoz ile beslenen balıklarda aşırı çoğalma gerçekleşmektedir. Nihayetinde zooplankton üzerindeki predasyon baskısı artmakta, zooplankton komünitesi azalmakta ve böylece ortama giren besin elementleri fitoplankton biyokütlesinde birikmektedir. Bunlar arasında özellikle mavi-yeşil algler ön plana çıkmaktadır. İleri aşamalarda da alg patlamaları, algal toksin salınımı ve oksijen yetersizliği meydana gelmektedir (Şekil 8). Zooplankton üzerindeki baskıyı azaltarak zooplankton yoğunluğunu artırmak, dolayısıyla fitoplankton yoğunluğunu sınırlandırmak maksadıyla da biyomanipülasyon gerçekleştirilmektedir. Biyomanipülasyon ya zooplankton üzerinden beslenen balıkların (özellikle *Rutilus rutilus* ve *Abramis brama* gibi sazangiller) uzaklaştırılması, ya da predatör balıkların (genellikle *Esox lucius* (turna balığı) ya da daha nadir *Perca fluviatilis* (tatlısu levreği)) stoklanması şeklinde yapılmaktadır. Bu iki yöntem birbirlerine alternatif olarak görülmemeli, birlikte uygulanmalıdır [42].



Şekil 7. Sığ ve Ötrofik Bir Göldeki İlişkiler Ağı

**Otçul balık çıkartılması:** Zooplankton üzerinden beslenen sazan ve kadife gibi balıkların seçilerek gölden alınması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Gölden çıkartma işlemi genellikle pound ağlar ya da trol kullanılarak yapılır. Bunların yanı sıra balık tuzakları, galsama ağları ve elektrikle balık avcılığı da kullanılmaktadır. Burada amaç bahsekonu balık biyokütlesini azaltarak göl içi ışık geçirgenliğini ve su altı bitki yayılımını yeniden artırmaktır [20, 43].

**Etçil balık eklenmesi:** Ekosistemde azalan turna ve tatlisu levreği gibi etçil balıkların stoklanmasında temel amaç, zooplankton tüketen balıkların her yıl ortaya çıkan yavrularının tüketilmelerini sağlamaktır. Bunun için bahar aylarında littoral zon boyunca *Esox lucius* yavruları göle bırakılır [20, 43].



Şekil 8. Biyomanipülasyon-Besin Zinciri Etkisi [22]

Biyomanipülasyonun sonuçları konusunda genel bir yargıya varmak mümkün olamamaktadır, zira besin zincirindeki değişime her göl farklı nitelikte tepki vermektedir [44]. Buna karşın, uygulamanın sığ göllerde tabakalaşmanın yaşandığı göllere kıyasla çok daha başarılı olduğuna dair yaygın bir görüş hâkimdir. Derin göllerde fitoplankton biyomasının yukarıdan-aşağıya kontrolü zayıflayarak etkisizleşmektedir [19]. Sığ göllerin bu uygulamadaki temel avantajı ise bu göllerde besin zincirinde gerçekleştirilecek manipülasyonlar sayesinde göl tabanında makrofit kolonizasyonunun artırılmasıdır. Tabanda oluşacak/artacak makrofit kolonizasyonu zooplanktonları otçul balıklardan korumaya yardımcı olmaktadır. Makrofit yataklarının oluştuğu alanlarda etçil balıkların beslenme verimi otçul balıklara kıyasla daha yüksek olmaktadır. Besin nedeniyle oluşan rekabette makrofitler fitoplanktonlara göre daha avantajlı olduklarından makrofitin yoğun olduğu alanlarda fitoplanktonlara (özellikle siyanobakterilere) yoğun olarak rastlanmamaktadır. Göl tabanındaki makrofit yoğunluğu tabandaki çökelmiş maddenin tekrar suya karışmasını engelleyici rol üstlenmektedir. Sığ göllerde bentik balıkların çıkarılması biyomanipülasyonun başarısını-çıktısını doğrudan etkilemektedir. Çünkü bu balıklar taban suyunu karıştırarak çökelmiş maddenin tekrar suya karışmasına neden olup suyu bulanıklaştırır ve içsel yükü artırır [45].

Biyomanipülasyonun başarısında gölün trofik seviyesi de önemli bir etkidir. Avrupa'da oligotrofik ve ötrofik göllerde genellikle üç seviyeli bir besin zinciri mevcutken (etçil balıkların yer almadığı fitoplankton, zooplankton ve zooplanktondan beslenen balıklardan oluşan yapı); mezotrofik göllerde etçil balıkların yoğun olarak bulunduğu dört seviyeli bir besin zinciri bulunmaktadır. Ötrofik göllerde etçil balık bulunmama nedeni ise besin rekabetinin olduğu durumlarda bu balıkların sazan türlerine karşı rekabet edememesi olarak gösterilmektedir [45]. Yönetimsel açıdan bakıldığında da biyomanipülasyon uzun vadede en çok ötrofik sığ göllerde başarılı olmaktadır. Fitoplanktonlardan beslenen *Daphnia*'nın çoğalmasıyla fitoplankton üzerindeki baskı artmakta ve birincil üretici olarak makrofitler domine olmaktadır. Böylelikle su temizlenmektedir [46].



Danimarka’da gerçekleştirilen biyomanipülasyon çalışmalarında 20 gölden 14’ünde seki derinliği %50’den fazla artmış, 21 gölden 8’inde ise klorofil-a değeri düşmüştür. Buna karşılık göllerin çoğunda toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonunda değişiklik olmamıştır [38]. Ancak çalışmalar göstermektedir ki biyomanipülasyondan yaklaşık 5-10 yıl sonra suyun bulanıklığı ve zooplankton tüketen balık miktarı artmaktadır. Bu sebeple, su kalitesindeki iyileşmenin devamlılığı açısından uygulamanın düzenli aralıklarla tekrarlanması gerekmektedir. Zira uzun vadede başarılı sonuçlar elde edilebilmesi için etçil ve otçul balıklar arasında dengeli dağılımın sağlanması gerekmektedir. Biyomanipülasyon, sığ göllerde yazın fosfor konsantrasyonunun 0.005 mg/L’nin altına düştüğü koşullarda uygulandığında uzun vadeli etki sağlayabilmektedir. Ancak uygulamanın başarı sınırı iklim koşulları ve dışarıdan göle girin azot yüküne bağlıdır. Dışarıdan gelen azot yükünün düşük olduğu, toplam fosfor düzeyinin ise yüksek ya da orta-yüksek olduğu durumlarda biyomanipülasyonun olumlu etkileri görülmektedir [37]. Biyomanipülasyon uygulamasında gölden faydalanan farklı grupların (özellikle balıkçılık alanında) desteğinin alınması uygulamanın başarısı açısından önemli bir unsurdur zira uygulama da bu gruplar tarafından gerçekleştirilebilir [47].

Biyomanipülasyon ülkemizde ilk kez Eymir Gölü’nde uygulanmıştır. Eymir Gölü’nün bozulan su kalitesi ve besin zinciri ilişkilerini iyileştirmek amacıyla 1998 yılında biyomanipülasyon başlatılmış gölden kadife ve sazan balıklarının %40’ı çıkartılmıştır. Biyomanipülasyon sonrası (Ağustos 1998-Haziran 2000 arası dönemde) göl suyunda bulanıklığa neden olan bitkisel-plankton yoğunluğu azalmış ve ışık geçirgenliği artmıştır. Gölde sualtı bitkileri, 2000 yılında göl toplam yüzey alanının %40’ına ulaşmıştır. Bu çalışma, göl ekosistemini tanımlayıp, bozulan besin zinciri ilişkisine müdahaleyle, besin zinciri yıkılmış göllerin su kalitesinin iyileştirilmesinde ekolojik yaklaşıma örnek teşkil etmektedir [48].

### 3.2.2.8 Yüzer Sulak Alan

Sulak alanlar, pek çok organizmaya yaşam alanı sağlaması, kirleticiler için filtre özelliği görmesi vb. özellikleri barındıran oldukça değerli su kaynaklarıdır. Ancak yeterli alanın bulunmaması, göller için sulak alan tasarımı ve inşasını zorlaştırmaktadır. Bu noktada da klasik sulak alanlara bir alternatif olarak yüzer sulak alanlar inşa edilebilmektedir [49].

Yüzer sulak alanlar, dokuma, geri dönüşümlü maddeler, kum, bitki lifleri gibi biyomalzemeler ve plastik materyalden oluşmaktadır. Bitkiler, yüzer sulak alan üzerinde bulunan torf ve malç üzerine dikilir. Bitkilerin gövdesi su seviyesinin üzerindeyken kökleri yüzer yapının altına doğru ve su kolonunda büyür. Tutunacakları toprağın olmaması nedeniyle kökler bitki için gereken besin elementleri doğrudan sudan alırlar. Yüzer alan oluşturulduktan sonra su kütesinin üzerine bırakılır. Gölde uygun yere getirildiğinde sabitlenir. Yüzer alan üzerindeki bitkiler büyürken çok çeşitli mikroorganizmaların büyümesi için geniş bir yüzey alanı oluştururlar. 23 m<sup>2</sup>'lik bir yüzer sulak alanın yüzey alanı yaklaşık 4.000 m<sup>2</sup>'lik bir doğal sulak alanın yüzey alanına denk gelmektedir [49, 50]. Uygun bitki seçimi uygulamanın başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle uygulanacak alanın iklim koşullarına uyum sağlaması, bu uyumu sağlarken de besin elementi gideriminde etkin olması önem taşımaktadır. Yüzer sulak alanlarda en sık kullanılan bitki farklı koşullara adaptasyon gösterebilen *Canna genus*'dur. *Typha genus*, *Cyperus*, *Lolium*, *Zizania* ve *Chrysopogon* türleri de literatürde sıklıkla uygulanmıştır [52].

Yüzer sulak alan göl içerisinde yerleştirildiğinde özellikle fosfor olmak üzere besin elementleri için bir "yutak-filtre" vazifesi görür. Su kolonunda yüzer vaziyetteki bitki kökleri tarafından tutulan besin elementleri rizofiltrasyon yoluyla, kökteki biyokütleyle katılır ya da gövde ve yapraklara taşınırlar veya çökelirler. Köklerdeki tüysü yapılar aerobik mikroorganizmaların faaliyetleri için gerekli ortamı oluşturur. Biyosentez (ya da biyokütleyle katılım) azot ve fosforun her ikisi için de geçerliken fosforun uzaklaştırılmasındaki temel proses çökelmedir. Bu çökelme de rizosferdeki demir, alüminyum ve kalsiyum bileşikleri yoluyla gerçekleşir. Amonyum azotunun

uzaklaştırılmasında bitkiler tarafından alınım, anaerobik amonyum oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon rol oynar [51, 52].

Yüzer alanın içindeki ve dibindeki mikrobiyal canlılar tarafından biyosentez için özümlenen azot ve fosfor daha sonra biyokütleyle dâhil olur. Bu biyokütlenin bir kısmı yüzer alandaki vejetasyon, bir kısmı diğer mikroorganizmalar, bir kısmı ise yüzer alan üzerinde bulunabilecek omurgasızlar gibi daha büyük canlılardır. Bu besin elementlerinin bir bölümü balıklar gibi daha yüksek yapıları canlılara dâhil olarak sulak alandan uzaklaşabilir. Çeşitli çalışmalar göstermektedir ki 23 m<sup>2</sup>'lik bir yüzer sulak alandan yıllık yaklaşık 4,5 kg fosfor uzaklaştırılmaktadır. Yaklaşık 0,45 kg fosforun 500 kg ıslak hacimde alg biyokütlesi oluşturduğu hesaba katılırsa, 23 m<sup>2</sup>'lik bir yüzer sulak alan 5 tona yakın ıslak hacimde alg biyokütlesi oluşumunu engeller [49, 50].

Uygun şekilde kurulması halinde, yüzer sulak alanlar su kolonundan besin elementi gideriminde oldukça etkin bir yöntemdir. Yüzer sulak alandaki plastik materyal bitkilerin köklerini donmaktan koruduğundan kışın da göl yüzeyinde kalabilir. Kurulum ve işletme/bakım maliyeti düşük bir yöntemdir. Yüzer alan üzerindeki bitkiler ekildikten sonra üzerinde biyokütlenin oluşumunun sağlanması ve yüzer alan üzerine iyi şekilde entegre olması için en az 2-3 büyüme mevsimi süresince hasat edilmemesi gerekmektedir. Ancak yüzer alan üzerindeki vejetasyon aşırı düzeyde artarsa su kolonundaki oksijen seviyesi düşer ve sediment üzerinde anaerobik koşullar oluşur. Nihayetinde, aşırı büyümeyi engellemek ve tutulan besin elementlerinin uzaklaştırılması için bitkiler birkaç yıl sonra hasat edilmelidir. Bu açıdan değerlendirildiğinde sürekli işçilikten çok periyodik işgücü gerektirir [49].

Yüzer sulak alanlarla ilgili olarak bazı kısıtlamalar da mevcuttur. Yüzer sulak alanların yaklaşık ömrü 15 yıl olarak tahmin edilmektedir. Amerika'daki bazı göllerde yapılan izlemelerde bu sürenin 10-15 yıl olduğu görülmüştür. Genel olarak uygun maliyetli bir uygulama olmakla birlikte, su kolonundaki fosfor konsantrasyonu 0,1 mg/L ve üzeri göllerde çok daha maliyet etkin bir yöntem olduğu belirtilmektedir. Mümkünse yüzer sulak alanlar, besin elementi açısından zengin suyun göle giriş noktalarının önüne ya da bitişiğine yerleştirilir [49]. Yüzer sulak alanlar için gereken

su derinliği değişmekle beraber, makrofit köklerinin gl dibindeki bentik yapıya ulaşmaması için 0,8-1 m derinliğin sağlanması gerekmektedir (şekil 9). Aksi takdirde makrofit kökleri sedimente tutunarak yüzer yapının batmasına neden olur [50].

Çin'de su ürünleri yetiştiricilik alanlarından biri olan Taihu Gl'nde balık atıklarından kaynaklanan amonyak, atıkların kontaminasyonu, şiddetli yağmur nedeni ile artan aşırı alg çoğalmasını iyileştirmek ve önlemek için yüzen adalar kurulmuştur. Gölde yüzen adalarda kökleri hayvanlar tarafından yenebilen Kana ieği (*Canna lily*) kullanılmıştır (şekil 10). Başka bir çalışmada da Wollundry Lagünü'nnde yine besin elementlerini ve alg artışını azaltmak amacı ile 6x20 m yüzer sazlık alan pilot projesi gerçekleştirilmiştir. Projede, 9 ay sonra su berraklığı artmış, AKM'de ve besin elementlerinde azalma görülmüştür [53]. Çeşitli çalışmalardan elde edilen ortalama giderim verimlerine bakıldığında ise toplam azot (TN) için ortalama %58, toplam fosfor (TP) için ortalama %48,7, NH<sub>4</sub>-N için ortalama %72,8, KOİ için ortalama %57,8 giderim sağlandığı görülmektedir [52].



şekil 9. Yüzer Sulak Alan Görünümü [53]



Şekil 10. Çin'de Yüzer Sulak Alan Uygulaması [53]

### **3.2.2.9 İyileştirme Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları**

Çalışma kapsamında ele alınan iyileştirme yöntemleri önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır. Sekiz iyileştirme yönteminin de kendi içinde avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar ve dezavantajlar Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. İyileştirme Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

İyileştirme Yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Yapay Sirkülasyon	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sıklıkla uygulanmış bir yöntem</li> <li>Çözünmüş oksijen, demir, mangan, amonyum ve pH'da iyileşme</li> <li>Göl çevresine doğrudan bir etkisinin olmaması</li> <li>Yöntemin etkisinin hızlı şekilde gözlemlenmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yüksek maliyet</li> <li>Sirkülasyonu sağlayacak havanın verileceği derinliğin önemi (kritik derinlik)</li> <li>Uzun vadeli çözüm getirmemesi</li> <li>Yıl içerisinde tekrarlanması gereği</li> <li>Gölde tam karışım nedeniyle sıcaklığın artması durumunda düşük sıcaklıkta yaşayan türler için risk oluşturması</li> <li>Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri</li> </ul>
Hipolimnetik Havalandırma	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kolay uygulanabilirlik</li> <li>Çözünmüş oksijen, demir, mangan, amonyum ve pH'da iyileşme</li> <li>Yöntemin etkisinin hızlı şekilde gözlemlenmesi</li> <li>Zooplankton yoğunluğunun ve balık habitatının artması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Göle besin elementi girdisi devam ettikçe tekrarlanması gerekliliği</li> <li>Maksimum derinliğin 12-15 m'den az olduğu ya da hipolimnetik hacmin düşük olduğu durumlarda önerilmemesi</li> <li>Tabakalaşmanın olduğu dönemde uygulanması (hipolimniyonda uygulanması)</li> <li>Havalandırma sürecinde hipolimnetik suyun azot gazınca aşırı doymuş olması halinde balık ölümlerine neden olma ihtimali</li> <li>Kalıcı çözüm getirmemesi</li> <li>Yüksek maliyet</li> <li>Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri</li> </ul>
Hiplimniyondan Su Çekimi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nispeten düşük maliyet</li> <li>Uzun vadeli çözüm getirmesi</li> <li>Uygulama yapılan göllerde başarılı sonuçlar</li> <li>Yöntemin etkisinin hızlı şekilde gözlemlenmesi</li> <li>Hipolimnetik TP giderim veriminin %70-80 civarında olması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tabakalaşmanın olduğu dönemde uygulanabilmesi</li> <li>Suyun transfer edileceği alanda olası koku ve kirlilik problemi</li> <li>Belirli aralıklarla tekrarlanması gereği</li> <li>Tabakalaşmanın olduğu dönemde uygulanacağından ekipmanın bakımı (borulardaki birikim, paslanma vb.)</li> </ul>

<b>İyileştirme Yöntemi</b>	<b>Avantaj</b>	<b>Dezavantaj</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Özellikle derin ve yüzey alanı küçük olan göllerde başarılı neticeler vermesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri</li> </ul>
Göl Suyunun Değiştirilmesi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uzun vadeli çözüm getirmesi</li> <li>• Çok sayıda vakada etkili sonuç eldesi</li> <li>• Uygulamanın dış faktörlerden etkilenmemesi (gölün morfolojisi, iklim koşulları, göl çevresinin yapısı vb.)</li> <li>• Uygulamanın tekrarlanmasına gerek duyulmaması</li> <li>• Düşük maliyet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Göl ekosistemi üzerinde olumsuz etki</li> <li>• Gölü dolduracak yeterli yer altı suyunun bulunması güçlüğü</li> <li>• Suyun transfer edileceği alanın bulunma güçlüğü</li> <li>• Suyun transfer edileceği alanda olası koku ve kirlilik problemi</li> <li>• Sedimentten salınım üzerine iyileştirme etkisinin olmayışı</li> <li>• Yüksek işgücü gerekliliği</li> <li>• Yöntemin etkisinin oldukça yavaş şekilde gözlemlenmesi</li> <li>• Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri</li> </ul>
Kimyasal Madde İlavesi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük maliyet</li> <li>• Uzun vadeli çözüm getirmesi</li> <li>• Uygulama yapılan göllerde başarılı sonuçlar</li> <li>• Yöntemin etkisinin oldukça hızlı şekilde gözlemlenmesi</li> <li>• Makrofit yayılımının az, sedimentten fosfor salınımının yüksek olduğu, uzun yıllar yüksek besin elementi girişine maruz kalmış, 75 mg/L ve üzeri alkaliniteye sahip sığ göller için daha etkin bir yöntem olması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Göl ekosistemi üzerinde olası toksik etki</li> <li>• Uygulamanın tekrarlanma gerekliliği</li> <li>• Uygun pH aralığı gerekliliği</li> <li>• Uygulamanın dış faktörlerden etkilenmesi (gölün morfolojisi, iklim koşulları, göl çevresinin yapısı vb.)</li> <li>• Uygulama öncesi ve sonrası gölün uzun dönemli izlenmesi gerekliliği</li> <li>• Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri</li> </ul>
Göl Dibinin Taranması	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uzun vadeli çözüm getirmesi</li> <li>• Toksik madde giderimi</li> <li>• Göl derinliğinin artması</li> <li>• Besin elementleri açısından zengin sedimentin uzaklaştırılması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek ilk yatırım maliyeti</li> <li>• Yüksek işgücü gerekliliği</li> <li>• İşlem esnasında sedimentin yeniden süspanse olma riski</li> <li>• Bentik tür ve toplulukların zarar görmesi riski</li> </ul>

<b>İyileştirme Yöntemi</b>	<b>Avantaj</b>	<b>Dezavantaj</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Küçük ve sığ göllerde daha etkin şekilde uygulanması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taranan sedimentin katı madde içeriğinin düşük olması (yaklaşık %2 ile %30 arası) nedeniyle susuzlaştırma vb. maliyeti</li> <li>• Taranan sedimentin taşınması ve çevreye zarar vermeden uygun şekilde bertarafı sorunu</li> <li>• Tarama ve tarama malzemesinin taşınımı esnasında çevre yerleşimleri etkileyebilecek gürültü kirliliği</li> <li>• Taşınan sedimentin alıcı ortamda yaratabileceği koku problemi</li> <li>• Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri</li> </ul>
Biyomanipülasyon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çok düşük maliyet</li> <li>• Düşük işgücü gerekliliği</li> <li>• Kolay uygulanabilirlik</li> <li>• Sığ ve ötrofik göllerde daha etkin sonuçlar vermesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Göle özgü nitelikte sonuçlar vermesi</li> <li>• Su kalitesindeki iyileşmenin devamlılığı açısından uygulamanın düzenli aralıklarla tekrarlanması gereği</li> <li>• Gölden faydalanan gruplardan (balıkçılar vb.) gelecek olası tepkiler</li> <li>• Etki hızının etçil balık eklenmesi ya da otçul balık çıkarılması durumuna göre farklılık göstermesi</li> <li>• Uygulamanın başarısının iklim koşullarından etkilenmesi</li> <li>• Uygulanan göllerin çoğunda toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonlarında değişiklik olmaması</li> </ul>
Yüzer Sulak Alan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük maliyet</li> <li>• Kolay işletim ve bakım</li> <li>• Düşük işgücü gerekliliği</li> <li>• Uzun vadeli çözüm getirmesi</li> <li>• Su kolonundaki fosfor konsantrasyonu 0,1 mg/L ve üzeri göllerde daha maliyet etkin uygulama</li> <li>• Fosfor gideriminin yanında kayda değer biçimde azot gideriminin de sağlanması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüzer sulak alan üzerindeki vejetasyonun aşırı artması halinde su kolonundaki oksijen seviyesinin azalması riski</li> <li>• Seçilecek bitkilerin iklim koşullarına uyum sağlaması ve giderim açısından etkin olması gereği</li> <li>• Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri</li> </ul>



## 4. ANALİTİK HİYERARŞİ METODU (AHP)

Analitik Hiyerarşi Metodu (AHP) birden fazla seçeneğin ve seçim kriterinin olduğu durumlarda karar seçeneklerini derecelendiren ve karar verici(ler) için en uygun seçeneğin bulunmasını sağlayan bir yöntemdir. Tez çalışmasının bu bölümünde de AHP'nin aksiyomları, karar verme ilkeleri, aşamaları, kullanım alanları ve çalışma kapsamında kullanılan yazılım hakkında bilgi verilmiştir.

### 4.1 Analitik Hiyerarşi Metodu Nedir?

Bilişsel psikolog Blumenthal (1977) karar verme süreçlerini kesin yargı, bazı basit uyaranların büyüklüklerinin belirlenmesi olarak tanımlamaktadır. Buna karşılık göreceli yargı, iki uyaran arasındaki bazı ilişkilerin belirlenmesidir. Kesin yargı, kısa dönemli hafızada kalan bilgi ve tek bir uyaran arasındaki ilişkiyi, uyaranlara ilişkin geçmiş kıyaslamaları ya da önceden tecrübe edilmiş değerlendirme ölçeklerini kapsar. Bu kapsamda bir yargıya ulaşabilmek için kişi, o uyarana ilişkin anlık izlenimi ile benzer bir uyarana dair geçmiş izlenimini karşılaştırmalıdır. Nesnelliğin temel kural olduğu durumlarda, önsezilerin ya da yargıların kullanılması sorguya açık bir yol olarak değerlendirilmektedir. Ancak rakamlar standart bir ölçekten elde edilmiş ve kesinlikle nesnel sonuçları yansıtsa dahi yorumlanmaları her daim özeldir. Bu doğrultuda, öznel yargıların somut çıktılarının elde edilmesinde kullanılmasının doğrulanması yoluyla soyut hususlar için de öznel yargıların kullanılması konusuna ilişkin bir güven oluşturulabilecektir [54].

Birden çok kriter, amaç ve/veya alternatif içeren karmaşık problemlerin çözümünde de karar verme sürecinin kontrol altında tutulabilmesi oldukça önemlidir. Örneğin sonlu sayıda seçeneğin seçilme, sıralanma, sınıflandırma, önceliklendirme veya elenme amacıyla genellikle ağırlıklandırılmış, birbirleri ile çelişen ve aynı ölçü birimini kullanmayan hatta bazıları nitel değerler alan çok sayıda ölçüt kullanılarak değerlendirilmesi gereği ortaya çıkabilmektedir. Bu noktada da “Çok Ölçütlü (Kriterli) Karar Verme (ÇKKV)” yöntemlerinin kullanılması gerekir [62]. ÇKKV yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Metodu (AHP) de uzman görüşlerinden

elde edilen değerlendirme ölçekleri çerçevesinde şekillenmektedir. Bu ölçekler vasıtasıyla soyut hususlar göreceli olarak ölçülebilmektedir [55].

AHP ilk olarak Mayers ve Alpert tarafından 1968 yılında ortaya atılmıştır. 1977 yılında ise Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHP karar vericilerin karmaşık problemleri; problemin ana hedefi, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir. AHP ile karar vericinin hem objektif hem de subjektif düşünceleri karar sürecine dâhil olabilmektedir. Bu anlamda AHP; bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir [55].

Basit ve en genel ifadeyle, AHP ile yargılar daha genel ve az kontrol edilebilir, daha özel ve daha fazla kontrol edilebilire doğru düzenlenmektedir [54]. AHP ile karar vericilerin farklı psikolojik ve sosyolojik durumlardaki gözlemleri de dikkate alınarak kendi karar verme mekanizmalarını tanıma olanağı sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle de AHP, kişileri nasıl karar vermeleri gerektiği konusunda bir yöntem kullanmaya zorunlu kılmak yerine, onlara kendi karar verme mekanizmalarını tanıma imkânı sağlayarak daha iyi kararların alınmasını sağlayan bir yöntemdir [56].

#### 4.2 AHP'nin Aksiyomları

AHP'nin temelini dört aksiyom oluşturmaktadır. Bunlar;

- Terslik
- Homojenlik
- Bağımsızlık
- Bütünlük

olarak sıralanmaktadır.

**Terslik:** Karar vericiler tarafından yapılacak olan ikili karşılaştırmalar terslik şartına bağlı olarak yapılmalıdır. Kriterlere göre alternatifler ya da kriterlerin birbirleri ile karşılaştırılması yapılırken A kriteri ya da alternatifi B ile karşılaştırıldığında eğer A, B'den x kat daha önemli ise B'de A'dan 1/x kat daha önemli olmalıdır. Terslik

ilkesi uygulanamaz ise, değerlendirme için kullanılan sorunun veya karşılaştırmaların yeterince açık olmadığı ya da doğru belirtilmediği ortaya çıkar [57].

**Homojenlik:** Özellik bakımından farklı elemanların birbirleri ile karşılaştırılması zor olduğundan anlamlı karşılaştırmalar yapabilmek için homojenlik önemlidir. İki eleman birbirleri ile karşılaştırılırken biri diğerine göre sonsuz kez daha önemli olamaz. Aksi takdirde problemin sonucu önceden belli olmuş olur ve problemin çözümü için herhangi bir yöntem kullanmaya gerek kalmaz. Bu nedenle karşılaştırma yapılırken tercihler için bir ölçek kullanılması gerekir. AHP yönteminde genel olarak kabul görmüş ölçek 1-9 arasında olduğundan tercihler 1/9 ile 9 arasında olacaktır [58].

**Bağımsızlık:** Bir kademeye ait elemanlara ilişkin yargıların veya önceliklerin başka bir kademedeki elemanlardan bağımsız olması gerekir. Başka bir ifade ile üst kademe önceliklerinin yeni bir alternatif eklendiğinde veya çıkarıldığında değişmemesi gerekir [59].

**Bütünlük:** Karar verme işleminin yapılabilmesi için, problemi etkileyen tüm kriterler ve alternatifler hiyerarşik bir yapı içerisinde gösterilir [59]. Bir karara varmak için, hiyerarşik yapının tam olduğu varsayılmaktadır. Eğer bu aksiyoma uyulmaz ise karar verici, tüm kriterleri veya tüm uygun seçenekleri kullanmamış demektir. Bu durumda verilecek karar, yetersiz olacaktır.

#### 4.3 AHP'nin Karar Verme İlkeleri

AHP ile karar verme sürecinde dikkate alınması gereken 3 temel ilke bulunmaktadır. Bunlar;

- Ayrıştırma
- İkili karşılaştırma
- Sentez'dir.

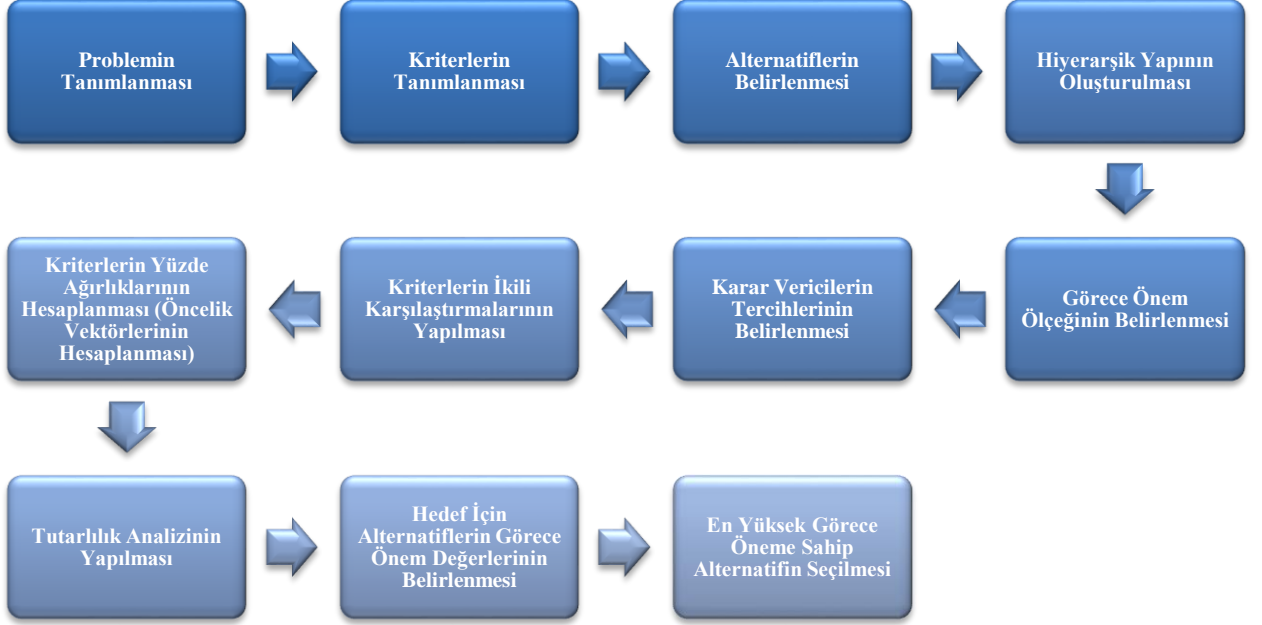
**Ayrıştırma İlkesi:** Problemin temel öğelerinin belirlenmesi için hiyerarşinin yapılandırılmasını içerir. Amaçtan başlayarak kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin hiyerarşik yapılandırılmasıdır. Böylece problem, genelden daha özel yapılara bölünerek detaylandırılmış ve belirginleştirilmiş olur. En alt seviyedeki kriterlere ulaşıncaya kadar süreç devam eder. Karar hiyerarşisinin en tepesinde hedef/amaç yer almaktadır. Bir alt kademe, kararın kalitesini etkileyecek ana kriterlerden oluşmaktadır. Bu kriterlerin hedefi etkileyebilecek özellikleri varsa, hiyerarşiye başka kademeler eklenebilir. Hiyerarşinin en altında alternatifler yer almaktadır. Hiyerarşinin kademe sayısı, problemin karmaşıklığına ve detay derecesine bağlıdır. [60].

**İkili Karşılaştırma İlkesi:** Karşılaştırmalı yargılar veya ikili karşılaştırmalar AHP'nin ikinci temel adımını oluşturmaktadır. İkili karşılaştırma terimi iki kriterin birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargısına dayanır. İkili karşılaştırmalar karar kriterlerinin ve alternatiflerin öncelik dağılımlarının kurulması için tasarlanmıştır. İkinci düzeydeki öğelerin, birinci düzeydeki genel amaç karşısındaki göreceli önceliklerinin ikili karşılaştırılmasını yapmak için bir matrisin oluşturulmasını içerir. Ölçüm için bir ölçek bulunmaması halinde, değerlendirme karar verici tarafından yapılabilir. İkili karşılaştırmalar sonucunda hiyerarşide aynı düzeyde yer alan tüm öğelerin yerel öncelikleri belirlenmiş olur [60].

**Sentez İlkesi:** İkili karşılaştırma matrisleri geliştirildikten sonra karşılaştırılan her elemanın önceliğinin (göreceli öneminin) hesaplanmasına geçilmektedir. AHP'nin bu bölümü "sentezleme" adıyla anılır. Öncelik vektörlerinin kurulmasında lineer cebir tekniklerinden faydalanılmaktadır. Sentez aşaması, en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanmasını ve normalize edilmesini içermektedir. Bu amaçla kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak literatürde en yaygın olarak kullanılan normalizasyon yönteminde her sütunun elemanları o sütunun toplamına bölünür. Elde edilen değerlerin satır toplamı alınıp, bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünür. Bu şekilde her kriter için öncelik vektörleri bulunur [55].

#### 4.4 AHP'nin Aşamaları

AHP'nin aşamaları Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. AHP'nin Aşamaları [61]

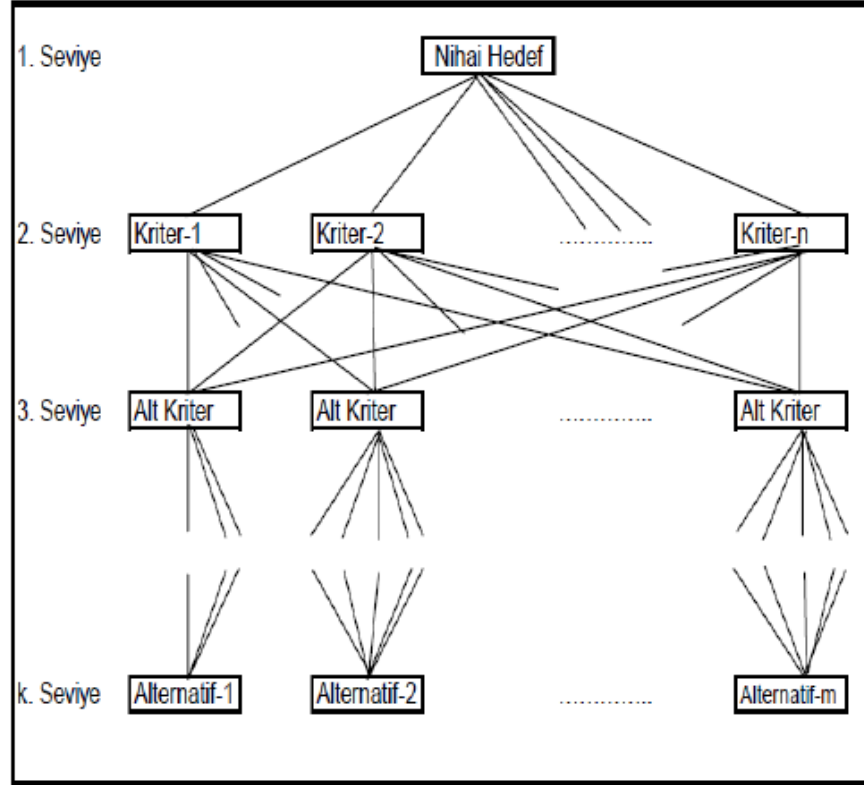
**1. Problemin Tanımlanması:** İlk aşamada problem tanımlanır. Böylelikle ulaşılmak istenen hedef (nihai amaç) da tanımlanmış olur [61].

**2. Kriterlerin Tanımlanması:** Probleme ilişkin seçilecek olan alternatifin sahip olması gereken kriterler tanımlanır. Kriterlerin tanımlanması aşamasında konuyla ilgili kişilerin görüşleri alınarak bir ihtiyaç listesi oluşturulması gerekir [61].

**3. Alternatiflerin Belirlenmesi:** Hedefe ulaşılabilmesi için tüm alternatifler belirlenir [61].

**4. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması:** Genel hedeften başlayarak ikinci aşamada belirlenen kriterlere ve sonrasında yer alan alternatiflere doğru bir hiyerarşik yapının oluşturulmasını kapsar. Hiyerarşik yapıda yer alan hedef, kriter ve alternatif

öğelerinin her bir kümesi farklı bir hiyerarşi düzeyini oluşturur. Hiyerarşi oluşturulurken AHP'nin bağımsızlık aksiyomu gereği aynı seviyedeki öğelerin birbirinden bağımsız oldukları varsayılır. Şekil 12'de basit bir hiyerarşi yapısı gösterilmiştir [61].



Şekil 12. AHP'nin Hiyerarşik Yapısı [63]

**5. Görece Önem Ölçeğinin Belirlenmesi:** Sonraki aşamalarda yapılacak olan ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması için kriterlerin önem derecelerini ifade eden sayılardan oluşturulmuş görece önem ölçeği belirlenir. Önem derecelerini belirtmek için 5 ana ve 4 ara değerden oluşan 1-9 ölçeğini geliştirmiştir. Tablo 7 7'de geliştirilen ölçek değerleri ve bu değerlerin kavramsal karşılıkları görülmektedir. Literatürde 1-5, 1-7 ve 1-20 gibi ölçekler de bulunmaktadır. Ancak bu ölçekler uygun çözümü elde etmede yetersiz kalmakta olup, uygulamada en iyi sonucu 1-9 ölçeği vermektedir [61].

Tablo 7. AHP Değerlendirme Ölçeği [54]

Önem Derecesi	Tanımı	Açıklaması
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faaliyet de amaca eşit katkıda bulunur.
3	Orta Derecede Önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir.
5	Güçlü Derecede Önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre çok daha fazla tercih edilir.
7	Çok Güçlü Derecede Önemli	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır.
9	Son Derece Önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2, 4, 6, 8	Ara Değerler	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır.

**6. Karar Vericilerin Tercihlerinin Belirlenmesi:** AHP'nin uygulanması aşamasında, çalışılan konuya ilişkin kişi/kişilerin tercih ettikleri kriterlerin önem derecelerine dair görüşleri Tablo 7'deki ölçek doğrultusunda saptanır. Kriterlerin her biri ikili karşılaştırmalara tabi tutulur. Sonuçların tutarlılığı bu ölçeklendirme ile doğrudan ilişkili olduğundan görüşlerine başvurulacak kişilerin karar verilecek konu hakkında uzman veya yeterli bilgiye sahip olmaları gerekir. Karar vericinin tek bir kişi olduğu durumda AHP'de tercihlerin ortaya konulup karar alınması daha kolaydır. Ancak birden fazla kişinin karar vereceği koşullarda tutarlılık açısından tercihlerin geometrik ortalamasının alınması uygun görülmektedir [61].

**7. Kriterlerin İkili Karşılaştırmalarının Yapılması:** Karar vericilerin belirledikleri önem derecelerini gösteren sayılarla ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. Kriter sayısı  $m$  olan bir karar sürecinde  $m(m+1)/2$  adet karşılaştırma yapılır. Bu matris  $m \times m$  boyutludur. Tablo 8'de kriterler için ikili karşılaştırma matrisi görülmektedir. Bu matris, tüm değerleri pozitif ve köşegeni 1 olan bir matristir [61].

Tablo 8. İkili Karşılaştırma Matrisi

	Kriter 1 ( $K_1$ )	Kriter 2 ( $K_2$ )	Kriter 3 ( $K_3$ )	...	Kriter $m$ ( $K_m$ )
Kriter 1 ( $K_1$ )	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{1m}$
Kriter 2 ( $K_2$ )	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	...	$a_{2m}$
...	...	...	...	...	...
Kriter $m$ ( $K_m$ )	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	...	$a_{mm}$

**8. Kriterlerin Yüzde Ağırlıklarının Hesaplanması (Öncelik Vektörlerinin Hesaplanması):** İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra matris değerlerinin normalleştirilmesi gerekir. Normalizasyon işlemi için çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte en yaygın kullanılan yöntem her bir sütun elemanının bulunduğu sütunun toplamına bölünmesidir [61].

**9. Tutarlılık Analizinin Yapılması:** Karar vericinin hiyerarşideki kriterleri ikili olarak karşılaştırırken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için her bir ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranının hesaplanması gerekir. Bu oran dâhilinde hiyerarşinin geçerliliği hakkında bilgi sahibi olunur. Önerilen tutarlılık oranının üst limiti 0,10'dur. Tutarlılık oranının bu değerin altında kaldığı durumlarda ikili karşılaştırma matrisindeki yargıların yeterli bir tutarlılık sergilediği ve değerlendirmeye devam edilmesi gerektiği kabul edilir. Ancak bu oran 0,10'un üzerine çıkarsa ikili karşılaştırma matrisindeki yargıların tutarsız olduğu kabul edilir ve matristeki yargıların tekrar gözden geçirilmesi gerekir [63].

**10. Hedef İçin Alternatiflerin Görece Önem Değerlerinin Belirlenmesi:** Her bir alternatif için her bir kriter açısından yüzde ağırlıklar ile kriterlerin ikili karşılaştırmalarından elde edilen yüzde ağırlıklar bire bir olmak kaydı ile çarpılır. Daha sonra her alternatife ait bu çarpım değerleri toplanarak alternatiflerin görece önem değerleri elde edilir [61].

**11. En Yüksek Görece Öneme Sahip Alternatifin Seçilmesi:** Her bir alternatife ait görece önem değerleri gözden geçirilerek hedefe ulaşmak için dikkate alınan kriterler çerçevesinde en büyük görece önem değerine sahip olan alternatifin seçilmesine karar verilir [61].

#### **4.5 AHP'nin Kullanım Alanları**

Literatürde AHP'nin pek çok kullanım alanı olduğu görülmektedir. Örneğin pazarlama, finans, eğitim, sağlık, kamu politikaları, ekonomi, enerji, üretim, yatırım, yer seçimi, spor ve kalite kontrol alanlarında çok sayıda AHP uygulaması araştırmalara konu edilmiştir. Bunların yanında portföy seçimi, teknoloji seçimi, bütçe planlama,



ulaştırma, strateji ve politika belirleme vs. gerçek yaşam sorunlarına ait bir çok uygulama da mevcuttur [62]. AHP'nin su yönetimi alanındaki kullanımına bakıldığında literatürde atıksu arıtma prosesi seçimi [63, 64], su temini [65] ve su kaynaklarının yönetimi [66, 67] konusunda çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Çin'deki Thaiu Gölü'nün restorasyonu için en uygun yatırım ve finansal programının seçilmesi konusunda AHP kullanılmıştır. Devlet desteği, finans kurumlarından hibe ve franchise sisteminin değerlendirildiği çalışmada en uygun yöntemin franchise sistemi olduğu belirlenmiştir [67]. Çin'deki Qingshan Gölü için ekolojik değerlendirme alışmasında AHP kullanılmıştır [78].

#### **4.6 Expert Choice Yazılımı**

1980'li yılların başında George Washington niversitesi'nden Prof. Dr. Ernest Forman tarafından geliştirilen Expert Choice Yazılım Programı AHP zerine kurgulanmıştır. Program karmaşık problemlerin analizinde kullanılan bir karar destek aracıdır. Program, kullanıcılara yapısal bir yaklaşımla ve nceliklendirme esasına dayanan bir süreç sunmaktadır. Programla, karar vericilerin kolay bir şekilde problemin hiyerarşik yapısını oluşturmaları, ikili karşılaştırmaları yapmaları, zdeğer yaklaşımı ile göreceli öncelikleri hesaplamaları sağlanabilmektedir.

İkili karşılaştırmalar yapılırken sözel, sayısal veya grafiksel karşılaştırma seçenekleri tercih edilebilir. Program bireysel ve grup bazında analiz yapmaya uygundur. Program IBM'in işletme kararlarından ABD Genelkurmay Başkanlığı'nın askeri gleri yönlendirmesine kadar birçok kritik kararların alınmasında liderlere kılavuzluk eder. Dünyanın her yerinde çok yüksek sayıda özel firma ve kamu kuruluşu, çok farklı uygulama alanlarında Expert Choice yazılımını kullanmaktadır [62].

## 5. MANYAS GÖLÜ ALT HAVZASI

RAMSAR alanı olan ve ülkemizin en önemli sulak alanlarından biri olan Manyas Gölü evsel, endüstriyel ve tarımsal baskılar nedeniyle kirlenmiş durumdadır. Su kalitesi izleme çalışması yapılan istasyonların verilerine göre kalite sınıfı IV. Sınıftır. Trofik durum açısından bakıldığında gölün hipertrofik durumda olduğu görülmektedir. Tezin bu bölümünde, çalışma alanı olarak belirlenen Manyas Gölü'ne ilişkin genel bilgiler, su bütçesi, baskı unsurları, su kalitesi durumu, kirlilik yükü ve Bakanlığımız Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Manyas Gölü Alt Havzası Su Kalitesi Eylem Planı'nda verilmiş olan eylemler değerlendirilmiştir.

### 5.1 Havzanın Genel Özellikleri

Manyas (Kuş) Gölü, idari olarak Balıkesir ilinin Bandırma ve Manyas ilçeleri sınırları içinde, Marmara denizinin güneyinde, Uludağ ile Biga yarımadası arasında uzanan bir çöküntünün içinde yer almaktadır. Göl ve çevresinde merkez dâhil 19 yerleşim alanı bulunmaktadır. Suları tatlı ve sığ bir göl olan ve her yıl 3 milyona yakın kuşa ev sahipliği yapan Manyas Gölü, güneyden gelen Kocaçay ve Mürüvetler Deresi kuzeyden gelen Sığırcı Deresi ve diğer yan dereler ile göl drenaj alanı yüzeysel akışı ve göl alanına düşen yağışlarla beslenmektedir. Boşalımı ise buharlaşma, sulama amacıyla çekilen sular ve güneydoğudan çıkan Karadere ismini alan göl ayağından Susurluk Çayı'na taşınan sularla gerçekleşmektedir. Göl su seviyesi mevsimlere göre değişmektedir. İlkbahar da göl suları yükselerek kıyıları kaplamakta, yaz aylarında ise geri çekilmektedir. Bu ritmik olay her yıl düzenli olarak tekrarlanmaktadır [69].

Devlet Su İşleri (DSİ) 25.Bölge Müdürlüğü tarafından yapılan su kalitesi izleme çalışmalarında Aralık 2014-Aralık 2015 dönemleri arasında gölün maksimum derinliği 4,10 m, minimum derinliği 1,88 m olarak ölçülmüştür. Ortalama derinlik 3 m'dir. Gölün pH değeri ortalama 8,7'dir. Normal su seviyesindeki alanı yaklaşık 16.800 ha olup hidrolik bekletme süresi 1 yıldır. Gölün alkalitesi ortalama 177 mg/L CaCO<sub>3</sub>'tür [69, 77].

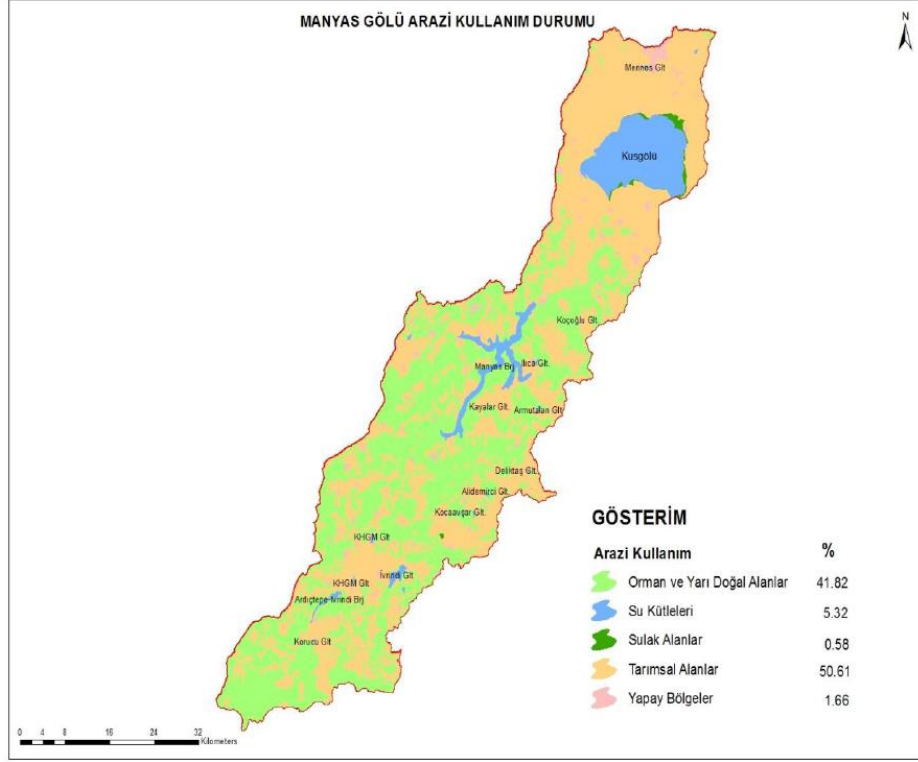
Kuş cennetine ev sahipliği yapan ve RAMSAR alanı olan Manyas Gölü ülkemizin önemli sulak alanlarından biridir ve bu nedenle korunan alandır. Gölün planktonlar ve dip canlıları bakımından zengin oluşu, gerek çeşitlilik ve gerekse yoğunluk bakımından çok yüksek düzeyde yaban hayatının barınmasına olanak sağlamaktadır. Gölde 200'ü aşkın yerleşik kuş türü ile 23 balık türünün bulunması bunun en iyi göstergesidir. Gölde sazan (*Cyprinus carpio*), yayın (*Silurus glanis*), turna (*Esox lucius*), tatlısu kefali (*Leuciscus cephalus*) gibi yüksek ticari değeri olan balıkların yanında, filise (*Caspiolasa maeotica*), gümüş (*Alburnus alburnus*), havuz balığı (*Carassius carassius*), tatlısu kolyosu (*Chalcalburnus chalcoides*), kayabalığı (*Cobitis sp.*) ve kızılkanat (*Scardinius erythrophthalmus*) gibi kuşların beslenmesinde önemli yer tutan küçük balıklar da bulunmaktadır. Ancak göl çevresinde yerleşimler, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler bu önemli göl üzerinde baskı oluşturmaktadır [69, 70, 79]. Madra Dağı'nın eteklerinden doğan Kocaçay Manyas Gölü'ne dökülene kadar Balıkesir İlinin İvrindi, Balya ve Manyas ilçelerinden geçmekte olup, bu yerleşimlerde kirliliğe maruz kalmaktadır. Özellikle bu bölgedeki tavuk yetiştiriciliği ve kesimhaneler göl üzerinde baskı oluşturmaktadır. Bölgede yer alan bazı tavuk firmalarının kapasitelerinin üstünde çalıştıkları ve bundan dolayı atıksu arıtma tesislerinin (AAT) yeterli olmadığı gözlenmiştir [69].

Antik dönemlerden beri işletildiği bilinen; fakat 1839'dan sonra yabancı sermayeli şirketlerce ve günün yöntemleri kullanılarak işletilen Balya kurşun madeni 1939 yılına; maden ve atıklarla ilgili yeniden işletmeye yönelik çalışmalar da 1997 yılına kadar sürmüştür. O günden sonra bu madende çalışma olmamıştır. Ancak, işletmenin geride bıraktığı tonlarca atığın çevreye saçtığı zehir etkisi görülebilmektedir. Çevre felaketine dönüşen bu kirlilik 70 km kuzeyindeki Manyas Gölü'nü de kapsayacak kadar yayılmış ve bölge üzerinde ciddi bir baskı unsuru oluşturmuştur [69].

## **5.2 Arazi Kullanımı**

CORINE 2012 verilerine göre göl havzası arazi kullanımı durumu değerlendirildiğinde, göl alanının %50,61 oranında tarımsal alanlar, %41,82 oranında

orman alanları, %0,56 oranında sulak alanlar ve %1,66 oranında yapay bölgeler ile çevrili olduğu görülmektedir (Şekil 13) [69].



Şekil 13. Manyas Gölü Arazi Kullanım Durumu [69]

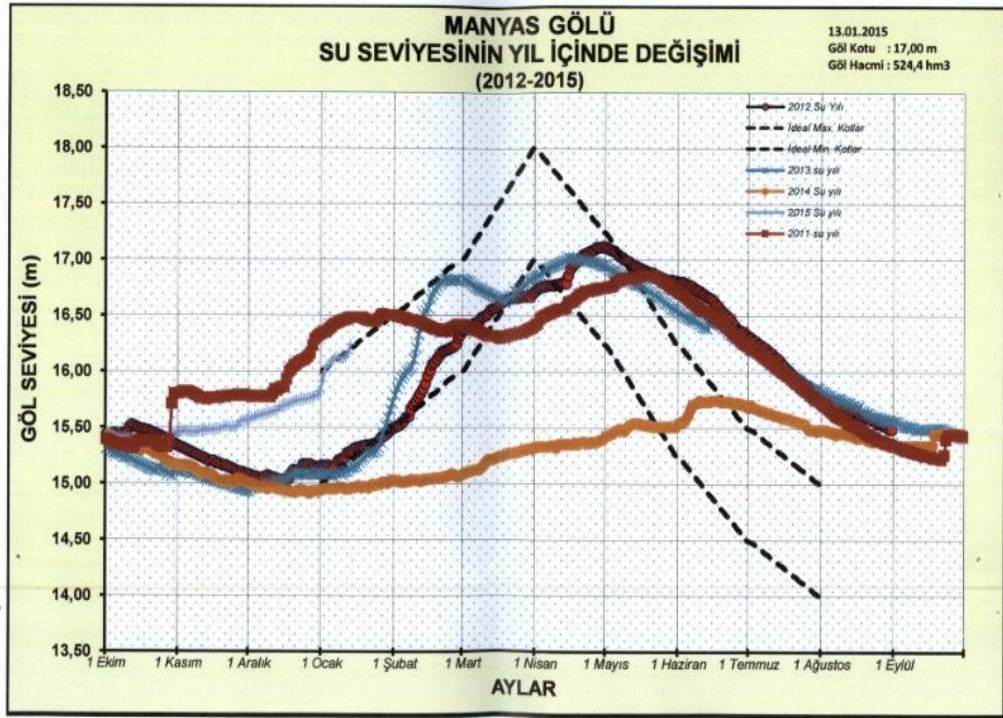
### 5.3 Göl Su Bütçesi

Devlet Su İşleri (DSİ) 25. Bölge Müdürlüğü (Balıkesir) tarafından “Manyas Gölü Sulak Alan Yönetim Planı” çerçevesinde gerçekleştirilen faaliyet kapsamında 2011-2015 yılları arasında elde edilen verilerden yararlanılarak hesaplanan su bütçesine göre göle 65,154 milyon m<sup>3</sup> değerinde bilinmeyen su girdisi olduğu tespit edilmiştir (Tablo 9). Hesaplama aşağıda verilen formüle göre gerçekleştirilmiştir. Gölde su seviyesinin değişimi Şekil 14’te gösterilmiştir. Göl su seviyesi mevsimlere göre değişmektedir. İlkbaharda sular yükselmekte, yazın ise geri çekilmektedir.

$$\Delta S = A + B - C - D + / - X$$

Tablo 9. Su Bütçesi Hesabı [69]

Parametre	Sembol	Hesaplanan Değer (hm <sup>3</sup> = milyon m <sup>3</sup> )
Sisteme Giren Su (2011-2015)	A+B	716,244
Halk Sulaması ve Etibank Tesislerinden Alınan Su	C	34,348
Göl Yüzeyinden Buharlaşma	D	112,69
Göl Tabanından Yeraltına Sızma	E	0
Yeraltından Göl Tabanını Besleme	F	0
Ergili Regülasyonu Çıkan Su	G	557,68
Göl Hacmi Değişimi	$\Delta S$	67,68
Bilinmeyen Sızma ya da Besleme Miktarı	X	56,154



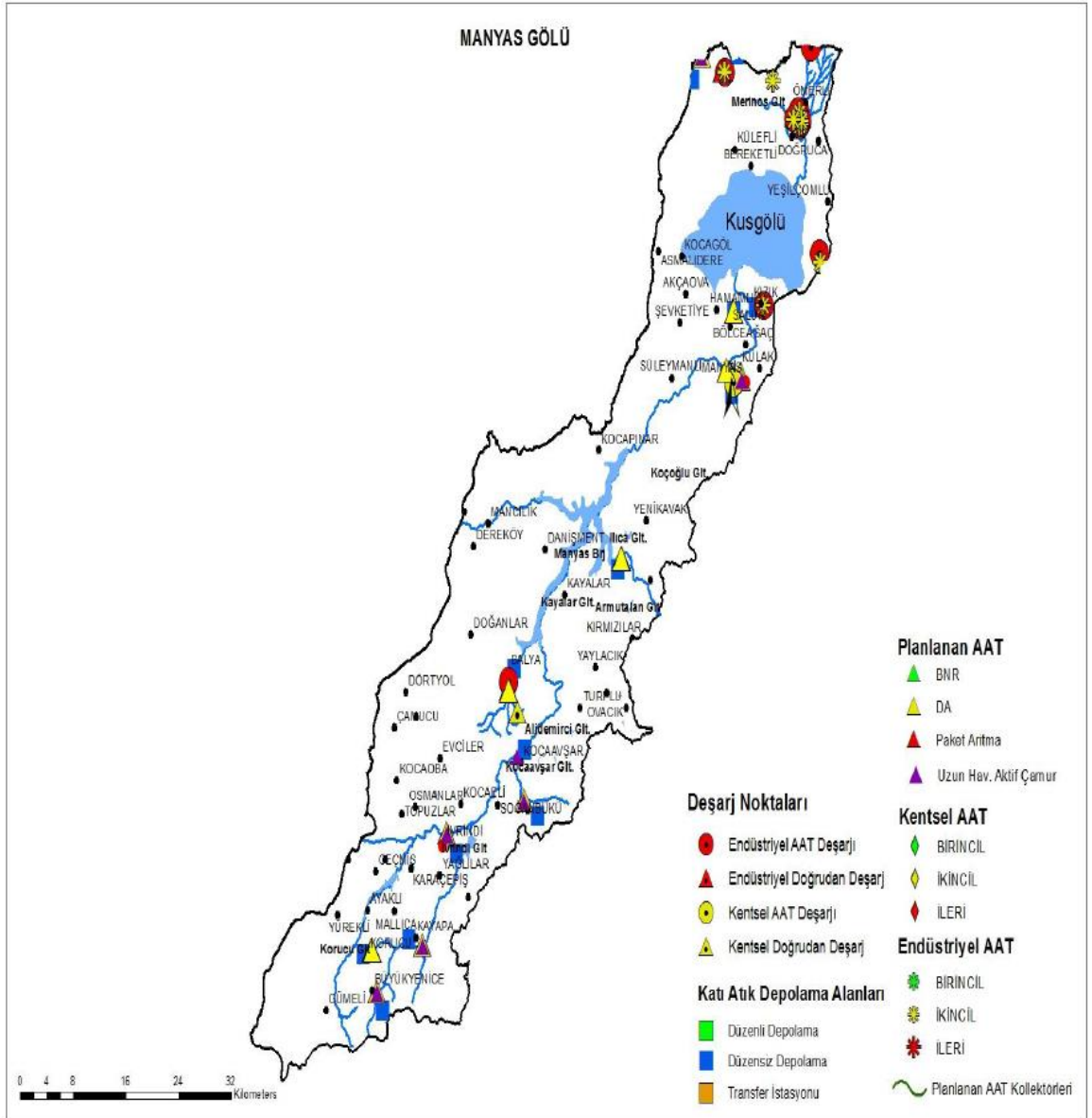
Şekil 14. Manyas Gölü Su Seviyesi Değişimi [69]

#### 5.4 Manyas Gölü Alt Havzası Kirletici Baskı Unsurları

Manyas Göl ekosistemini etkileyen baskı unsurları şunlardır;

- Sığircı Deresi ile Bandırma yerleşim alanının, güneyinden ise Kocaçay ile Manyas yerleşim alanının arıtılmaksızın deşarj edilen;
  - Kentsel atıksular,
  - Endüstriyel atıksular,
  - Düzensiz katı atık depolamadan kaynaklı sızıntı suları (Balıkesir İlinin İvrindi, Balya ve Manyas ilçelerinden kaynaklı).
- Bölgede yer alan kurşun madeni,
- Gölü besleyen akarsulardan tarımsal faaliyetler için su çekimi (fasulye, kavun, karpuz, ayçiçeği, buğday, pirinç üretimi)
- Özellikle gölün Bandırma İlçesi'ne yakın kuzey bölgelerinde yoğunlaşan tarıma dayalı sanayi işletmeleri ile tavukhaneler [69].

Göle etki eden farklı baskı unsurları Şekil 15’te görülmektedir.



Şekil 15. Manyas Gölü’ne Etki Eden Baskı Unsurları [69]

## 5.5 Su Kalitesi Durumu

Su kalitesi değerlendirmesi 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği’nde (YSKY) EK-5, “Tablo 2. Kıta İçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” ne göre yapılmaktadır.

YSKY Tablo 2'ye göre;

- Sınıf I - Yüksek kaliteli su,
- Sınıf II - Az kirlenmiş su,
- Sınıf III - Kirlenmiş su,
- Sınıf IV - Çok kirlenmiş su, statüsündedir.

DSİ 25. Bölge Müdürlüğü tarafından, “Susurluk Havzası Kalite Gözlem Çalışmaları” kapsamında Manyas Gölü’nde SUKAİG002 (Korunan Alan İzleme) ve Manyas Gölü SUGİG004 (Gözetimsel İzleme) olmak üzere 2 noktada izleme çalışması gerçekleştirilmiş olup analiz değerleri ile değerlendirme sonuçları Tablo 10 ve Tablo 11’de görülmektedir.

Tablo 10. Manyas Gölü SUKAİG002 Nolu İstasyona Ait Analiz Sonuçları

Manyas Gölü- SUKAİG002 (Korunan Alan İzleme)						Yıllık Ortalama	Nihai Kalite Sınıfı
Parametre	Ara.14	Şub.15	May.15	Kas.15	Ara.15		
pH	8,21	8,43	8,54	8,38	8,48	8,41	I
Çözünmüş Oksijen (mgO <sub>2</sub> /L)	9,60	11,20	8,52	9,32	8,92	9,51	I
İletkenlik (µs/cm)	4740		4300	4470	4690	4550	IV
Amonyum Azotu (mgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)			<0,025	<0,025		0,025	I
Nitrat Azotu (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L)			0,02	<0,007		0,0135	I
Toplam Fosfor (µgP/L)	0,1	0,2	0,06	0,61	0,22	0,24	III
KOİ (mg/L)	26,60	7,5	31,9	71,5	41	35,70	II
BOİ (mg/L)	5	5	11	6	6	6,60	II
Yağ ve gres ( mg/L)	0,70					0,70	IV
Florür (µg/L)		<0,060		<0,060	0,44	0,19	I
Fosfatlar (o-PO <sub>4</sub> ) (mg/L)	0,25	<0,150	<0,15	<0,15	<0,15	0,17	III
Toplam Kurşun (µg/L)*	n.d	0,5	0,91	21,67	17,15	8,226	KALDI
Toplam Çinko (µg/L)	1,99	100,63	3,92	41,38	31,86	35,956	KALDI
Toplam Krom (µg/L)	n.d	n.d	n.d	35,75	30,31	14,552	KALDI
Toplam Mangan (µg/L)	208,67	-	-	-	-	208,67	II
Toplam Demir (µg/L)	266,54	-	-	-	-	266,54	KALDI
Toplam Bakır (µg/L)	1,77	7,57	1,87	6,19	6,48	4,776	KALDI
Toplam Kadmiyum (µg/L)*	n.d	n.d	n.d	0,13	0,1	0,059	I
Toplam Kobalt (µg/L)	0,13	0,59	n.d	2,7	1,86	1,059	KALDI
Toplam Nikel (µg/L)*	3,44	3,07	1,54	37,62	32,72	15,678	KALDI



<b>Toplam Alüminyum (µg/L)</b>	18,12	211,17	56,31	2929,94	1526,98	948,504	KALDI
<b>Toplam Civa (µg/L)*</b>	n.d	n.d	n.d	-	-	0,03	GEÇTİ
<b>Toplam Arsenik (µg/L)</b>	9,99	4,57	8,53	31,39	22,72	15,44	GEÇTİ
<b>Toplam Antimon (µg/L)</b>	n.d	2,18	0,46	1,58	1,74	1,209	GEÇTİ
<b>Toplam Selenyum (µg/L)</b>	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	3,164	I
<b>Toplam Bor (mg/L)</b>	0,04	-	-	-	-	0,04	GEÇTİ
<b>Toplam Berilyum (µg/L)</b>	n.d	n.d	n.d	0,22	0,12	0,087	GEÇTİ
<b>Toplam Titanyum (µg/L)</b>	1,69	8,34	2,97	28,82	23,09	12,982	GEÇTİ
<b>Toplam Vanadyum (µg/L)</b>	0,24	n.d	-	-	-	0,28	GEÇTİ
<b>Toplam Gümüş (µg/L)</b>	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,17	GEÇTİ
<b>Toplam Baryum (µg/L)</b>	68,42	82,66	111,15	124,31	113,85	100,078	GEÇTİ
<b>Serbest Siyanür</b>	<0,002	<0,002			<0,002	0,002	GEÇTİ

\*Öncelikli Maddeler

Genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler, YSKY'nin EK-5, "Tablo 2. Kıta İçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri"ne göre; belirli kirleticiler aynı yönetmelikte yer alan EK-5, "Tablo 4. Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve Çevresel Kalite Standartları"na göre; öncelikli maddeler ise yine aynı yönetmelikte yer alan EK-5, "Tablo 5. Yerüstü Su Kaynakları için Öncelikli Maddeler ve Çevresel Kalite Standartları"na göre değerlendirilmiştir.

SUKAİG002 kodlu izleme noktası YSKY EK-5 Tablo 2'ye göre değerlendirildiğinde, pH, çözünmüş oksijen, nitrat azotu, amonyum azotu, florür ve selenyum parametreleri açısından Sınıf I; biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı ve mangan parametreleri açısından Sınıf II; toplam fosfor ve orto-fosfat parametreleri açısından Sınıf III su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. İzlenen tüm parametreler genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından değerlendirildiğinde, SUKAİG002 istasyonu en düşük kalite sınıfına sahip iletkenlik ve yağ gres parametreleri nedeniyle Sınıf IV (çok kirlenmiş su) niteliği taşımaktadır.

Bu istasyonda, ayrıca, belirli kirletici ve öncelikli madde gruplarından da çeşitli parametreler izlenmiş olup belirli kirleticilerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde; çinko, krom, demir, bakır, kobalt ve alüminyum olmak üzere 6 parametre için kalite

standartı aşılmış olup, bu parametreler sebebiyle izleme noktasında belirli kirleticiler açısından çevresel kalite standardı (ÇKS) değerlerinin sağlanamadığı yönünde değerlendirme yapılmıştır. Öncelikli maddelerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde ise; kurşun ve nikel olmak üzere 2 maddenin kalite standardı aşılmış olup, bu parametreler sebebiyle izleme noktasında öncelikli maddeler açısından ÇKS değerlerinin sağlanamadığı yönünde değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 11. Manyas Gölü SUGİG004 Nolu İstasyona Ait Analiz Sonuçları

Manyas Gölü -SUGİG004 (Gözetimsel İzleme)					Yıllık Ortalama	Nihai Kalite Sınıfı
Parametre	Ara.14	Şub.15	May.15	Kas.15		
pH	8,05	8,44	8,43	8,46	8,345	I
Çözünmüş Oksijen (mgO <sub>2</sub> /L)	8,60	10,30	8,32	9,38	9,15	I
İletkenlik (µs/cm)	4620	4980	4420	4510	4632,5	IV
Amonyum Azotu (mgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	-	-	<0,025	<0,025	0,025	I
Nitrat Azotu (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	0,13	-	0,01	<0,007	0,049	I
Toplam Fosfor (µgP/L)	0,092	0,033	0,02	0,65	0,20	II
KOİ (mg/L)	27,9	11	28,9	52,2	30	II
BOİ (mg/L)	7	4	11	5	6,75	II
Yağ ve gres ( mg/L)	0,40	-	-	-	0,4	III
Mangan (µgMn/L)	-	0,10	-	-	0,1	I
Florür (µg/L)	-	0,2493	0,17	0,79	0,4031	I
Fosfatlar (o-PO <sub>4</sub> ) (mg/L)	-	<0,15	<0,15	<0,15	0,15	II
Toplam Kurşun (µg/L)*	2,45	0,51	3,72	25,01	7,9225	KALDI
Toplam Çinko (µg/L)	5,07	31,95	13,76	48,34	24,78	KALDI
Toplam Krom (µg/L)	2,85	n.d	1,21	35,38	11,41	KALDI
Toplam Bakır (µg/L)	nd	9,38	3,32	6,83	4,90	KALDI
Toplam Kadmiyum (µg/L)*	0,13	n.d	n.d	0,16	0,0825	II
Toplam Kobalt (µg/L)	3,2	0,62	0,14	2,58	1,635	KALDI
Toplam Nikel (µg/L)*	9,65	37,22	2,56	39,02	22,11	KALDI
Toplam Alüminyum (µg/L)	39,65	176,97	378,31	2611,72	801,66	KALDI
Toplam Civa (µg/L)*	n.d	n.d	n.d		0,03	GEÇTİ
Toplam Arsenik (µg/L)	2,37	2,83	7,61	31,19	11	GEÇTİ
Toplam Antimon (µg/L)	n.d	2,3	0,71	1,67	1,19	GEÇTİ
Toplam Selenyum (µg/L)	n.d	0,33	n.d	n.d	3,015	I
Toplam Berilyum (µg/L)	n.d	n.d	n.d	0,2	0,074	GEÇTİ
Toplam Titanyum (µg/L)	1,49	8,18	11,12	26,88	11,9175	GEÇTİ
Toplam Vanadyum (µg/L)	0,15	n.d	-	-	0,235	GEÇTİ

<b>Toplam Gümüş (µg/L)</b>	n.d	n.d	n.d	n.d	0,16625	GEÇTİ
<b>Toplam Baryum (µg/L)</b>	87,17	88,85	110,94	124,16	102,78	GEÇTİ
<b>Siyanür</b>	<0,002	-	-	-	0,002	GEÇTİ

\*Öncelikli Maddeler

SUGİG004 kodlu izleme noktası YSKY Ek-5 Tablo 2'ye göre değerlendirildiğinde, pH, çözünmüş oksijen, nitrat azotu, amonyum azotu, florür, mangan ve selenyum parametreleri açısından Sınıf I; biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, orto-fosfat ve toplam fosfor parametreleri açısından Sınıf II; yağ-gres parametresi açısından Sınıf III su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. İzlenen tüm parametreler genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından değerlendirildiğinde, SUGİG004 istasyonu en düşük kalite sınıfına sahip iletkenlik parametresi nedeniyle Sınıf IV (çok kirlenmiş su) niteliği taşımaktadır.

Bu istasyonda, ayrıca, belirli kirletici ve öncelikli madde gruplarından da çeşitli parametreler izlenmiş olup belirli kirleticilerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde; çinko, krom, bakır, kobalt ve alüminyum olmak üzere 5 parametre için kalite standardı aşılmış olup, bu parametreler sebebiyle izleme noktasında belirli kirleticiler açısından ÇKS değerlerinin sağlanamadığı yönünde değerlendirme yapılmıştır. Öncelikli maddelerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde ise; kurşun ve nikel olmak üzere 2 maddenin kalite standardı aşılmış olup, bu parametreler sebebiyle izleme noktasında öncelikli maddeler açısından ÇKS değerlerinin sağlanamadığı yönünde değerlendirme yapılmıştır.

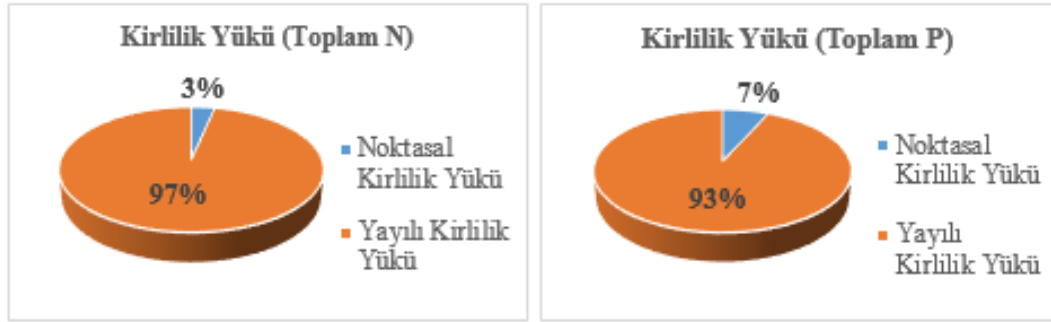
Göl, gölet ve baraj göllerinde trofik durum değerlendirmesi, YSKY EK-6, Tablo 9'a göre yapılmaktadır. Susurluk Havzası Su Kalitesi İzleme Projesi, Yerüstü Suları ile Yüzme ve Rekreasyon Amacıyla Kullanılan Kıyı Sularında Siyanobakteriler için Alarm Seviyelerinin ve Limitlerin Belirlenmesi, Müdahale ve Mücadele Yöntemlerinin Geliştirilmesi (SİYANOTOKS) Projesi ve Türkiye'de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi kapsamında Manyas Gölü trofik durum değerlendirmeleri yapılmıştır. Sonuçlara Tablo 12'de yer verilmiştir. Buna göre hassas alanlar projesi haricindeki diğer iki projede yapılan değerlendirmeye göre göl hipertroftiktir. Hassas alanlar projesinde ise Carlson indeksine göre gölün trofik durumu ötrofik olarak tespit edilmiştir.

Tablo 12. Manyas Gölü Trofik Durumu

Parametreler	Susurluk Havzası Su Kalitesi İzleme Projesindeki Durum		Siyanotoks Projesindeki Durum	Hassas Alanlar Projesindeki Durum
	1.İzleme Noktası	2.İzleme Noktası		
Toplam N ( $\mu\text{g/L}$ )	Hipertrofik	Hipertrofik	Hipertrofik	*RAMSAR Alanı olduğundan Koruma Bölgesi *Nitrata Hassas Alan
Toplam P ( $\mu\text{g/L}$ )	Hipertrofik	Ötrofik	Hipertrofik	
Klorofil a ( $\mu\text{g/L}$ )	Hipertrofik	Hipertrofik	Hipertrofik	
Secchi Disk Derinliği (m)	Hipertrofik	Hipertrofik	Hipertrofik	

## 5.6 Kirlilik Yükü

Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi kapsamında Manyas Gölü kirlilik yükleri Şekil 16’da gösterilmiştir. Gölün toplam kirliliği değerlendirildiğinde yayılı kaynaklı kirliliğin ağırlığı göze çarpmaktadır. Bu durumu göl havzasındaki yoğun tarımsal faaliyetlerle ilişkilendirmek mümkündür. Göldeki noktasal kaynaklı kirliliğin temelini ise artırılmamış evsel nitelikli atıksular oluşturmaktadır [69].



Şekil 16. Manyas Gölü Kirlilik Yükü [69]

## 5.7 Sınırlayıcı Besin Elementi

Sınırlayıcı besin elementinin belirlenmesinde TN/TP oranı kullanılmaktadır. Manyas Gölü’ndeki iki istasyona (SUKAİG002 (Korunan Alan İzleme), SUGİG004 (Gözetimsel İzleme)) ait izleme sonuçları içerisinde (Tablo 10 ve Tablo 11) toplam azot ve toplam fosfor değerleri alınarak TN/TP oranına bakıldığında bu oranın Tablo

5’de verilen ve sınır değer olan 10’u aştığı görülmektedir. Manyas Gölü’nün büyük bir gl olması ve gölde yayılı kaynaklı kirliliğin baskın olması da göz önünde bulundurulurak, göldeki sınırlayıcı besin elementinin fosfor olduğu ortaya çıkmaktadır.

### **5.8 Manyas Gölü Alt Havzası Su Kalitesi Eylem Planı Eylemleri**

Manyas Gölü’nde su kalitesinin iyileştirilmesi maksadıyla Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılında yayımlanan ‘‘Manyas Gölü Alt Havzası Su Kalitesi Eylem Planı’’ kapsamında belirlenen 10 eylem ana başlıklar altında aşağıda sıralanmış olup, yapılması gereken çalışmalar, eylemlerin tamamlanma sürelerini de içerecek Şekilde ayrıntılı olarak her bir eylem başlığı altında EK-1’de verilmektedir. Eylem Planında yer alan eylemler için uygulama yılları 2016-2023 dönemini kapsamaktadır. Fakat gölde su kalitesinin istenilen düzeye getirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için uygulama sürecinin devamlılığının sağlanmasına, gerektiği takdirde takvimin uzatılmasına ihtiyaç duyulabilir.

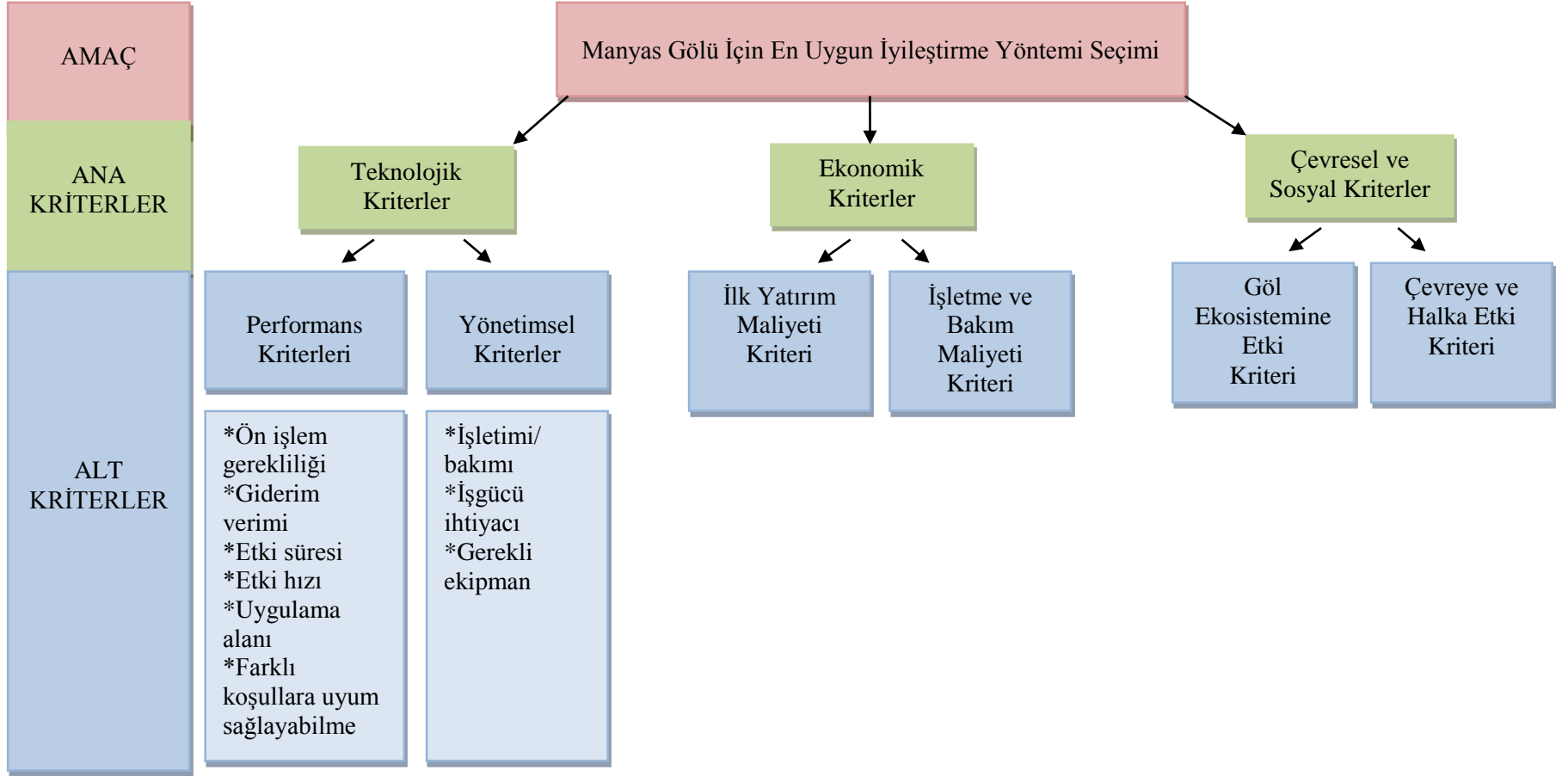
1. Evsel Atıksuların Arıtılması
2. Endüstriyel Atıksuların Yönetimi
3. Katı Atıkların Yönetimi
4. Tarımsal Kirliliğin nlenmesi
5. Maden Sahalarının Rehabilitasyonu
6. Ağaçlandırma ve Erozyonla Mücadele
7. Göldeki Taban amuru Yönetimi
8. Uzun Devreli Gelişme Planı ve Sulak Alan Yönetim Planı Uygulamalarının Takibi
9. Su Kalitesinin İzlenmesi, Denetim ve Yaptırım Faaliyetleri
10. Su Dengesinin Korunması Faaliyetleri

## **6. MANYAS GÖLÜ'NDE İYİLEŞTİRME YÖNTEMİNİN SEÇİMİ İÇİN AHP UYGULAMASI**

Bu bölümde, Bölüm 4'te sunulan ve karar verme sürecinde kullanılacak olan yöntemin, teorik yapısına uygun olarak yapılan uygulama anlatılmaktadır. Manyas Gölü'ne dışarıdan gelen tüm kirletici kaynakların Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (OSİB-SYGM) tarafından Manyas Gölü Alt Havzası için hazırlanan eylem planı kapsamında alınacak tedbirlerle göle girişinin kontrol altına alındığı varsayımından hareketle, Bölüm 3'de belirtilen iyileştirme yöntemlerinin bir göl için AHP ile değerlendirilmesi ilk kez bu çalışma ile yapılmıştır. Bu kapsamda en uygun iyileştirme yönteminin belirlenmesine esas teşkil edecek kriterler ortaya konulmuş, alternatif yöntemler bu kriterler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Expert Choice programındaki uygulamaya yardımcı olması açısından, Bölüm 3'de belirtilen yöntemlerin özelliklerinden, avantajlarından ve dezavantajlarından yararlanılarak yöntemlere ilişkin karşılaştırma tabloları oluşturulmuştur. Nihayetinde en tercih edilebilir yöntem tespit edilmiştir.

### **6.1 Kriterlerin Belirlenmesi**

En uygun iyileştirme yönteminin seçiminde dikkate alınacak kriterler; literatür uygulamaları ile konusunda bilgi ve tecrübe sahibi uzman kişilerden alınan görüşler doğrultusunda oluşturulmuş olup, Şekil 17'de görülmektedir. Bu doğrultuda öncelikle, teknolojik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler olmak üzere 3 ana kriter belirlenmiştir. Daha sonra her bir ana kriter için alt kriterler oluşturulmuştur.



Şekil 17. En Uygun İyileştirme Yöntemi Seçimi Kriterleri

### 6.1.1 Teknolojik Kriterler

Teknolojik kriterler iyileştirme yönteminin içerdiği teknik özellikleri kapsamakta olup, performans kriterleri ve yönetsel kriterler olarak iki alt kriter kapsamında ele alınmıştır.

#### **Performans Kriterleri**

**Ön işlem gerekliliği:** Uygulanacak yöntemde herhangi bir ön işlem gerekip gerekmediğinin ele alındığı kriterdir. Bu çalışma kapsamında ön işlemle dış kaynaklardan göle gelen kirliliğin kontrol altına alınması, pH ayarlama, gölün boşaltılması halinde su temini, taranan sedimentin bertaraf alanına ilişkin çalışmalar vb. işlemler kastedilmektedir.

**Giderim verimi<sup>1</sup>:** Uygulanacak yöntemin besin elementi giderim veriminin değerlendirildiği kriterdir.

**Etki süresi:** Uygulanacak yöntemin iyileştirme etkisinin kalıcılığını ifade eden kriterdir.

**Etki hızı:** Uygulanacak yöntemin beklenen etkisinin hızlı mı yoksa yavaş mı gözlemlendiğinin değerlendirildiği kriterdir.

**Uygulama alanı<sup>2</sup>:** Uygulanacak yöntemin sığ, derin, tabakalaşmanın olduğu ya da olmadığı göllerde etkin şekilde uygulanıp uygulanamadığının ele alındığı kriterdir.

**Farklı koşullara uyum sağlayabilme:** Uygulanacak yöntemin dış faktörlerden etkilenmesi, mevsimsel uygulama sınırlaması vb. durumların değerlendirildiği kriterdir.

---

<sup>1</sup> Manyas Gölü için sınırlayıcı besin elementinin fosfor olması nedeniyle uygulanacak yöntemin fosfor giderim verimi esas alınmıştır.

<sup>2</sup> Manyas Gölü sığ bir göl olduğundan uygulanacak yöntemin sığ göllerde etkin şekilde uygulanabilip uygulanamadığı değerlendirilmiştir.



### **Yönetimsel Kriterler**

**İşletimi/Bakımı:** Uygulanacak yöntemin işletme/bakımının kolaylığı ya da zorluğunun değerlendirildiği kriterdir.

**İşgücü ihtiyacı:** Yöntemin uygulanmasında, takibinde kalifiye personel ve yoğun işgücü ihtiyacının bulunup bulunmadığına dair değerlendirmenin yapıldığı kriterdir.

**Gerekli ekipman:** Yöntemin uygulanmasında kullanılacak ekipman gereksiniminin değerlendirildiği kriterdir.

### **6.1.2 Ekonomik Kriterler**

Ekonomik kriterler uygulanacak yöntemin etkin yönetimi için gerçekleştirilen maliyetleri kapsamakta olup, ilk yatırım maliyeti ve işletme/bakım maliyeti olarak iki alt kriter kapsamında ele alınmıştır.

**İlk Yatırım Maliyeti Kriteri:** Yöntemin uygulanmasına başlanana kadar yapılan bütün yatırım harcamalarının değerlendirildiği kriterdir.

**İşletme ve Bakım Maliyeti Kriteri:** İyileştirme yöntemi uygulandıktan sonra yapılacak harcamaları kapsamaktadır.

### **6.1.3 Çevresel ve Sosyal Kriterler**

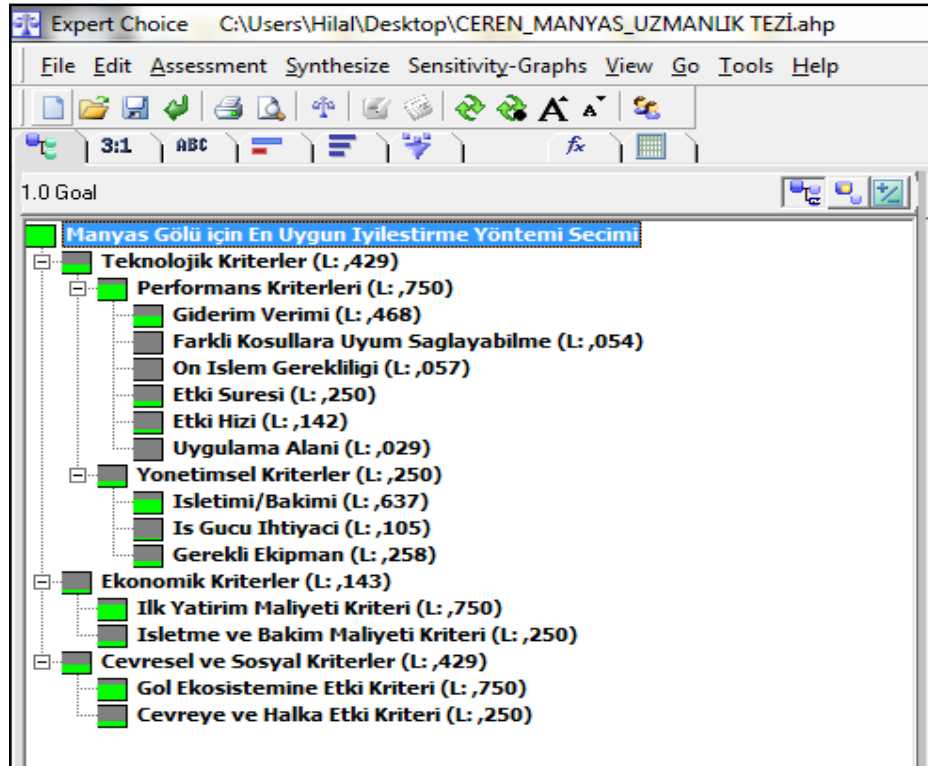
Çevresel ve sosyal kriterler kapsamında uygulanacak yöntemin çevreyle ve sosyal unsurlarla uyumu değerlendirilmiş olup, iki alt kriteri içermektedir.

**Göl Ekosistemine Etki:** Yöntemin uygulanması sürecinde ve sonrasında göl ekosistemine olan etkisinin değerlendirildiği kriterdir.

**Çevreye ve Halka Etki:** Yöntemin uygulanması sürecinde ve sonrasında göl dışındaki çevreye ve halka olan etkisinin değerlendirildiği kriterdir.

## 6.2 Karşılaştırma Matrisleri İle Kriterlerin Karşılaştırılması

Expert Choice programında Manyas Gölü'ne ilişkin en uygun iyileştirme yönteminin seçimi amacıyla oluşturulan; ana kriterler ve alt kriterleri içeren şema Şekil 18'de gösterilmiştir. Bu aşamada öncelikle ana kriterler olan *Teknolojik Kriterler*, *Ekonomik Kriterler*, *Çevresel ve Sosyal Kriterler* amaca göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ardından her ana kriter için belirlenen alt kriterler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Örneğin *Teknolojik Kriterlerin* bir alt basamağındaki *Performans Kriterleri* ve *Yönetimsel Kriterler* kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bunun yanında tüm alt kriterler de kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Örneğin *Performans Kriterlerinin* alt kriterleri olan *Giderim Verimi*, *Farklı Koşullara Uyum Sağlayabilme*, *Ön İşlem Gerekliliği*, *Etki Süresi*, *Etki Hızı* ve *Uygulama Alanı* kriterleri kendi içinde karşılaştırılmıştır. Literatürde göl iyileştirme yöntemleri için AHP uygulaması ve bu konuda bir puanlama bulunmadığından karşılaştırmalarda yapılan puanlamalar, göl iyileştirme yöntemleri kapsamında oluşturulan Tablo 13 ile konusunda bilgi ve tecrübe sahibi uzman kişilerden alınan görüşler doğrultusunda ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

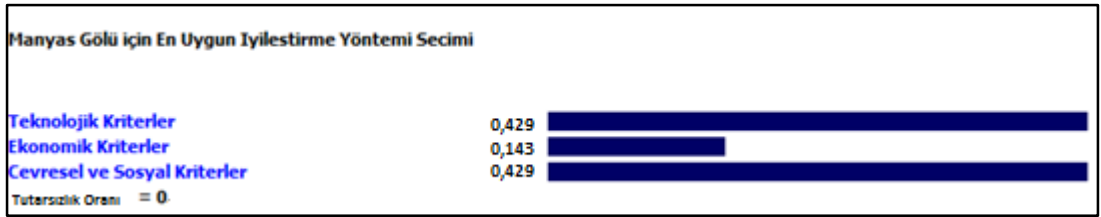


Şekil 18. Expert Choice Şematizasyonu

Expert Choice programı ile yapılan bu hesaplamalarda kriterlerin amaca ulaşmadaki etkinliklerini gösteren ağırlık vektörleri hesaplanmıştır. Her bir kriter için hesaplanan ağırlık vektörleri Şekil 18’de yer alan “L” değerleridir. Bu değerler yüzle çarpıldığında yüzde ağırlıkları elde edilmektedir. Örneğin *Teknolojik Kriterler* için ağırlık yüzdesi %42,9’dur. Bunun yanında yapılan hesaplamaların tutarlılığı değerlendirilmiş olup, karşılaştırmaların tamamında tutarsızlık oranı beklenen değer olan 0,1’in altındadır. Tüm karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

### **Ana Kriterler**

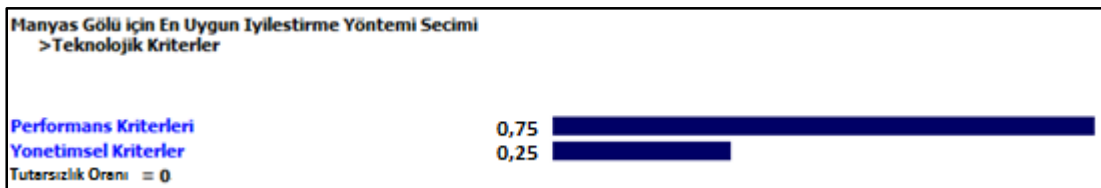
Amaca göre ana kriterlerin karşılaştırılması incelendiğinde (Şekil 19) en uygun yöntemin seçiminde teknolojik kriterler ile çevresel ve sosyal kriterlerin eşit düzeyde dikkate alındığı, ekonomik kriterlerin ise amaca ulaşmada diğer kriterlere kıyasla daha düşük düzeyde öneme sahip olduğu görülmektedir. Teknolojik kriterler ile çevresel ve sosyal kriterlerin ağırlık vektörü 0,429 olup, tutarsızlık oranı 0 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 19. Ana Kriterlerin Amaca Göre Karşılaştırılması

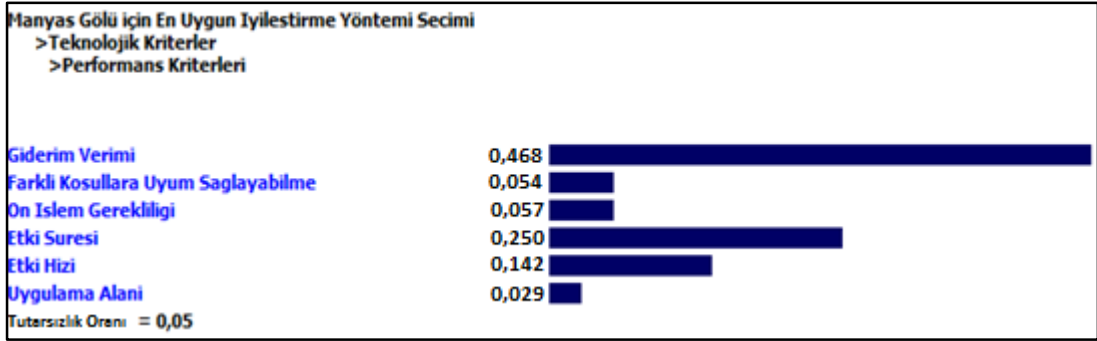
### **Teknolojik Kriterler**

Teknolojik kriterlerin alt kriterlerinin karşılaştırılmasına bakıldığında (Şekil 20) performans kriterlerinin yönetimsel kriterlere kıyasla daha önemli olduğu görülmekte olup, ağırlık vektörü 0,75’dir. Tutarsızlık oranı da 0 olarak hesaplanmıştır.



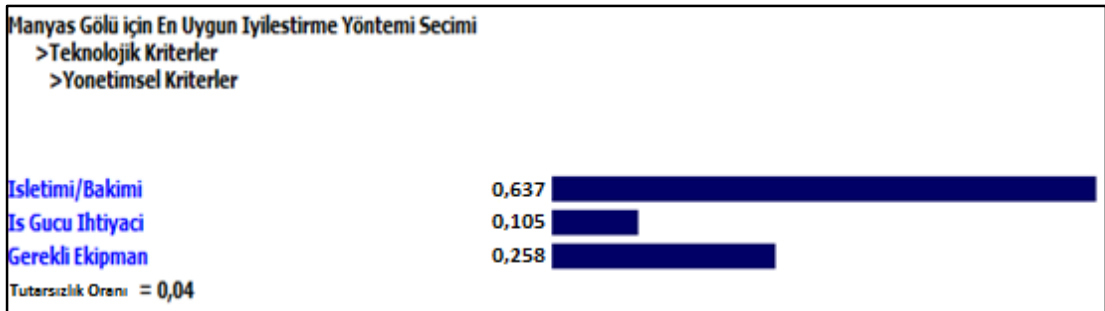
Şekil 20. Teknolojik Kriterlerin Karşılaştırılması

Performans kriterlerinin alt kriterleri değerlendirildiğinde (Şekil 21) giderim verimi kriterinin 0,468'lik ağırlık vektörü ile diğer kriterler arasında büyük bir üstünlükle ele alındığı görülmektedir. Giderim verimi kriterini, uygulamanın etki süresinin değerlendirildiği kriter takip etmektedir. Karşılaştırmanın tutarsızlık oranı 0,05'tir.



Şekil 21. Performans Kriterlerinin Karşılaştırılması

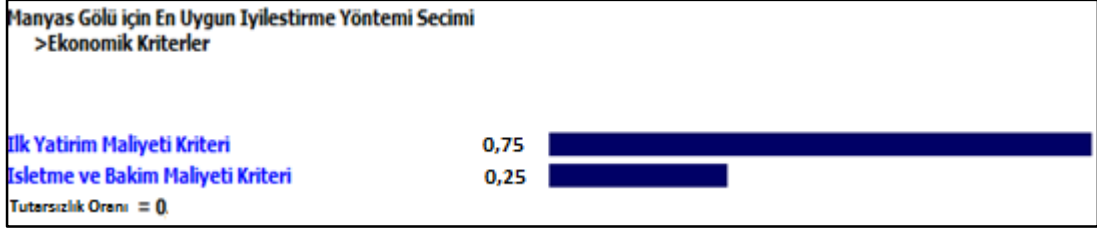
Yönetimsel kriterlerin alt kriterlerinin karşılaştırılmasında (Şekil 22) işletimi/bakımı kriterinin diğer kriterlere kıyasla daha önemli olarak değerlendirildiği görülmektedir. Bu kriterin ağırlık vektörü 0,637 olup karşılaştırmanın tutarsızlık oranı 0,04 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 22. Yönetimsel Kriterlerin Karşılaştırılması

### **Ekonomik Kriterler**

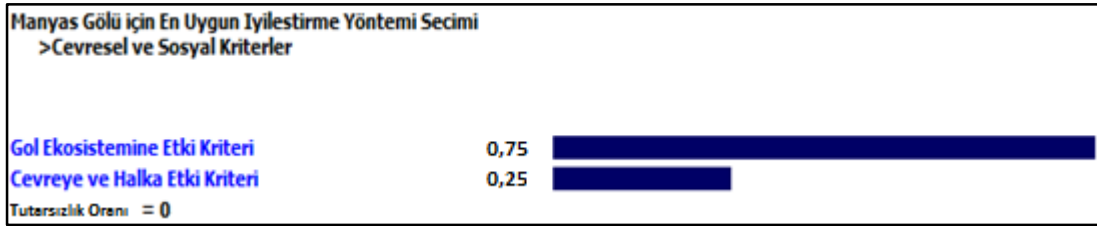
Ekonomik kriterler olan ilk yatırım maliyeti kriteri ile işletme ve bakım maliyeti kriterinin karşılaştırılmasında (Şekil 23) ilk yatırım maliyeti kriterinin büyük bir farkla önemli olarak ele alındığı görülmektedir. Zira bu kriterin ağırlık vektörü 0,750 olup karşılaştırmanın tutarsızlık oranı 0'dır.



Şekil 23. Ekonomik Kriterlerin Karşılaştırılması

### **Çevresel ve Sosyal Kriterler**

Çevresel ve sosyal kriterler olan göl ekosistemine etki kriteri ile çevreye ve halka etki kriterinin karşılaştırılmasında (Şekil 24) göl ekosistemine etki kriterinin büyük bir farkla önemli olarak ele alındığı görülmektedir. Zira bu kriterin ağırlık vektörü 0,750 olup karşılaştırmanın tutarsızlık oranı 0'dır.



Şekil 24. Çevresel Kriterlerin Karşılaştırılması

### 6.3 Manyas Gölü İçin Alternatiflerin Karşılaştırılması

Manyas Gölü; sığ ve RAMSAR alanı olan bir göldür. Dolayısıyla, alternatiflerin değerlendirilmesinde bu çalışmanın 3. Bölüm’de yer alan 8 iyileştirme yönteminden Manyas Gölü için uygulanabilir 4 yöntem (kimyasal madde ilavesi, göl dibinin taranması, biyomanipülasyon ve yüzer sulak alan) dikkate alınmıştır. İncelenen bu yöntemlerin (alternatiflerin) avantajları ve dezavantajları değerlendirilerek kriterler bazında oluşturulan karşılaştırma Tablo 13’te verilmektedir. Expert Choice uygulamasına giriş ve puanlama yapılarak karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında bu tablodan faydalanılmıştır. Ayrıca, 8 iyileştirme metodunun da ileriki çalışmalara fikir vermesi açısından bir değerlendirilmesi yapılmış olup, bahse konu tablo EK-2’de yer almaktadır.

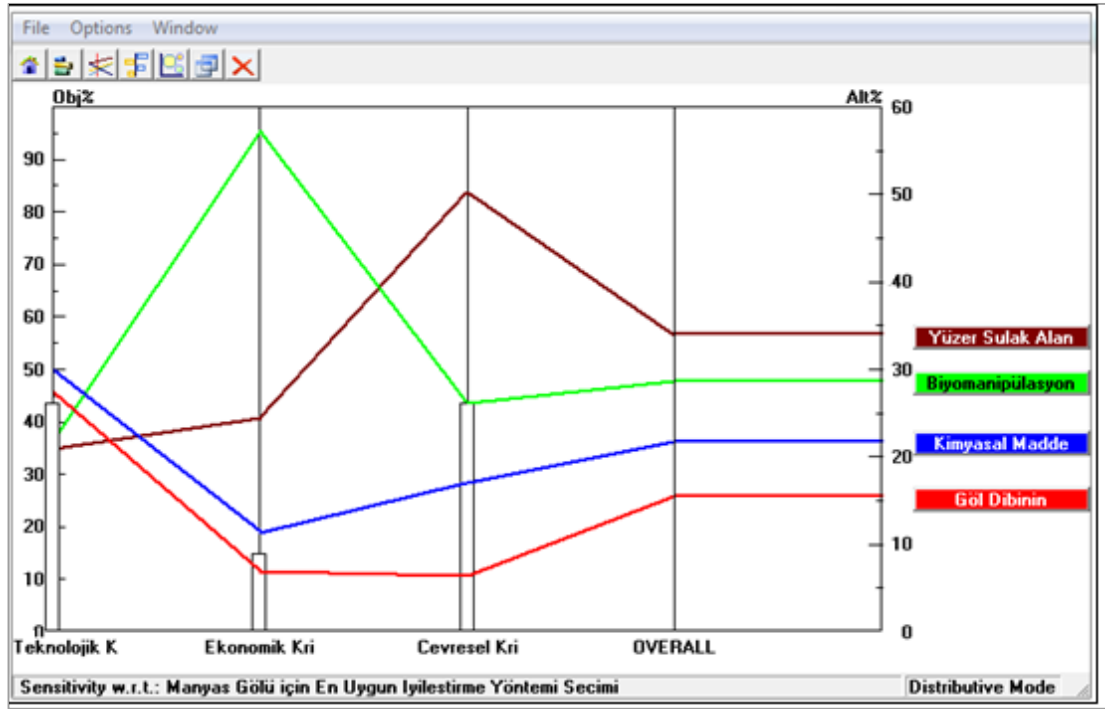
Uygulamanın son aşamasında ise hiyerarşinin en alt basamağındaki kriterlere göre alternatifler kendi aralarında karşılaştırılarak Manyas Gölü için en tercih edilebilir iyileştirme yöntemi belirlenmiştir. Her kriter ve alt kriter açısından elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Tablo 13. Alternatiflerin Karşılaştırılması Tablosu

En uygun iyileştirme yönteminin seçimi	Kimyasal Madde İlavesi	Göl Dibinin Taranması	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan
<b>Teknolojik Kriterler</b>				
Performans Kriterleri				
Ön İşlem Gerekliliği	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17] *Uygun pH aralığı (Tampon gerekebilir) [18] *Fe ve Ca'nın kullanıldığı durumlarda anoksik koşulları engellemek için havalandırma [22]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17] *Sediment tabakasının kalınlığı, hacmi, partikül boyutu, organik madde içeriği, varsa toksik madde içeriğinin belirlenmesi [22] *Taranan sedimentin ulaştırılacağı/kullanılacağı alanın seçimi [40]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6,17] *Göldeki balık faunasının tespiti [Uzman Görüşü]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17] *Uygun bitki seçimi [52]
Giderim Verimi	*TP Giderim verimi ortalama %50-60 civarındadır [22]	*TP Giderim verimi ortalama %30 ile %90 arasında değişmektedir [22]	*Seki diski derinliği %50'den fazla artış göstermiştir ancak TP konsantrasyonunda değişiklik gözlenmemiştir [38]	*TP Giderim verimi ortalama %48,7'dir [52]
Etki Süresi	*Uzun vadeli çözüm getirir [74] *Raporlanan uygulamaların önemli bölümünde uzun vadeli başarı [22]	*Restorasyon amaçlı sediment tarama uygulamaları ile sediment uzaklaştırılmasında uzun dönem iyileşme sağlanır [39] *Kimyasal madde ilavesine göre daha uzun vadeli çözüm [74]	*Düzenli aralıklarla tekrarlanması gerekir [37]	*Uzun vadeli etki [49]
Etki Hızı	*Etki oldukça hızlı şekilde gözlenir [24]	*Etkinin gözlemlendiği hız farklılık gösterir [24]	*Zooplanktivorların gölden alındığı durumda etki hızlı şekilde, etçil balıkların göle stoklandığı durumda yavaş şekilde gözlenir [24]	*Etki hızlı şekilde gözlenir [53]
Uygulama Alanı	*Sığ göller için daha etkin bir yöntemdir [74] *Makrofit yayılımının az olduğu, sedimentten fosfor salınımının yüksek olduğu, göl suyunun yıkamaya maruz kalmadığı, uzun yıllar yüksek besin elementi girişiyle fosfor yüküne maruz kalmış göller için daha etkindir [34] *Göl yeterince alkali değilse ya da tampon eklenmeyecekse Al uygulanması önerilmez [22]	*Sığ göller uygulanabilirlik kriterleri arasındadır [22] *Maliyeti nedeniyle küçük ve sığ göller için daha uygundur [30]	*Sığ göllerde daha başarılı olduğuna dair yaygın görüş hakimdir [19] *Sığ ve ötrofik göllerde daha etkilidir [46]	*Su kolonundaki fosfor konsantrasyonu 0,1 mg/L ve üzeri göllerde çok daha maliyet etkin bir yöntem [49] *Makrofit köklerinin göl dibindeki bentik yapıya ulaşmaması için 0,8-1 m derinliğin sağlanması gereklidir [50]
Farklı Koşullara Uyum Sağlayabilme	*İçsel fosfor yükü iklim koşulları, sıcaklık, rüzgar vb.'den etkilenir [33]	*Farklı dışsal faktörlere uyum gösterir [Uzman Görüşü]	*Uygulamanın başarısı iklim koşullarından etkilenir [37]	*Seçilecek bitkilerin iklim koşullarına uyumu ve etkin giderim sağlaması gereklidir [52]
<b>Yönetimsel Kriterler</b>				
İşletimi/Bakımı	*İşletim ve bakımı nispeten kolaydır [Uzman Görüşü] *Uygulama öncesi ve sonrası gölün uzun dönem izlenmesi gerekir [39] *Uygulamanın tekrarlanması gerekebilir [22]	*İşlem esnasında sedimentin yeniden süspansiyon olma riski bulunmaktadır [Uzman Görüşü]	*İşletim ve bakımı kolaydır [Uzman Görüşü] *Su kalitesindeki iyileşmenin devamlılığı açısından uygulamanın düzenli aralıklarla tekrarlanması gerekir [Uzman Görüşü]	*İşletim ve bakımı kolaydır [49] *Yüzer sulak alan üzerindeki vejetasyonun aşırı artması halinde su kolonundaki oksijen seviyesinin azalması riski [49]
İşgücü İhtiyacı	*Uygulama için kalifiye personel gerekir [22, Uzman Görüşü]	*Uygulama için kalifiye personel ve çok yoğun işgücü gerekir [Uzman Görüşü]	*Uygulamada gölden faydalanan balıkçılar görev alabilir [35]	*Periyodik işgücü gerektirir [49]
Gerekli Ekipman	*Pompa, difüzör, nozzle vb. [22]	*Mekanik/hidrolik/pnömatik ekipman [40]	*Pound ağlar, trol, balık tuzakları vb. [43]	*Sulak alanın zeminini oluşturacak malzeme ve bitkiler [49]
<b>Ekonomik Kriterler</b>				
İlk Yatırım Maliyeti Kriteri	*Dip taramaya göre daha düşük maliyetli [22, 36, 37] *Düşük maliyet [35, 74]	*Yüksek maliyet [35, 37, 39, 71, 72]	*Çok düşük maliyet [74]	*Düşük maliyet [49] *Su kolonundaki fosfor konsantrasyonu 0,1 mg/L ve üzeri göllerde daha maliyet etkin uygulama [49]
İşletme ve Bakım Maliyeti Kriteri	*Dip taramaya göre daha yüksek maliyetli [35] *Düşük maliyet [74]	*Düşük maliyet [35]	*Çok düşük maliyet [74]	*Düşük maliyet [49] *Su kolonundaki fosfor konsantrasyonu 0,1 mg/L ve üzeri göllerde daha maliyet etkin uygulama [49]
<b>Çevresel ve Sosyal Kriterler</b>				
Göl Ekosistemine Etki	*Göl ekosistemi üzerinde olası toksik etki [36]	*Bentik tür ve topluluklar zarar görebilir [30, 40] *Makrofitlerin populasyonu ve çeşitliliği değişebilir [24]	*Göl ekosistemini doğrudan etkiler [Uzman Görüşü]	*Yüzer sulak alan üzerindeki vejetasyonun aşırı artması halinde su kolonundaki oksijen seviyesinin azalması riski [49]
Çevreye ve Halka Etki	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [75]	*Tarama malzemesinin göl dışına çıkarılması ve taşınması esnasında oluşacak dökülme, sızıntı ve kontaminasyon riski [30] *Tarama ve taşınım esnasında çevre yerleşimleri etkileyebilecek gürültü [41] *Tarama malzemesinin depolanacağı alanda yeterli önlem alınmaması halinde koku, sızıntı vb. etki [40] *Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [Uzman Görüşü]	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [47]	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [Uzman Görüşü]

## Alternatiflerin Ana Kriterler Açısından Karşılaştırılması

Manyas Gölü için değerlendirilen 4 alternatifin ana kriterler olan teknolojik kriterler, ekonomik kriterler, çevresel ve sosyal kriterler açısından karşılaştırması Şekil 25'te görülmektedir<sup>1</sup>. Teknolojik kriterler açısından, kimyasal madde ilavesinin giderim verimindeki etkinliği ve uygulamanın etkisinin hızlı şekilde gözlemlenmesi gibi üstünlüklerinden dolayı diğer alternatiflere kıyasla öne çıktığı görülmektedir. Ekonomik kriterler açısından bakıldığında gerek ilk yatırım gerekse işletme ve bakım maliyetinin düşüklüğüyle biyomanipülasyon yöntemi açık farkla öne çıkmıştır. Ekonomik kriterler açısından biyomanipülasyonu yüzer sulak alan takip etmektedir. Yüzer sulak alan yöntemi ise diğer alternatiflere kıyasla çevresel ve sosyal kriterler açısından oldukça öndedir.



Şekil 25. Alternatiflerin Ana Kriterler Açısından Karşılaştırılması

<sup>1</sup> Şekil 25'te grafiğin sol göstergesi kriterlerin yüzde olarak ağırlıklarını, sağ göstergesi ise alternatiflerin kriterler açısından tercih edilebilirlik oranlarını (%) ifade etmektedir.



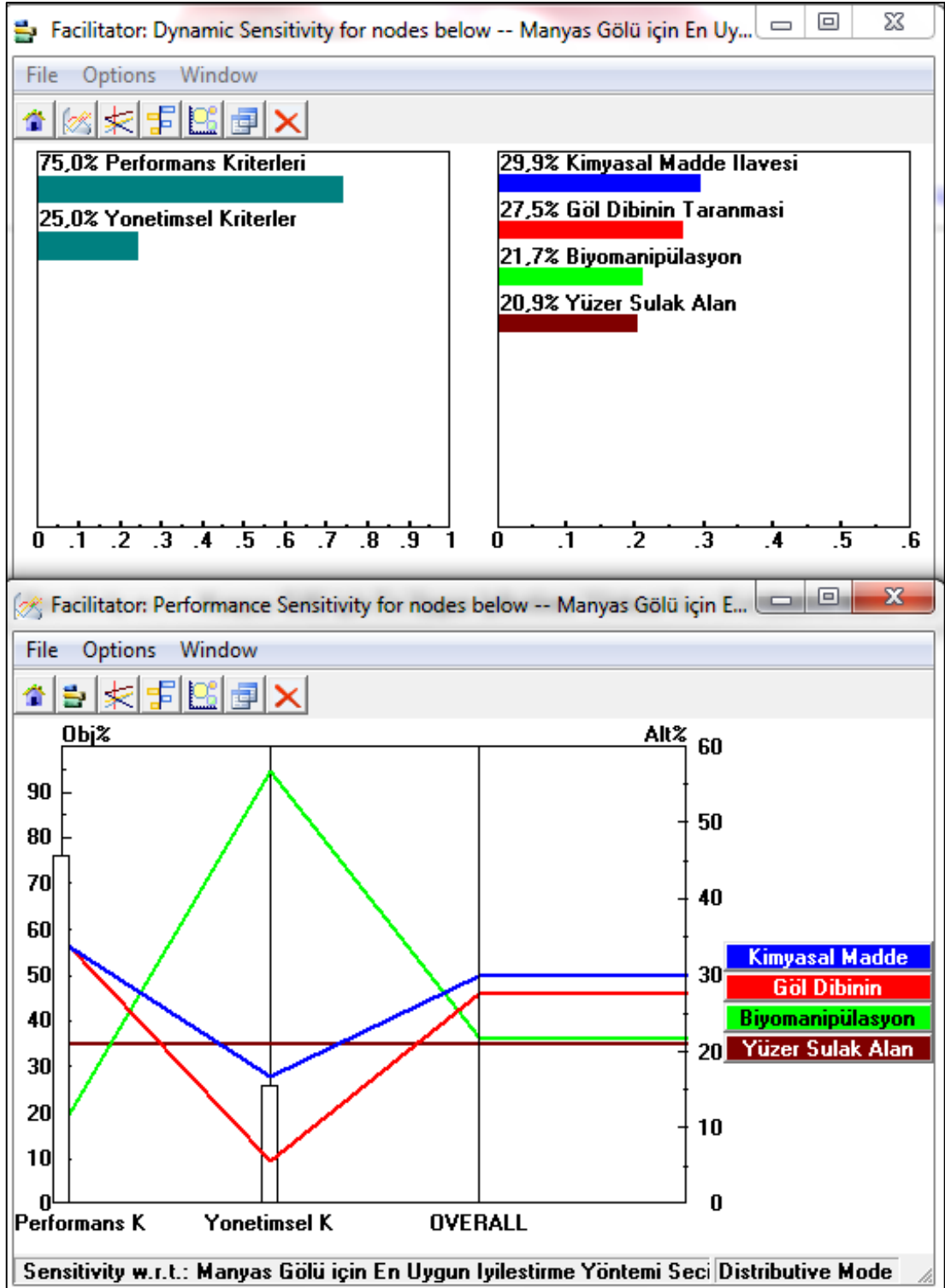
## Alternatiflerin Teknolojik Kriterler Açısından Karşılaştırılması

Alternatifler teknolojik kriterlerin alt kriterleri olan performans kriterleri ve yönetimsel kriterler açısından karşılaştırıldığında kimyasal madde ilavesi ve göl dibinin taranmasının performans kriterleri açısından neredeyse eşit değerler aldığı, biyomanipülasyon yönteminin ise yönetimsel kriterler açısından öne çıktığı görülmektedir (Şekil 26). Performans alt kriteri vektörünün ağırlığının daha yüksek olmasıyla beraber %29,9'luk bir oranla kimyasal madde ilavesi yönteminin teknolojik kriterler açısından daha tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

Teknolojik kriterlerin alt kriterleri açısından alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması ise Tablo 14'te gösterilmektedir. Performans kriterleri açısından tercih edilebilirlik sıralamasında ilk sırayı göl dibinin taranması alırken, yönetimsel kriterler açısından ilk sırayı biyomanipülasyon almıştır.

Tablo 14. Teknolojik Kriterler Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması

<b>Kriterler</b>	<b>1. Sıra</b>	<b>2. Sıra</b>	<b>3. Sıra</b>	<b>4. Sıra</b>
<b>Performans Kriterleri</b>	Göl Dibinin Taranması	Kimyasal Madde İlavesi	Yüzer Sulak Alan	Biyomanipülasyon
<b>Yönetimsel Kriterler</b>	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan	Kimyasal Madde İlavesi	Göl Dibinin Taranması



Şekil 26. Alternatiflerin Teknolojik Alt Kriterler Açısından Karşılaştırılması

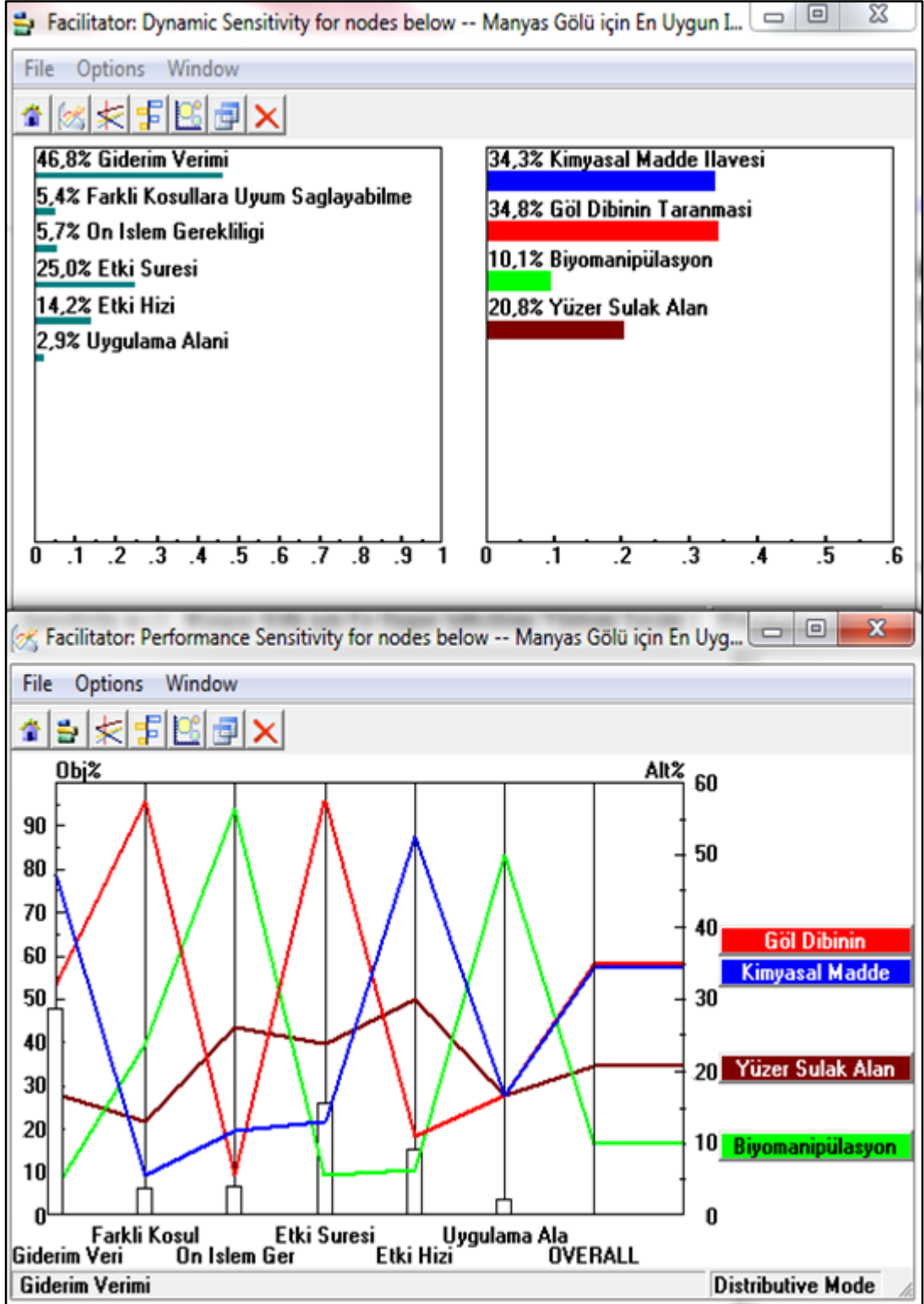
### **Alternatiflerin Performans Kriterleri Açısından Karşılaştırılması**

Alternatiflerin performans kriterleri açısından karşılaştırılmasına bakıldığında (Şekil 27) giderim verimi ve etki süresi kriterlerinin ağırlığının da etkisiyle göl dibinin taranması ve kimyasal madde ilavesinin neredeyse eşit oranda tercih edilebileceği görülmektedir. Bu yöntemleri %20,8'lik bir oranla yüzer sulak alan takip etmektedir.

Performans kriterinin alt kriterleri açısından alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması Tablo 15'te gösterilmektedir. Buna göre, performans kriterleri içerisinde ağırlığı en fazla olan giderim verimi kriterinde ilk sırayı kimyasal madde ilavesi alırken ikinci sırada olan etki süresi kriteri açısından göl dibinin taranması yöntemi ilk sırayı almıştır. Yüzer sulak alan yöntemi ise performans kriterlerinin neredeyse tamamı açısından tercih edilebilirlik sıralamasında ikinci sırada yer almaktadır.

Tablo 15. Performans Kriterleri Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması

<b>Kriterler</b>	<b>1. Sıra</b>	<b>2. Sıra</b>	<b>3. Sıra</b>	<b>4. Sıra</b>
<b>Giderim Verimi</b>	Kimyasal Madde İlavesi	Yüzer Sulak Alan	Göl Dibinin Taranması	Biyomanipülasyon
<b>Farklı Koşullara Uyum Sağlayabilme</b>	Göl Dibinin Taranması	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan	Kimyasal Madde İlavesi
<b>Ön İşlem Gerekliliği</b>	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan	Kimyasal Madde İlavesi	Göl Dibinin Taranması
<b>Etki Süresi</b>	Göl Dibinin Taranması	Yüzer Sulak Alan	Kimyasal Madde İlavesi	Biyomanipülasyon
<b>Etki Hızı</b>	Kimyasal Madde İlavesi	Yüzer Sulak Alan	Göl Dibinin Taranması	Biyomanipülasyon
<b>Uygulama Alanı</b>	Biyomanipülasyon	Diğer alternatifler aynı sıradadır		



Şekil 27. Alternatiflerin Performans Kriterleri Açısından Karşılaştırılması

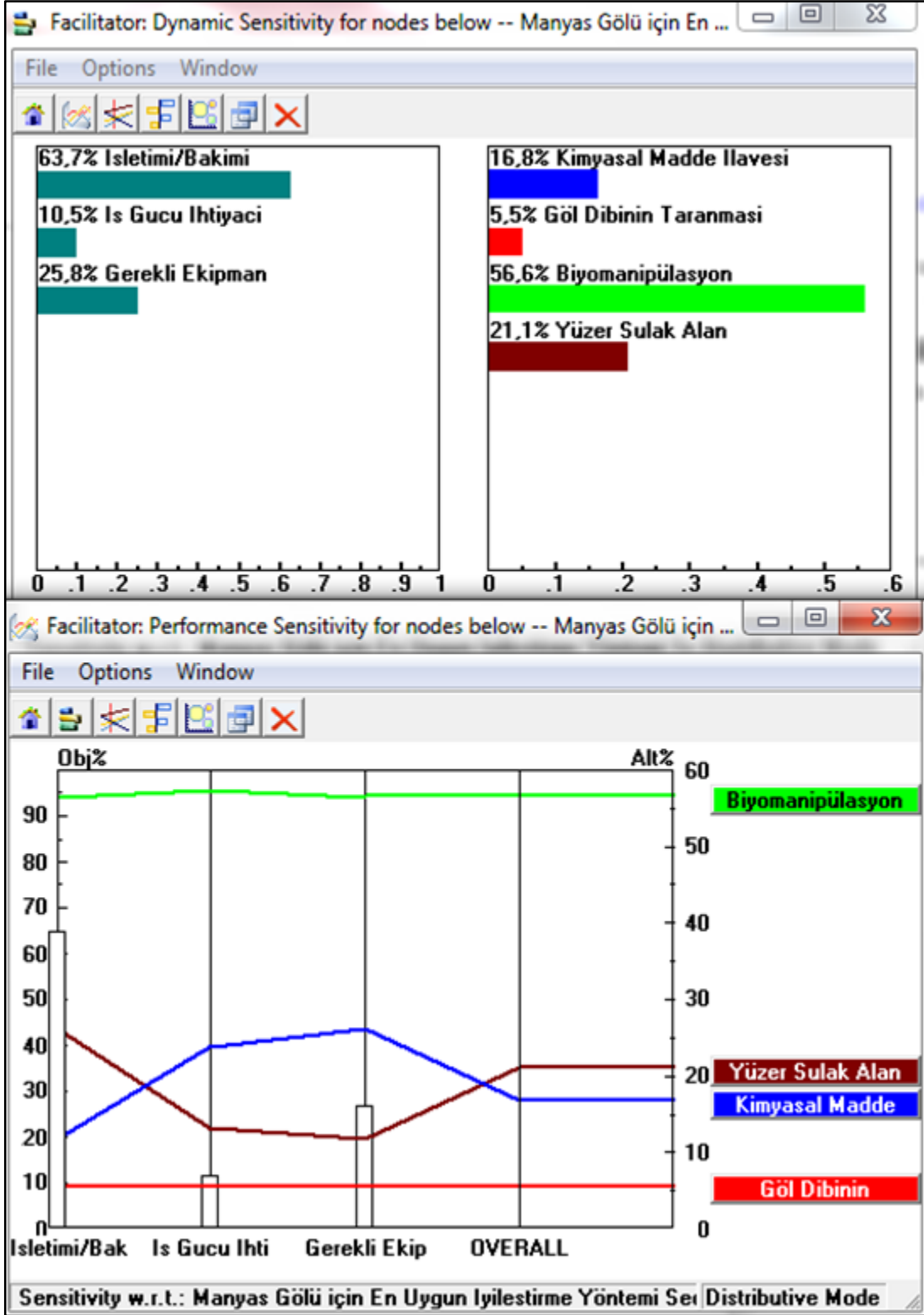
## **Alternatiflerin Yönetimsel Kriterler Açısından Karşılaştırılması**

Alternatiflerin yönetimsel kriterler açısından karşılaştırılmasına bakıldığında (Şekil 28) biyomanipülasyonun diğer yöntemlere kıyasla işletme ve bakım gibi ihtiyaçlarının olmayışı, daha az işgücü gerektirmesi ve kullanılan ekipmanın daha az oluşu gibi nedenlerle %56,6'lık bir oranla tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

Yönetimsel kriterlerin alt kriterleri açısından alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması Tablo 16'da gösterilmektedir. Buna göre, yönetimsel kriterler açısından tercih edilebilirlik kapsamında ilk sırayı biyomanipülasyon almıştır. İkinci sırada ise kimyasal madde ilavesi yönteminin ağırlığı görülmektedir. Dip tarama ise yönetimsel kriterlerin tamamında tercih edilebilirlik açısından son sırada yer almaktadır.

Tablo 16. Yönetimsel Kriterler Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması

<b>Kriterler</b>	<b>1. Sıra</b>	<b>2. Sıra</b>	<b>3. Sıra</b>	<b>4. Sıra</b>
<b>İşletimi/Bakımı</b>	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan	Kimyasal Madde İlavesi	Dip Tarama
<b>İşgücü İhtiyacı</b>	Biyomanipülasyon	Kimyasal Madde İlavesi	Yüzer Sulak Alan	Dip Tarama
<b>Gerekli Ekipman</b>	Biyomanipülasyon	Kimyasal Madde İlavesi	Yüzer Sulak Alan	Dip Tarama



Şekil 28. Alternatiflerin Yönetimsel Kriterler Açısından Karşılaştırılması

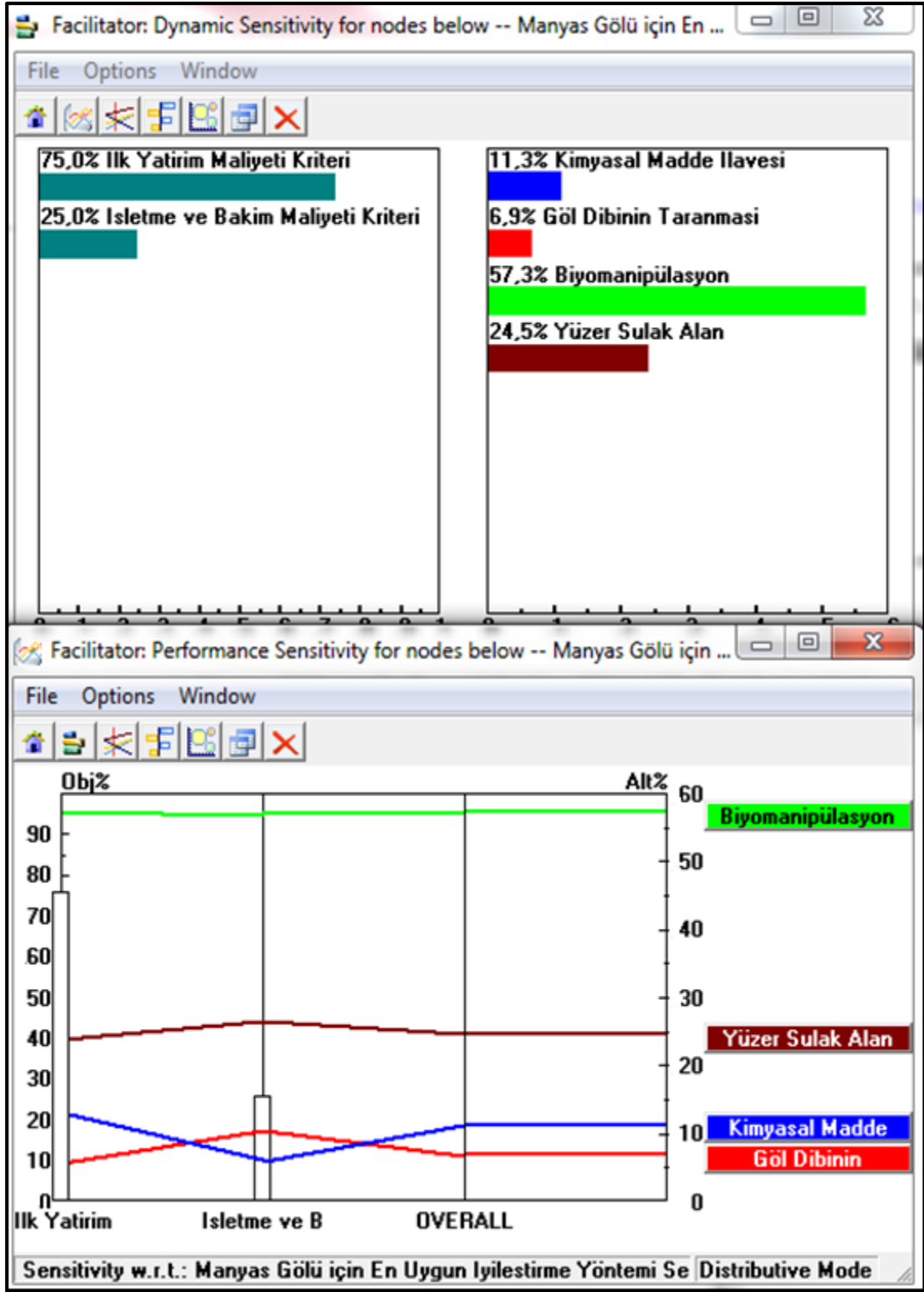
### **Alternatiflerin Ekonomik Kriterler Açısından Karşılaştırılması**

Alternatiflerin ekonomik kriterler açısından karşılaştırılmasına bakıldığında (Şekil 29) gerek ilk yatırım gerekse işletme ve bakım maliyetinin düşüklüğü nedeniyle %57,3'lük oranla biyomanipülasyonun daha tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

Ekonomik kriterlerin alt kriterleri açısından alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması Tablo 17'de gösterilmektedir. Her iki alt kriter açısından da tercih edilebilirlik sıralamasında ilk iki sırayı sırasıyla biyomanipülasyon ve yüzer sulak alan takip etmektedir.

Tablo 17. Ekonomik Kriterler Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması

<b>Kriterler</b>	<b>1. Sıra</b>	<b>2. Sıra</b>	<b>3. Sıra</b>	<b>4. Sıra</b>
<b>İlk Yatırım Maliyeti Kriteri</b>	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan	Kimyasal Madde İlavesi	Dip Tarama
<b>İşletme ve Bakım Maliyeti Kriteri</b>	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan	Dip Tarama	Kimyasal Madde İlavesi



Şekil 29. Alternatiflerin Ekonomik Kriterler Açısından Karşılaştırılması



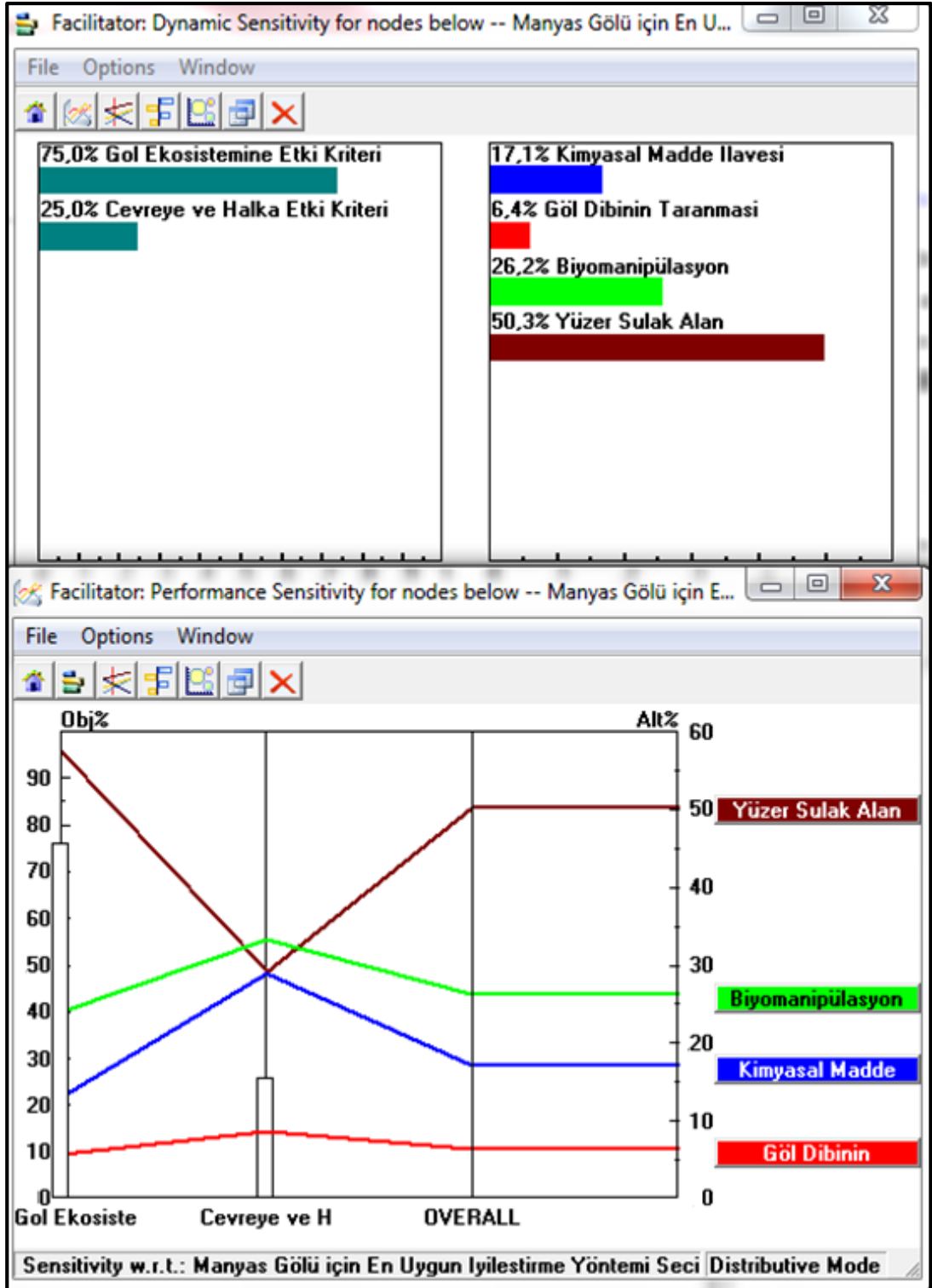
## **Alternatiflerin Çevresel ve Sosyal Kriterler Açısından Karşılaştırılması**

Alternatiflerin çevresel ve sosyal kriterler açısından karşılaştırılmasına bakıldığında (Şekil 30) göl ekosistemine etki kriterinin ağırlığıyla beraber yüzer sulak alan yönteminin %50,3'lük bir oranla daha tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

Çevresel ve sosyal kriterlerin alt kriterleri açısından alternatiflerin tercih edilebilirlik sıralaması Tablo 18'de gösterilmektedir. Göl ekosistemine etki kriteri açısından tercih edilebilirlik sıralamasında ilk sırayı yüzer sulak alan yöntemi alırken, çevreye ve halka etki kriteri açısından ilk sırada biyomanipülasyon yer almaktadır.

Tablo 18. Çevresel ve Sosyal Kriterler Açısından Alternatiflerin Tercih Edilebilirlik Sıralaması

<b>Kriterler</b>	<b>1. Sıra</b>	<b>2. Sıra</b>	<b>3. Sıra</b>	<b>4. Sıra</b>
<b>Göl Ekosistemine Etki Kriteri</b>	Yüzer Sulak Alan	Biyomanipülasyon	Kimyasal Madde İlavesi	Göl Dibinin Taranması
<b>Çevreye ve Halka Etki Kriteri</b>	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan ve Kimyasal Madde İlavesi aynı sıradadır		Göl Dibinin Taranması



Şekil 30. Alternatiflerin Çevresel ve Sosyal Kriterler Açısından Karşılaştırılması

## Genel Değerlendirme

Tablo 19’da Manyas Gölü için uygulanabilecek 4 yöntemin her bir kriter bazında tercih edilebilirlik oranları gösterilmiştir. Belirtilen kriterlere göre kıyaslanmış olan yöntemler içerisinde %34’lük oranla yüzer sulak alan tercih edilebilirlik sıralamasında ilk sırada yer almaktadır. Bunu sırasıyla %28,7’lik oranla biyomanipülasyon, %21,8’lik oranla kimyasal madde ilavesi ve %15,5’lik oranla göl dibinin taranması takip etmektedir.

Tablo 19. Alternatiflerin Kriterler Bazında Tercih Edilebilirlik Oranları

<b>Kriterler/Yöntemler</b>	<b>Kimyasal Madde İlavesi</b>	<b>Göl Dibinin Taranması</b>	<b>Biyomanipülasyon</b>	<b>Yüzer Sulak Alan</b>
<b>Teknolojik Kriterler</b>	%29,9	%27,5	%21,7	%20,9
<b>Performans Kriterleri</b>	%34,3	%34,8	%20,1	%20,8
Ön İşlem Gerekliliği	%11,8	%5,5	%56,5	%26,2
Giderim Verimi	%47,2	%32	%3,9	%16,9
Etki Süresi	%13,1	%57,4	%5,6	%23,9
Etki Hızı	%52,7	%11	%6,3	%30,1
Uygulama Alanı	%16,7	%16,7	%50	%16,7
Farklı Koşullara Uyum Sağlayabilme	%5,6	%57,4	%23,9	%13,1
<b>Yönetimsel Kriterler</b>	%16,8	%5,5	%56,6	%21,1
İşletimi/Bakımı	%11,8	%5,5	%56,5	%26,2
İşgücü İhtiyacı	%23,9	%5,6	%57,4	%13,1
Gerekli Ekipman	%26,2	%5,5	%56,5	%11,8
<b>Ekonomik Kriterler</b>	%11,3	%6,9	%57,3	%24,5
İlk Yatırım Maliyeti Kriteri	%13,1	%5,6	%57,4	%23,9
İşletme ve Bakım Maliyeti Kriteri	%6,1	%10,6	%56,9	%26,4
<b>Çevresel ve Sosyal Kriterler</b>	%17,1	%6,4	%26,2	%50,3
Göl Ekosistemine Etki	%13,1	%5,6	%23,9	%57,4
Çevreye ve Halka Etki	%29,1	%8,6	%33,3	%29,1
<b>NİHAİ DURUM DEĞERLENDİRMESİ</b>	<b>%21,8</b>	<b>%15,5</b>	<b>%28,7</b>	<b>%34</b>

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tatlı su kaynaklarına erişilebilirlik konusunda yaşanan doğal kısıtın yanında kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi etmenler nedeniyle su kaynakları üzerinde ciddi baskılar oluşmaktadır. Su kaynaklarına erişim konusundaki bu sıkıntının önümüzdeki 20-25 yıl içerisinde küresel ölçekte bir “su krizine” zemin hazırlama ihtimali oldukça yüksektir. Bu çerçeveden bakıldığında, ikamesi mümkün olmayan bu doğal kaynağın gerek miktar gerekse kalite açısından korunması ve iyileştirilmesi gereği daha da belirginleşmektedir.

Su ortamının besin elementleri açısından aşırı derecede zenginleşmesi neticesinde ortaya çıkan ötrofikasyon problemi oldukça önemli bir su kalitesi problemi. Artan su ihtiyacına karşılık kullanılabilir su kaynaklarının azlığı da ötrofikasyonla doğrudan ilişkilendirilen hassas alanlarda koruma ve iyileştirme çalışmalarının yürütülmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, hassas alanlara ilişkin ulusal ve uluslararası mevzuat incelenmiş, hassas su kütlelerinde korumaya ve iyileştirmeye yönelik yöntemler değerlendirilmiştir. Hassas bir su kütlesi için en uygun yöntemin belirlenebilmesi konusunda bir “karar destek aracı” olan Analitik Hiyerarşi Metodu (AHP) hakkında bilgi verilmiş, Manyas Gölü üzerinden bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

### 7.1 Sonuçlar

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Hassas su kütlelerinde alınabilecek öncelikli tedbir bu su kütlelerinin besin elementleri tarafından beslenmesinin önüne geçilmesidir. “Korumaya yönelik önlemler” olarak ifade edilen bu önlemler kirliliğin kaynakta kontrolü, hassas su kütlelerini besleyen kaynakların kontrolü, akış yönünün değiştirilmesi, noktasal ve yayılı kaynakların kontrol altına alınması olarak sıralanabilir.
- Bazı durumlarda ve özellikle de durgun su kütlelerinde korumaya yönelik önlemler, yani dışarıdan gelen besin elementi yükünün azaltılması bu su kütlelerinde trofik durumun istenilen seviyeye ulaşması için yeterli olmamakta,

ya da süreç uzamaktadır. Böyle bir durumda da su kütlesine dışarıdan gelen besin elementi yükünün azaltılmasının yanında su kütlesinin kendisinde de ilave önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler iyileştirmeye yönelik önlemler olarak belirtilmektedir.

- Literatürde göllerin iyileştirilmesine yönelik çok sayıda yöntem bulunmaktadır ancak bu yöntemlerden bir kısmının göl ekosistemine zarar verme, yeterince etkin olmama vb. nedenlerle uygulanması tercih edilmemektedir. Bu noktada göl iyileştirme konusunda en sık uygulanan yöntemler; yapay sirkülasyon, hipolimnetik havalandırma, hipolimniyondan su çekimi, göl suyunun değiştirilmesi, kimyasal madde ilavesi, göl dibinin taranması, biyomanipülasyon ve yapay sulak alan olarak sıralanabilir.
- Sığ ve tabakalaşmanın olmadığı, RAMSAR alanı olan Manyas Gölü'nde yukarıda sıralanan yöntemlerden dördünün (yapay sirkülasyon, hipolimnetik havalandırma, hipolimniyondan su çekimi, göl suyunun değiştirilmesi) uygulanması ve olumlu netice alınması mümkün görünmemektedir.
- Göllerin kendi iç ve dış dinamiklerinin farklılığından ötürü iyileştirme yöntemleri de uygulamadan uygulamaya farklı neticeler vermekle beraber, genel çerçevede tüm iyileştirme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları değerlendirilebilmektedir.
- Birden çok kriter ve alternatif içeren karmaşık problemlerin çözümünde karar verme sürecinin kontrol altında tutulabilmesi adına Analitik Hiyerarşi Metodu (AHP) oldukça yararlı bir araçtır. Literatürde AHP'nin su temini, atıksu arıtma prosesi seçimi, su yönetiminde finansal kaynak seçimi gibi alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Ancak göl iyileştirme yöntemi seçimine ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır.
- Hassas su kütlesi olan bir göl için en uygun iyileştirme yönteminin seçiminde çok sayıda kriterin dikkate alınması, nihai değerlendirmenin güvenilir ve rasyonel olması açısından da analitik bir yapının oluşturulması oldukça önemlidir.
- Manyas Gölü için dikkate alınan 4 iyileştirme yönteminden (kimyasal madde ilavesi, göl dibinin taranması, biyomanipülasyon ve yüzer sulak alan) en uygun yöntemin seçiminde de AHP'den yararlanılmıştır. Oluşturulan hiyerarşik

yapıda teknolojik kriterler kapsamında yöntemlerin teknik özellikleri, ekonomik kriterler kapsamında da yöntemlerin maliyetleri göreceli olarak karşılaştırılmıştır. Ancak yöntemlerin yalnızca teknik hususlar ve maliyet açısından karşılaştırılması uygulamanın etkinliğini ve sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle hiyerarşik yapının bütüncül bir düzene kavuşturulabilmesi amacıyla, yöntemlerin ekolojik ve sosyolojik etkilerinin de karşılaştırıldığı kriterlerin eklenmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında da bahse konu hususlar, çevresel ve sosyal kriterler başlığı altında değerlendirilmiştir.

- Manyas Gölü için dikkate alınan 4 iyileştirme yönteminin tüm ana kriterler ve alt kriterler açısından tercih edilebilirlik oranları Expert Choice programından faydalanılarak hesaplanmıştır. Buna göre teknolojik kriterler açısından ilk sırayı kimyasal madde ilavesi, ekonomik kriterler açısından ilk sırayı biyomanipülasyon, çevresel ve sosyal kriterler açısından da ilk sırayı yüzer sulak alan yöntemi almıştır.
- Yöntemlerin başta teknolojik kriterler açısından olmak üzere pek çok kriter kapsamında tercih edilme yüzdelerinin birbirine oldukça yakın olması karar vericiler açısından AHP gibi yöntemlerin ne denli kolaylaştırıcı olduğunu göstermektedir.
- Manyas Gölü için yapılan bu çalışmada belirlenen kriterler çerçevesinde ortaya çıkan en tercih edilebilir iyileştirme yönteminin %34'lük oranla yüzer sulak alan olduğu sonucuna varılmıştır.

## 7.2 Öneriler

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar ve çalışmalar ışığında oluşturulan öneriler şunlardır;

- Ötrofikasyonla mücadele konusunda öncelikli olarak su kütlelerinin korunmasına yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler sayesinde su kütlelerine dışarıdan gelecek besin elementi yükü azaltılabilecektir. Ancak bazı su kütlelerinde bu önlemler alınsa dahi istenilen trofik seviyeye ulaşılması mümkün olmamakta, ya da bu seviyeye ulaşma

süreci çok uzun zaman almaktadır. Böyle durumlarda da korumaya yönelik önlemlerin yanında iyileştirmeye yönelik önlemlerin de alınması gerekmektedir.

- OSİB, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nce yürütülen Türkiye'de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi ile ülkemizdeki hassas alanlar ve bu alanlara dış kaynaklardan gelen besin elementi yükünün azaltılmasına ilişkin tedbirler belirlenmiştir. Ancak modelleme çalışmaları göstermektedir ki korumaya yönelik bu tedbirler belirlenen hassas alanların tamamında istenilen trofik seviyeye ulaşmada yeterli olamayacaktır. Bu kapsamda korumaya yönelik tedbirlerin yetersiz kalacağı su kütlelerinin belirlenerek bu kütlelerde ne gibi iyileştirme faaliyetlerinin yapılabileceği araştırılmalıdır.
- Tez kapsamında ele alınan 8 iyileştirme yönteminin ülkemiz hassas alanlarında uygulanmasının değerlendirilmesi ve bu hususun pilot çalışmalarla desteklenmesi gerek ötrofikasyonla mücadele açısından gerekse göl iyileştirme yöntemleri konusunda kapasite geliştirilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır.
- Manyas Gölü için değerlendirilen yöntemler içerisinde en tercih edilebilir olarak belirlenen yüzer sulak alan yönteminin bu göl için uygulanmasına yönelik bir yol haritasının çıkartılması gerekmektedir.
- Bu tez kapsamında bir araç olarak kullanılan AHP'nin su yönetimi konusunda pek çok alanda da kullanılabileceği görülmüştür. Katılımcı bir yapıda hazırlanan havza yönetim planlarında ve bu planların uygulanmasındaki karar alma süreçlerinde AHP'nin oldukça yararlı bir araç olacağı düşünülmektedir.
- Sektörel su tahsisi planlamasında sektörel gelişim, iklim değişikliği, nüfus artışı, su potansiyeli, çevresel akış vb. çok sayıda faktörün bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada da karar vericilere bir yol göstereceği düşünülen AHP'nin kullanılması önerilmektedir.
- Taşkın riski altındaki alanlarda riskin yönetilmesi için hedefleri ve bu hedeflere ulaşılması için alınması gereken önlemleri içeren taşkın yönetim planlarının hazırlanmasında en uygun önlemlerin belirlenmesi hususunda AHP'den faydalanılabilir. Taşkın yönetim planlarının hazırlanması sürecinde olduğu

gibi kuraklık yönetim planlarının hazırlanması aşamalarında da AHP'den faydalanılabilir.

- Suyun fiyatlandırılmasında tüm yerleşimlere uygun tek bir çözümden bahsetmek mümkün değildir. Fiyatlandırma konusunda maliyet de dâhil olmak üzere sektörel kullanım, nüfus, su kısıtı gibi suyun fiyatına etki eden tüm faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. AHP'nin de bu faktörlerin bütüncül olarak değerlendirilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.
- AHP uygulaması, en uygun arıtma prosesinin seçiminde tüm faktörlerin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu doğrultuda arıtma prosesi seçiminde AHP'den faydalanılması karar sürecini destekleyecektir.



## KAYNAKLAR

1. Adalı N., 2014. *Su Kirliliği Açısından Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi İle Hassas Alanların Yönetimine İlişkin Esaslar*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Uzmanlık Tezi.
2. Akkaya C., Efeoğlu A., Yeşil N., 2006. *Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Türkiye’de Uygulanabilirliği*, TMMOB Su Politikaları Kongresi.
3. [http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/index_en.html) Erişim Tarihi: 22.08.2016.
4. European Communities, 2009. WFD CIS Guidance Document No. 23. Guidance Document on Eutrophication Assessment in the Context of European Water Policies.
5. Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 8 Ocak 2006 tarih ve 26047 sayılı RG.
6. Karpuzcu, M., Koçali, M., 2007. *Göllerde Ötrofikasyon ve Çözüm Önerileri*, Göller Kongresi Göller Yöresi, İç Anadolu Gölleri ve Sorunları, 09-10 Haziran, 86-92.
7. Ekholm, P., 2008. *N:P Ratios in Estimating Nutrient Limitaion in Aquatic Systems*, Finnish Environment Institute.
8. Muslu, Y. 2001. *Göl ve Haznelerde Su Kalitesi Yönetimi*, e-kitap, İSKİ.
9. Litke D. H., 1999. *Review of Phosphorus Control Measures in United States and Their Effects on Water Quality*, US Geological Survey Water Resources Investigations Report 99-4007, 49.
10. Schoumans, O.F. (Ed.), W.J. Chardon (Ed.), M. Bechmann, C. Gascuel-Oudou, G. Hofman, B. Kronvang, M.I. Litaor, A. Lo Porto, P. Newell-Price and G. Rubæk, 2011. *Mitigation Options For Reducing Nutrient Emissions From Agriculture. A Study Amongst European Member States Of Cost Action 869*, Wageningen, Alterra, Alterra-Report 2141.
11. Li L., Li Y., Biswas D.K., Nian Y. ve Jiang G., 2008. *Potential Of Constructed Wetlands in Treating The Eutrophic Water: Evidence From Taihu Lake Of China*, Bioresource Technology, 99: 1656-1663.
12. Environment Agency, 2012. *Freshwater Eutrophication. A Nationally Significant Water Management Issue*, Briefing note for 10.12.2012 workshop.

13. Zheng, L., Paul M. J., *Effects of Eutrophication on Stream Ecosystems*, Tetra Tech, Inc.
14. <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/techpublications/TechPub-11/5-3-1.asp>  
Erişim Tarihi: 04.11.2016
15. Dodds W.K. ve Oakes R.M., 2006. *Controls on Nutrients Across a Prairie Stream Watershed: Land Use and Riparian Cover Effects*, Environmental Management 37(5): 634–646.
16. Riseng, C. M., M. J. Wiley, Black R. W., A ve Munn, M. D., 2011. *Impacts of Agricultural Land Use on Biological Integrity: A Causal Analysis*, Ecological Applications, 21(8): 3128–3146.
17. Karakaya, N., Öngen, A., ve Kınacı, C., 2002. *Ötrofikasyon Kontrol Tekniklerinin Değerlendirilmesi. Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, Cilt: 12, Sayı:3, Sayfa 35-42.
18. Cooke G. D., Welch B., Martin A. B., Fulmer D.G., Hyde J. B. ve Schriever G.D., 1993. *Effectiveness of Al, Ca, And Fe Salts For Control of Internal Phosphorus Loading in Shallow and Deep Lakes*, Hydrobiologia 253: 323-335.
19. Beklioğlu M., 1999. *A Review On The Control of Eutrophication in Deep and Shallow Lakes*, Tr. J. of Zoology, 23: 327–336.
20. Sondergaard, M., Jeppesen E., Jensen J.P. ve Lauridsen T., 2000. *Lake Restoration in Denmark*, Lakes&Reservoirs: Research and Management, 5(3):151 – 159.
21. Beutel M. W. ve Horne A.J., 1999. *A Review of the Effects of Hypolimnetic Oxygenation on Lake and Reservoir Water Quality*, Journal of Lake and Reservoir Management, 15(4): 285-297.
22. Cooke G.D., Welch E.B., Peterson S.A. ve Nichols S. A., 2005. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*, Taylor & Francis Group, LLC
23. Visser P.M., Ibelings B.W., Bormans M. ve Huisman J., 2015. *Artificial Mixing to Control Cyanobacterial Blooms: A Review*, Aquat Ecol., 50: 423.
24. Stroom J. M. ve Kardinaal W.E., 2016. *How to Combat Cyanobacterial Blooms: Strategy Toward Preventive Lake Restoration and Reactive Control Measures*, Aquat Ecol. 50:541–576

25. Sibel Yiğit, 2004. *Göllerde Ötrofikasyon Problemleri ve Çözüm Yolları*, Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi, Sayı 09, 32-36.
26. Pastorok R.A., Ginn T.C. ve Lorenzen M.W., 1981. *Evaluation of Aeration/Circulation As Lake Restoration Technique*, EPA 600/3-81-014.
27. Eiseltova M., 1994. *Restoration of Lake Ecosystems a Holistic Approach*, IWRB Publications 32, 182 pp.
28. UNEP, 2000. *Planning and Management of Lakes and Reservoirs: An Integrated Approach to Eutrophication*, Training Module, UNEP International Environmental Technology Centre Osaka/Shiga.
29. Kumar A., 2008. *Hypolimnic Withdrawal for Lake Restoration*, Proceedings of Taal 2007: The 12<sup>th</sup> World Lake Conference: 812-818
30. Bormans M., Marsalek B. ve Jancula D., 2015. *Controlling Internal Phosphorus Loading in Lakes by Physical Methods to Reduce Cyanobacterial Blooms: A Review*, Aquat Ecol., 50: 407.
31. Klapper H., 2003. *Technologies for Lake Restoration*, Journal Of Limnology, 62(Suppl. 1): 73-90.
32. Zamparas M. ve Zacharias I., 2014. *Restoration of Eutrophic Freshwater by Managing Internal Nutrient Loads, A Review*, Science of the Total Environment, 496: 551-562
33. Charboneau D., 1999. *Chemical Precipitation and Inactivation as a Method to Reduce Internal Phosphorus Loading in Lakes*, Restoration and Reclamation Review Student Online Journal University of Minnesota, Vol.5, No 1.
34. *Small Lake Restoration*, Annual General Meeting, BC Lake Stewardship Society, 2013.
35. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, 1990. United States Environmental Protection Agency, EPA-440/4-90-006.
36. Topçu A., 2011. *Göl ve Göletlerin Restorasyonunda Sedimentteki Fosfor İnaktivasyonunun Rolü*, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi Cilt:3, Sayı:1, 89-97.
37. Ansari A. A., Gill S. S., Lanza G.r. ve Rast W., 2011. *Eutrophication: Causes, Consequences and Control*, Springer.

38. Sondergaard M., Jeppesen E., Lauridsen T. L., Skov C., Van Nes E. H., Roijackers R., Lammens E. ve Portielje R., 2007. *Lake Restoration: Successes, Failures and Long-Term Effects*, Journal of Applied Ecology, 44:1095-1105.
39. Pulatsu S., Topçu A. ve Yılmaz E., 2015. *Göllerde Ötrofikasyonun Kontrolü: Sediment Tarama Uygulamaları*, Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der., 5(1): 51-56.
40. Peterson S. A., 1981. *Sediment Removal as a Lake Restoration Technique*, United States Environmental Protection Agency, EPA-600/3-81-013.
41. EPA 2001, Best Practice Environmental Management Guidelines for Dredging
42. Didinen H, Boyacı Y. Ö. ve Didinen B. I, 2008. *Uygulanmış Bazı Göl İyileştirme Çalışmaları ve Sonuçları*, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, Cilt 25 Sayı 2, 173-179.
43. Beklioğlu M., 2000. *Göller Besin Zinciri Yıkımı ve Biyomanipülasyon, Mogan ve Eymir Gölleri*, Bilim ve Teknik Dergisi.
44. Tüzün İ. ve Mason C. F., 1996. *Eutrophication and Its Control by Biomanipulation : an Enclosure Experiment*, Hydrobiologia, 331: 79-95.
45. Mehner T., Benndorf J., Kasprzak ve Koschel R., 2002. *Biomanipulation of Lake Ecosystems: Successful Applications and Expanding Complexity in the Underlying Science*, Freshwater Biology, 47: 2453-2465.
46. Kasprzak P., Benndorf J., Mehner T. Ve Koschel R., 2002. *Biomanipulation of Lake Ecosystems: an Introduction*, Freshwater Biology, 47: 2277-2281.
47. Lammens E.H.R.R, 2001. *Consequences of Biomanipulation for Fish and Fisheries*, FAO Fisheries Circular. No. 952. Rome, FAO.
48. Beklioğlu, M., Tüzün, İnce, L. Burnak, L. ve Muluk Ç. 2000. *Eymir Gölü'nde Ötrofikasyon Kontrolünde Biyomanipülasyon Uygulaması: İlk Sonuçlar*, 149. 1. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu. Ankara.
49. Lubnow F. S., 2014. *Using Floating Wetland Islands to Reduce Nutrient Concentrations in Lake Ecosystems*, National Wetlands Newsletter, Vol. 36, No. 6, Environmental Law Institute.
50. Headley T.R. ve Tanner C.C., 2008. *Floating Treatment Wetlands: an Innovative Option for Stormwater Quality Applications*, 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, India.

51. Mthembu S. M., 2012. *Nitrogen and Phosphorus Removal from Agricultural Wastewater Using Constructed Rhizofiltration in Durban, South Africa*, Journal of Agricultural Science and Technology A 2, 1142-1148.
52. Pavlineri N., Skoulikidis N. Th. ve Tsihrantzis V.A., 2016. *Constructed Floating Wetlands: A Review of Research, Design, Operation and Management Aspects, and Data Meta-Analysis*, Chemical Engineering Journal.
53. <http://www.aquabiofilter.com/> Erişim Tarihi: 13.12.2016.
54. Saaty T.L., 2008. *Decision Making with Analytical Hierarchy Process*, Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, 83-98.
55. Kuruüzüm A. ve Atsan N., 2001. *Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları*, Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi (1), 83-105.
56. Dağdeviren M., Akay D. ve Kurt M., 2004. *İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması*, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19, 2.
57. Gök, M., 2006. *Analitik Hiyerarşi Yönetimini Kullanan Bir Karar Destek Yazılımının Geliştirilmesi*, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
58. Yetim, S., 2004. *Analitik Hiyerarşi Sürecine Ait Bazı Matematiksel Kavramlar*, Kastamonu Eğitim Dergisi, 12, 2.
59. Erikan, L., 2002. *Hava Kuvvetleri Komutanlığında Aday Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Etkin Karar Verme*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
60. Güngör U., 2008. *İmalat Programı Oluşturmada Ürün Önceliklerinin Belirlenmesi İçin Bir Model Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
61. Özden H. Ü., 2008. *Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile İlkokul Seçimi*, Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi, Cilt XXIV, Sayı 1, 299-320.
62. Aydın G., 2008. *Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bir Sanayi İşletmesinde Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
63. Adalı N., 2014. *Organize Sanayi Bölgeleri için Atıksu Artımında Optimizasyon: Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Kavramsal Tasarım Seçeneklerinin Belirlenmesi*,

- Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü.
64. Karimi A.R., Mehrdadi N., Hashemian S. J., Nabi Bidhendi G. R. ve Tavakkoli Mooghaddam R., 2011. *Selection of Wastewater Treatment Process Based on the Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Analytical Hierarchy Process Methods*, Int. J. Environ. Sci. Tech. 8 (2), 267-280.
  65. Cabrera Jr E., Cobacho R., Estruch V. ve Aznar J., 2011. *Analytical Hierarchy Process (AHP) as a Decision Support Tool in Water Resources Management*, Aqua., 60 (6): 343-351.
  66. Azarnivand A., Hashemi F. S. ve Banihabib M. E., 2015. *Extended Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach In Water and Environmental Management (Case Study: Lake Urmia Basin, Iran)*, Environ Earth Sci., Vol: 73 (1), 13–26.
  67. Pan W. ve Wu F., 2011. *AHP-Entropy Weight Method in Investment and Financing Decision-Making of Project-Study on Ecological Restoration Project in Taihu Lake*, Management and Service Science International Conference.
  68. Calizaya A., Meixner O., Bengstton L. ve Brendtsson R., 2010. *Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) for Integrated Water Resources Management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia*, Water Resour Manage., 24:2267–2289.
  69. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Manyas Gölü Alt Havzası Su Kalitesi Eylem Planı, 2016.
  70. [http://balikesir.ormansu.gov.tr/Balikesir/AnaSayfa/ka/mp\\_main/ka\\_mp\\_kc.aspx?sflang=tr](http://balikesir.ormansu.gov.tr/Balikesir/AnaSayfa/ka/mp_main/ka_mp_kc.aspx?sflang=tr) Erişim Tarihi: 12.12.2016
  71. Tetra Tech Inc., 2003. Lake Lawrence, Thurston County Integrated Aquatic Vegetation Management Plan.
  72. [www.hickoryhillslake.com/.../dredgingreport-edited.doc](http://www.hickoryhillslake.com/.../dredgingreport-edited.doc). Erişim Tarihi: 02.12.2016.
  73. Nürnberg G. K., 2007. *Lake Responses To Long-Term Hypolimnetic Withdrawal Treatments*, Lake and Reservoir Management, 23: 388-409.
  74. Şen B., Koçer M. A. T. ve Alp M. T., 2003. *Ekolojik Restorasyon ve Göl Restorasyon Metodları*, XII. Su Ürünleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Elazığ.

75. Honey W. D. ve Hogg T.C., 1978. *A Research Strategy For Social Assessment Of Lake Restoration Programs*, Socioeconomic Environmental Studies Series, EPA 600/5-78-004.
76. <http://merrellbros.com/services/hydraulic+dredging+services/8> Erişim Tarihi: 18.01.2017.
77. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2014-2016. Yerüstü Suları ile Yüzme ve Rekreasyon Amacıyla Kullanılan Kıyı Sularında Siyanobakteriler için Alarm Seviyelerinin ve Limitlerin Belirlenmesi, Müdahale ve Mücadele Yöntemlerinin Geliştirilmesi (SİYANOTOKS) Projesi.
78. Zhou Z., 2012. *Ecological Evaluation of Qingshan Lake Based on AHP Method*, Advanced Materials Research Vol 422 (2012) pp 619-622.
79. Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF), 2008. *Türkiye'deki RAMSAR Alanları Değerlendirme Raporu*.

## EK-1: MANYAS GÖLÜ ALT HAVZASI SU KALİTESİ EYLEM PLANI EYLEMLERİ

### 1. Eylem: Evsel Atıksuların Arıtılması

Göle etki eden en büyük kirlilik kaynaklarından biri kentsel atıksu deşarjlarıdır. Göl civarında yer alan yerleşim yerlerinden göle ve gölü besleyen çaylara doğrudan evsel atıksu deşarjları yapılmaktadır. Öncelikle nüfusundan dolayı Manyas Belediyesi ile ardından belde belediyeleri ve civar köylerden kaynaklanan evsel atıksuların arıtılmadan göle verilmesi önlenmelidir. Bu kapsamda yapılacak diğer çalışmalar ve zamanlama tablosu da aşağıda verilmektedir.

Eylemler		Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
1.A	Manyas ve Salur Belediyesi AAT'lerinin işletmeye alınması	2016-2023	Balıkesir Büyükşehir Belediyesi BASKİ	ÇŞB	Manyas AAT:1000 m <sup>3</sup> /gün'lük AAT tamamlanmış Çevre İzin Belgesi alınmıştır.
					Salur AAT AAT:500 m <sup>3</sup> /gün'lük AAT Çevre İzin Belgesi alınmıştır.
1.B	Planlama sürecindeki AAT'lerin işletmeye alınması	2016-2023	Balıkesir Büyükşehir Belediyesi BASKİ	ÇŞB	Proje çalışmalarının tamamlanarak ihale işlemlerine başlanması gerekmektedir.
1.C	<u>Nüfus &lt; 84 için;</u> fosseptik yapılması	2016-2023	Balıkesir Büyükşehir Belediyesi BASKİ	ÇŞB	Tesislerin yapılmadan önce ön etüt çalışmasının yapılması fosseptik yapılabilecek alanların belirlenmesi gerekmektedir.
1.D	Atıksu arıtma tesislerinin iyi işletilmesinin sağlanması	2016-2023	ÇŞB, İlgili Belediyeler		

### 2. Eylem: Endüstriyel Atıksuların Arıtılması

Gölü besleyen önemli kollardan biri olan Sığırcı Deresi önemli ölçüde endüstriyel atıksu deşarjına maruz kalmaktadır. Özellikle bu bölge de en gelişmiş sektör olan tavukçuluk tesislerindeki en büyük sorun arıtma tesislerinin olması rağmen bazı



dönemlerde kapasite fazlası üretim yapmaları ve bu nedenle arıtma tesisine alamadıkları atıksuları dereye doğrudan deşarj etmeleridir. İkincil Arıtma sistemine sahip olan bu endüstrilerin “Azot-Fosfor Giderimi” yapacak şekilde iyileştirilmeleri gerekmektedir. Bu kapsamda yapılacak çalışmalar ve zamanlama tablosu da aşağıda verilmektedir.

Eylemler		Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
2.A	İkincil arıtma sistemi olan ve azot ve fosfor giderimi yetersiz olan endüstrilerin azot-fosfor giderimi uygulayan ileri arıtma sistemlerini kurması (Banvit, AB Gıda, Bu Piliç, Kocaman Balıkçılık, Zengin Süt vb.)	2016-2018	Sanayiciler	ÇŞB	Alıcı ortama etki eden kirliliğin azaltılması için ileri arıtma sistemlerinin tamamlanması gerekmektedir.
2.B	Tavukçuluk tesislerindeki AAT kapasitelerinin artırılması	2016-2018	Sanayiciler	ÇŞB	Kapasite fazlası üretim sonucu oluşan atıksuyun dereye doğrudan deşarjının önlenmesi gerekmektedir.
2.C	Eti Maden Bor ve Asit Fabrikası atıksu deşarjlarının kontrolü	2016-2018	Sanayiciler	ÇŞB	Atıkların Ağıldere Atık Barajında bertaraf edilerek AAT çıkışının denize deşarj edildiği bilgisi alınmıştır.

### 3. Eylem: Katı Atıkların Yönetimi

Katı atıkların düzenli depolama sahalarına bertaraf edilmesi çevre kirliliğini önlemede büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılacak çalışmalar ve zamanlama tablosu da aşağıda verilmektedir.

Eylemler		Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
3.A	Yerleşimlerden kaynaklanan katı atıkların kurulmuş/ kurulması planlanan düzenli depolama sahasına gönderilmesinin sağlanması ve aktarma	2016-2023	Balıkesir Büyükşehir Belediye Başkanlığı	ÇŞB	Gerekli planlama ve etüt çalışmalarına başlanması gerekmektedir.

Eylemler		Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
	istasyonlarının kurulması				
3.B	Manyas Gölü alt havzasında yer alan düzensiz depolama sahalarının rehabilitasyonu	2016-2023	Balıkesir Büyükşehir Belediyesi	ÇŞB	Vahşi depolama yapılmış olan alanların çevre kirliliğine neden olmayacak şekilde düzenlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır.

#### 4. Eylem: Tarımsal Kirliliğin Önlenmesi

Göl civarında yer alan yerleşim yerleri ile gölü besleyen Kocaçay'ın kıyısında gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler ile hem gölün su seviyesi azaltmakta hem de kullanılan gübre ve pestisitler ile gölün sediment yükü artarak ötrofikasyona sebep olmaktadır. Gölde oluşan bu baskının etkilerini en aza indirmek için öncelikle göl civarında yer alan köylerde, ardından gölü besleyen çayların etkilendiği yerleşim yerlerinde Tarımsal Kirlilik Yönetimi çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından bildirilen 2016 yılı III. Dönem sonu itibarıyla kaydedilen gelişmeler eylem takip tablosunda yer almaktadır.

Eylemler		Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
4.A	Suni gübre kullanımının kontrolü	2016-2018	GTHB	OSİB	Havzada 72 adet ürün, 15 bayi ve 1 adet üretim yeri denetimi yapılmıştır. Alınan 5 adet numunede herhangi bir olumsuzluğa rastlanılmamıştır.
4.B	Pestisit kullanımının sınırlandırılması	2016-2018			<b>Entegre Mücadele ve Entegre ve Kontrollü Ürün Yönetimi Projesi</b> kapsamında İvrindi ilçesinde kiraz için 15 çiftçide 100 dekar alan 2016 yılı programına alınmıştır. <b>Hasat Öncesi Pestisit Denetim Programı</b> kapsamında 20 adet çiftçi roka, domates, taze fasulye, nektarin, ayva, hıyar, biber, maydanoz, armut ürünleri 2016 yılı denetim programına alınmıştır. Havzada bitki koruma

Eylemler		Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
					ürünleri (BKÜ) yazım yetki belgesine sahip 43 yetkili, BKÜ yetkili uygulayıcı belgesine sahip 4655 uygulayıcı bulunmaktadır.
4.C	İyi Tarım Uygulamalarının teşvik edilmesi	2016-2018			Havzada 4 çiftçi ile 632 dekar alanda; Patlıcan, Domates, Kavun, Elma, Armut, Erik, Ceviz, Şeftali, Kiraz ve Biber ürünlerinde iyi tarım uygulamaları yapılmaktadır.
4.D	Kontrol ve uygulamaların takibi	2016-2018			Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan nitrat kirliliğinin tespiti amacıyla Balıkesir ilinde 32 adet yerüstü ve 23 adet yer altı olmak üzere toplam 55 su izleme istasyonunda izleme çalışmaları yapılmaktadır.

## 5. Eylem: Maden Sahalarının Rehabilitasyonu

DSİ 25. Bölge Müdürlüğü tarafından Balıkesir İl Su Yönetimi Koordinasyon Kurulu toplantısında Balya kurşun madeni atıklarının bertaraf edilmesi veya düzenli depolanmasının sağlanması için Balıkesir Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığınca gerekli çalışmanın yapılması, jeolojik yapının ağır metal kirliliği ile ilişkisinin belirlenebilmesi amacıyla konunun MTA Kuzeybatı Anadolu Bölge Müdürlüğü'nce de değerlendirilmesi kararı alındığı ifade edilmiştir.

Eylemler		Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
5	1997 yılından bu yana faaliyet göstermeyen Balya kurşun madeni sahasında şirketin geride bıraktığı büyük miktarda atık sahasının rehabilite edilmesi	2016-2018	ÇŞB	OSİB	Balya kurşun madeni atıklarının bertaraf edilmesi veya düzenli depolanmasının sağlanması için Balıkesir Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı ve ÇŞB Taşra Teşkilatı tarafından yapılacak çalışmalar takip edilecektir.

## 6. Eylem: Ağaçlandırma ve Erozyonla M¼cadele

Erozyon; g¼l¼n dolmasına, krom ve bor gibi kimyasal maddelerin g¼le taşınımı ile g¼ldeki kirliliğın artmasına neden olmaktadır. Bu baskı unsurundan oluşan etkinin en aza indirilmesi için tüm havza içerisinde erozyon, sel ve çığ kontrol¼ çalışmalarını gerçekleştirilmedi. Havza içerisinde erozyon risk haritasına g¼re “orta, kuvvetli, şiddetli ve çok şiddetli” olarak belirlenen alanlarda ağaçlandırma ve rehabilitasyon çalışmaları yapılmalıdır. Bu kapsamda yapılacak çalışmalar ve zamanlama tablosu da aşağıda verilmektedir.

	Eylemler	Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken alışmalar
6	Erozyonun önlenmesine yönelik g¼l çevresinde ağaçlandırma ve rehabilitasyon ile mera ıslahı çalışmalarının yapılması	2016-2018	EM OGM	ÇŞB	M¼lkiyet ve arazi bozunum durumu dikkate alınarak alınması gereken tedbirlerin belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir.

## 7. Eylem: G¼ldeki Taban amuru Y¼netimi

G¼ldeki taban çamuru miktarının, içeriğinin ve kirlilik durumunun tespit edilmesine yönelik fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Eyleme ilişkin zamanlama tablosu aşağıda verilmektedir.

	Eylemler	Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken alışmalar
7	G¼ldeki taban çamuru miktarının, içeriğinin ve kirlilik durumunun tespit edilmesi	2016-2018	DSİ	ÇŞB DKMP	Eylemin uygulanmasına yönelik fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

## 8. Eylem: Uzun Devreli Gelişme Planı Uygulamalarının Takibi

“Manyas Gölü Sulak Alan Yönetim Planı” yerine “Uzun Devreli Gelişme Planı” hazırlanmış olup Plan kapsamında yapılacak uygulamaların takibinin yapılması planlanmaktadır. Eyleme ilişkin zamanlama tablosu aşağıda verilmektedir.

Eylemler	Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
8 Manyas Gölü Uzun Devreli Gelişme Planı ve Sulak Alan Yönetim Planı uygulamalarının takibi	2016-2020	OSİB DSİ	DKMP	2873 sayılı “Milli Parklar Kanunu” kapsamında ilan edilen korunan alanlar için hazırlanan plan kapsamında yapılacak çalışmalar takip edilecektir. Plan onay aşamasındadır. Sulak Alan Yönetim Planının 2015 yılı itibariyle süresi dolmuş olup revize edilmesi planlanmaktadır.

## 9. Eylem: Su Kalitesinin İzlenmesi, Denetim ve Yaptırım Faaliyetleri

Eylemler	Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
9.A Su kalitesi İzleme Programlarının hazırlanması	2016-2017	SYGM	DSİ	Susurluk Havzası İzleme Programı hazırlanmıştır.
9.B Yerüstü ve yeraltı suları su kalitesi izleme çalışmalarının yapılması	2016-2020	DSİ	SYGM	İzleme çalışmaları devam etmektedir.
9.C Atıksu altyapı sistemlerine deşarj edilen atıksuların yönetimi	2016-2023	ÇŞB	İlgili Belediyeler, Sanayi Kuruluşları, OSİB	
9.D Alıcı ortam standartlarının belirlenmesi	2016-2017	OSİB	ÇŞB, GTHB, İlgili Belediyeler	Ülkemize özgü çevresel kalite standartları belirlenmiştir.
9.E Alıcı ortam bazlı deşarj standartlarının oluşturulması	2016-2023	ÇŞB	İlgili Belediyeler, Sanayi Kuruluşları, OSİB	

## 10. Eylem: Su Dengesinin Korunması Faaliyetleri

Devlet Su İşleri 25. Bölge Müdürlüğü ve bağlı birimleri, gölün su çıkış ve giriş değerlerini gölün belirlenmiş alt ve üst kotlarının korunması bağlamında etkinlik göstermektedir. Manyas Gölü'ndeki su seviyesi günlük olarak hassasiyetle takip edilmekte olup, gelecek 10 günlük meteorolojik öngörülerden faydalanılarak oluşacağı varsayılan hidrolojik şartlara, sulama ve diğer ihtiyaçlar için talep edilen su miktarlarına, Manyas Gölü için talep edilen aylık su seviyelerine ve mansaptaki drenaj koşullarına göre göl işletme çalışmalarına yön verilmektedir.

Eylemler		Uygulama Yılları	Mesul Kurum	İlgili Kurum	Yapılan/Yapılması Gereken Çalışmalar
10.A	Sulamalarda yağmurlama ve damla sulama sistemine geçilmesi	2016-2020	DSİ GTHB	SYGM	Basınçlı sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması amacıyla hazırlanan Tebliğ 29/04/2016 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Bu kapsamda GTHB' ye proje başvuruları alınmaya başlanmış olup Balıkesir ilinden 1 müracaat olmuştur. Proje uygulama çalışmaları devam etmektedir. Havza içerisinde yer alan yerleşim yerlerinden başvuru olmamıştır.
10.B	Arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasına yönelik çalışmaların yapılması	2016-2018	ÇŞB, OSİB		
10.C	Yeraltı suyu kullanımının sınırlandırılması	2016-2020	DSİ	OSİB	

## EK-2: GÖL İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN KRİTERLER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

En uygun iyileştirme yönteminin seçimi	Yapay Sirkülasyon	Hipolimnetik Havalandırma	Hipolimnyondan Su Çekimi	Göl Suyunun Değiştirilmesi	Kimyasal Madde İlavesi	Göl Dibinin Taranması	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan
<b>Teknolojik Kriterler</b>								
<b>Performans Kriterleri</b>								
Ön İşlem Gerekliliği	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17] *Kilometrekareye verilmesi gereken havanın tespiti [23] *Kritik derinliğin belirlenmesi [22]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17] *Temiz su temini ihtiyacı [25] *Taşınacak suyun ulaştırılacağı uygun alanın tespiti [Uzman Görüşü]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17] *Uygun pH aralığı (Tampon gerekebilir) [18] *Fe ve Ca'nın kullanıldığı durumlarda anoksik koşulları engellemek için havalandırma [22]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17] *Sediman tabakasının kalınlığı, hacmi, partikül boyutu, organik madde içeriği, varsa toksik madde içeriğinin belirlenmesi [22] *Taranan sedimanın ulaştırılacağı/kullanılacağı alanın seçimi [40]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6,17] *Göldeki balık faunasının tespiti [Uzman Görüşü]	*Dış kaynaklardan su ortamına gelen besin elementi girdisinin kontrol altına alınması [6, 17] *Uygun bitki seçimi [52]
Giderim Verimi	*Giderim verimi değişkendir [Uzman Görüşü]	* Hipolimnetik TP Giderim verimi ortalama %30-50 civarındadır [22]	* Hipolimnetik TP Giderim verimi ortalama %70-80 civarındadır [22]	*Çok sayıda vakada bu yöntemle toplam fosfor miktarında azalma görülmüştür [29]	* TP Giderim verimi ortalama %50-60 civarındadır [22]	*TP Giderim verimi ortalama %30 ile %90 arasında değişmektedir [22]	*Seki diski derinliği %50'den fazla artış göstermiştir ancak TP konsantrasyonunda değişiklik gözlenmemiştir [38]	*TP Giderim verimi ortalama %48,7'dir [52]
Etki Süresi	*Uzun vadeli çözüm getirmez [74] *Yıl içerisinde tekrarlanması gerekir [22]	*Uzun vadeli çözüm getirmez [22, 25, 30] *Kimyasal madde ilavesi veya hipolimnyondan su çekimi kadar etkili değildir [35]	*Uzun vadeli çözüm getirir [22, 30] *Hipolimnetik havalandırmaya göre daha uzun vadeli çözüm getirir [35]	*Uzun vadeli çözüm getirir [29]	*Uzun vadeli çözüm getirir [74] *Raporlanan uygulamaların önemli bölümünde uzun vadeli başarı [22]	*Restorasyon amaçlı sediment tarama uygulamaları ile sediment uzun dönem iyileşme sağlanır [39] *Kimyasal madde ilavesine göre daha uzun vadeli çözüm [74]	*Düzenli aralıklarla tekrarlanması gerekir [37]	*Uzun vadeli etki [49]
Etki Hızı	*Etki hızlı şekilde gözlenir [24]	*Etki hızlı şekilde gözlenir [24]	*Etki oldukça hızlı şekilde gözlenir [24]	*Etki oldukça yavaş şekilde gözlenir [24]	*Etki oldukça hızlı şekilde gözlenir [24]	*Etkinin gözlemlendiği hız farklılık gösterir [24]	*Zooplanktivorların gölden alındığı durumda etki hızlı şekilde, etçil balıkların göle stoklandığı durumda yavaş şekilde gözlenir [24]	*Etki hızlı şekilde gözlenir [53]
Uygulama Alanı	* Besin elementi kısıtının olmadığı derin göller için daha uygun [22]	*Tabakalaşmanın olduğu göllerde uygulanır [21, 25] *Maksimum derinliğin 12-15 m'den az olduğu ya da hipolimnetik hacmin düşük olduğu durumlarda önerilmez [22]	*Tabakalaşmanın olduğu göllerde uygulanır [22, 29] *Özellikle derin ve yüzey alanı küçük olan göllerde başarılı neticeler vermektedir [22]	* Uygulama alanı kısıtından bahsedilmez [29]	*Sığ göller için daha etkin bir yöntemdir [74] *Makrofit yayılımının az olduğu, sedimandan fosfor salınımının yüksek olduğu, göl suyunun yıkamaya maruz kalmadığı, uzun yıllar yüksek besin elementi girişiyle fosfor yüküne maruz kalmış göller için daha etkindir [34] *Göl yeterince alkali değilse ya da tampon eklenmeyecekse Al uygulanması önerilmez [22]	*Sığ göller uygulanabilirlik kriterleri arasındadır [22] *Maliyeti nedeniyle küçük ve sığ göller için daha uygundur [30]	*Sığ göllerde daha başarılı olduğuna dair yaygın görüş hakimdir [19] *Sığ ve ötrofik göllerde daha etkilidir [46]	*Su kolonundaki fosfor konsantrasyonu 0,1 mg/L ve üzeri göllerde çok daha maliyet etkin bir yöntem [49] *Makrofit köklerinin göl dibindeki bentik yapıya ulaşmaması için 0,8-1 m derinliğin sağlanması gereklidir [50]
Farklı Koşullara Uyum Sağlayabilme	*Tabakalaşmanın olduğu göllerde tabakalaşma dönemlerinde uygulanır [27]	*Tabakalaşmanın olduğu dönemde uygulanır [21, 25]	*Tabakalaşmanın olduğu dönemde uygulanır [22, 29]	*Su değişimi için mevsim kısıtı yoktur [29]	*İşsel fosfor yükü iklim koşulları, sıcaklık, rüzgar vb.'den etkilenir [33]	*Farklı dışsal faktörlere uyum gösterir [Uzman Görüşü]	*Uygulamanın başarısı iklim koşullarından etkilenir [37]	*Seçilecek bitkilerin iklim koşullarına uyumu ve etkin giderim sağlaması gereklidir [52]

En uygun iyileştirme yönteminin seçimi	Yapay Sirkülasyon	Hipolimnetik Havalandırma	Hipolimnyondan Su Çekimi	Göl Suyunun Değiştirilmesi	Kimyasal Madde İlavesi	Göl Dibinin Taranması	Biyomanipülasyon	Yüzer Sulak Alan
<b>Yönetimsel Kriterler</b>								
İşletim/Bakım	*Tabakalaşmanın olduğu dönemde uygulanacağından ekipmanın bakımı önemlidir [Uzman Görüşü]	*Tabakalaşmanın olduğu dönemde uygulanacağından ekipmanın bakımı önemlidir [38]	*Tabakalaşmanın olduğu dönemde uygulanacağından ekipmanın bakımı (borulardaki birikim, paslanma vb.) önemlidir [73]	*Uygulama sonrası işletme ve bakım gerektirmez [Uzman Görüşü]	*İşletim ve bakımı nispeten kolaydır [Uzman Görüşü] *Uygulama öncesi ve sonrası gölün uzun dönem izlenmesi gerekir [39] *Uygulamanın tekrarlanması gerekebilir [22]	*İşlem esnasında sedimanın yeniden süspanse olma riski bulunmaktadır [Uzman Görüşü]	*İşletim ve bakımı kolaydır [Uzman Görüşü] *Su kalitesindeki iyileşmenin devamlılığı açısından uygulamanın düzenli aralıklarla tekrarlanması gereği [Uzman Görüşü]	*İşletim ve bakımı kolaydır [49] *Yüzer sulak alan üzerindeki vejetasyonun aşırı artması halinde su kolonundaki oksijen seviyesinin azalması riski [49]
İşgücü İhtiyacı	*Uygulama tekrarlanacağından, uygulama ve takip için kalifiye personel ve işgücü gerekir [Uzman Görüşü]	*Uygulama tekrarlanacağından, uygulama ve takip için kalifiye personel ve işgücü gerekir [Uzman Görüşü]	*Uygulama tekrarlanacağından, uygulama ve takip için kalifiye personel ve işgücü gerekir [Uzman Görüşü]	*Uygulama için kalifiye personel ve yoğun işgücü gerekir [Uzman Görüşü]	*Uygulama için kalifiye personel gerekir [22, Uzman Görüşü]	*Uygulama için kalifiye personel ve çok yoğun işgücü gerekir [Uzman Görüşü]	*Uygulamada gölden faydalanan balıkçılar görev alabilir [35]	*Periyodik işgücü gerektirir [49]
Gerekli Ekipman	*Difüzör, pompa vb. [22]	*Aeratör, pompa, elektromotor vb. [22]	*Pompa, motor, borulama sistemi vb. [22]	*Pompa, motor, borulama sistemi vb. [22]	*Pompa, difüzör, nozzle vb. [22]	*Mekanik/hidrolik/pnömatik ekipman [40]	*Pound ağlar, trol, balık tuzakları vb. [43]	*Sulak alanın zeminini oluşturacak malzeme ve bitkiler [49]
<b>Ekonomik Kriterler</b>								
İlk Yatırım Maliyeti Kriteri	*Yüksek maliyet [24, 28]	*Yüksek maliyet [22, 74] *Dip taramaya göre daha düşük maliyet [28] *Hipolimnyondan su çekimine göre daha yüksek maliyet [35]	*Düşük maliyet [22, 30, 74] *Hipolimnetik havalandırmaya göre daha düşük maliyet [22]	*Düşük maliyet [74]	*Dip taramaya göre daha düşük maliyetli [22, 36, 37] *Düşük maliyet [35, 74]	*Yüksek maliyet [35, 37, 39, 71, 72]	*Çok düşük maliyet [74]	*Düşük maliyet [49] *Su kolonundaki fosfor konsantrasyonu 0,1 mg/L ve üzeri göllerde daha maliyet etkin uygulama [49]
İşletme ve Bakım Maliyeti Kriteri	*Yüksek maliyet [24, 28]	*Yüksek maliyet [22, 74] *Dip taramaya göre daha düşük maliyet [14]	*Düşük maliyet [22, 30, 74]	*Düşük maliyet [74]	*Dip taramaya göre daha düşük maliyetli [35] *Düşük maliyet [74]	*Düşük maliyet [35]	*Çok düşük maliyet [74]	*Düşük maliyet [49] *Su kolonundaki fosfor konsantrasyonu 0,1 mg/L ve üzeri göllerde daha maliyet etkin uygulama [49]
<b>Çevresel ve Sosyal Kriterler</b>								
Göl Ekosistemine Etki	*Yeterli derinlikte karıştırılmadığı takdirde siyanobakteri miktarı artar [23] *Gölde tam karışım nedeniyle sıcaklığın artması durumunda düşük sıcaklıkta yaşayan türler için risk oluşur [26]	*Havalandırma sürecinde hipolimnetik suyun azot gazınca aşırı doymuş olması halinde balık ölümleri olabilir [30] *Zooplankton yoğunluğu ve balık habitatu artar [30]	*Su seviyesindeki değişim göl ekosistemini etkiler [30]	*Gölün tamamen boşaltılması ekosistemi olumsuz etkiler [25]	*Göl ekosistemi üzerinde olası toksik etki [36]	*Bentik tür ve topluluklar zarar görebilir [30, 40] *Makrofitlerin popülasyonu ve çeşitliliği değişebilir [24]	*Göl ekosistemini doğrudan etkiler [Uzman Görüşü]	*Yüzer sulak alan üzerindeki vejetasyonun aşırı artması halinde su kolonundaki oksijen seviyesinin azalması riski [49]
Çevreye ve Halka Etki	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [75]	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [75]	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [75] *Hipolimnetik suyun alıcı ortamda yaratabileceği su kalitesi ve koku problemi [22, 30]	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [47] *Taşınan suların alıcı ortamda yaratabileceği su kalitesi ve koku problemi [6]	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [75]	*Tarama malzemesinin göl dışına çıkarılması ve taşınması esnasında oluşacak dökülme, sızıntı ve kontaminasyon riski [30] *Tarama ve taşınım esnasında çevre yerleşimleri etkileyebilecek güdültü [41] *Tarama malzemesinin depolanacağı alanda yeterli önlem alınmaması halinde koku, sızıntı vb. etki [40] *Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [Uzman Görüşü]	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [47]	*Gölden faydalanan grupların (balıkçılar vb) olası tepkileri [Uzman Görüşü]



## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel Bilgiler**

Doğum Tarihi: 08.12.1984

Doğum Yeri: İstanbul

e-posta: c.aksu@ormansu.gov.tr

### **Eğitim**

2007-2010 ODTÜ - Biyoteknoloji (Yüksek Lisans)

2003-2007 ODTÜ - Çevre Mühendisliği (Lisans)

1996-2003 Süleyman Demirel Anadolu Lisesi

### **İş Denevimi**

2014 - Orman ve Su İşleri Bakanlığı (Uzman Yardımcısı)

2010 – 2014 Güney Ege Kalkınma Ajansı (Uzman)

2010 (Ocak-Nisan) Şantes Atık İmha Sistemleri (Mühendis)

### **Eğitimler/Kurslar**

<b>Kurum/Kuruluş Tarih</b>	<b>Eğitim/Kurs</b>
ABİGEM Denizli 2010	Proje Döngüsü Yönetimi
Kalkınma Bankası 2013	Fizibilite Raporlarının Hazırlanması
Kalkınma Bakanlığı 2012	Bölgesel Dinamikler ve Yönetişim
Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2015	Su Çerçeve Direktifinin Uygulanması ve Nehir Havza Yönetim Planlarının Hazırlanması Konusunda Eğiticilerin Eğitimi Projesi

