

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AŞAĞI KELKİT HAVZASI DOĞAL SULAK  
ALANINDA BİTKİLERLE FOSFOR GİDERİMİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Saliha DİRİM**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR**

**Haziran 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AŞAĞI KELKİT HAVZASI DOĞAL SULAK  
ALANINDA BİTKİLERLE FOSFOR GİDERİMİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Saliha DİRİM**

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 13 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr.  
Saim ÖZDEMİR  
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr.  
Mehmet İŞLEYEN  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.  
Ekrem BUHAN  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması aŐamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR'e ve Gaziosmanpaşa Üniversitesi kadrosundan Yrd. Doç. Dr. Ekrem BUHAN'a, Yrd. Doç. Dr. M.Kadir ÖZAĞ'a, Öğretim Görevlisi Fatih POLAT'a, Öğretim Görevlisi Tarık DAL'a, Uzman Murat GÖKSEL'e, Uzman Hakan KARADAĞ'a, Uzman Dildar ÇETİN'e ve diğer mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımı destekleyen sevgili aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Aşağı Kelkit Havzasının Genel Özellikleri .....	3
2.2. Evsel Atıksuların Karakterizasyonu.....	7
2.2.1. Evsel atıksuların çevreye etkileri.....	8
2.2.2. Aşağı Kelkit Havzasındaki evsel atıksuların mevcut durumu	9
2.3. Sucul Sistemlerde Fosfor Döngüsü Ve Önemi.....	9
2.4. Sulakalanlar ve Atıksu Giderimindeki Kullanımı.....	13
2.4.1. Doğal sulakalanlar.....	14
2.4.2. Yapay sulakalanlar.....	15
2.4.2.1. Serbest yüzey akışlı sulak alanlar.....	15
2.4.2.2. Yüzey altı akışlı sulak alanlar.....	16
2.5. Aşağı Kelkit Havzasındaki Doğal Sulak Alanların Mevcut Durumu	17
2.6. Su Kültürü ve Atıksu Giderimindeki Önemi.....	18
2.6.1. Sucul bitkilerle doğal arıtım sistemleri.....	18

2.6.2. Doğal arıtma sistemlerinde kullanılan su bitkileri, özellikleri	24
2.6.2.1. Yüzücü sucul bitkiler.....	25
2.6.2.2. Batık bitkiler.....	27
2.6.3. Aşağı Kelkit Havzasında baskın su bitkileri ve özellikleri.....	28
2.6.3.1. <i>Cladophora glomerata</i> .....	28
2.6.3.2. <i>Nasturdium officinale</i> .....	29
2.6.3.3. <i>Potamogeton pectinatus</i> .....	30
2.6.3.4. <i>Lemna minor</i> .....	31
2.6.3.5. <i>Myriophyllum spicatum</i> .....	32
2.6.3.6. <i>Ceratophyllum demersum</i> .....	33
2.6.3.7. <i>Typha domingensis</i> .....	34
2.6.3.8. <i>Typha angustifolia</i> .....	34
BÖLÜM 3.	
YÖNTEM.....	35
3.1. Çalışma Bölgesi.....	35
3.2. Arazi Çalışmaları.....	36
3.3. Laboratuvar ve Su Parametreleri Ölçüm Çalışmaları.....	36
3.4. Bitki Sistematiği Çalışmaları.....	37
3.5. İstatistiksel Değerlendirmeler.....	38
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR.....	39
4.1. Bitki Sistematiği Bulguları.....	39
4.2. Sulak Alan Çalışması Bulguları.....	42
4.2.1. Sulak alan giriş ve çıkış suyu Kasım 2005 dönemi çalışması...	43
4.2.2. Sulak alan giriş ve çıkış suyu Aralık 2005 dönemi çalışması...	43
4.2.3. Sulak alan giriş ve çıkış suyu Mart 2006 dönemi çalışması.....	44
4.2.4. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel sıcaklık değişimi..	44
4.2.5. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel iletkenlik değişimi.....	45
4.2.6. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel turbidite değerleri değişimi....	45
4.2.7. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel pH değerleri değişimi...	46
4.2.8. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel çözünmüş oksijen değişimi..	46

4.2.9. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel ortofosfat değerleri değişimi	47
4.3. Laboratuvar Denemeleri.....	48
4.3.1. Nasturtium officinale ‘de fosfor tutum sonuçları.....	49
4.3.2. Cladophora glomerata ‘de fosfor tutum sonuçları.....	49
4.3.3. Lemna minor ‘da fosfor tutum sonuçları.....	50
4.3.4. Potamogeton pectinatus ‘da fosfor tutum sonuçları.....	50
4.3.5. Ceratophyllum demersum ‘da fosfor tutum sonuçları.....	51
4.3.6. Myriophyllum spicatum ‘da fosfor tutum sonuçları.....	51
4.3.7. Typha domingensis ‘de fosfor tutum sonuçları.....	52
4.3.8. Typha angustifolia ‘da fosfor tutum sonuçları.....	52
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	53
5.1. Çalışılan Bitki Türleri ve Laboratuvar Ortamında Fosfor Giderimleri	54
5.1.1. Nasturtium officinale ‘de fosfor giderimi.....	57
5.1.2. Cladophora glomerata ‘de fosfor giderimi.....	57
5.1.3. Lemna minor ‘da fosfor giderimi.....	58
5.1.4. Potamogeton pectinatus ‘da fosfor giderimi.....	59
5.1.5. Ceratophyllum demersum ‘da fosfor giderimi.....	60
5.1.6. Myriophyllum spicatum ‘da fosfor giderimi.....	61
5.1.7. Typha domingensis ve Typha angustifolia’da fosfor giderimi..	62
5.2. Çalışılan Sulak Alanda Fosfor Giderimi.....	63
KAYNAKLAR.....	70
EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	75

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kelkit havzası ilçelerinde nüfus dağılımı.....	3
Şekil 2.2.	Kelkit havzasının sayısal yükselti haritası.....	5
Şekil 2.3.	Su ortamında fosfor döngüsü.....	11
Şekil 2.4.	Yapay sulak alan sisteminin basit olarak görünüşü.....	15
Şekil 2.5.	Yüzey altı akışlı sulak alan.....	16
Şekil 2.6.	Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle konvansiyonel sistemlerin karşılaştırılması.....	20
Şekil 2.7.	Sucul bitkiler.....	25
Şekil 2.8.	Cladophora'nın A, B-Mikroskopik ve makroskopik görünüşü, C- Cladophora'da üreme.....	28
Şekil 2.9.	Nasturdium officinale A-Çizim, B-Genel fotoğraf, C- Habitatında toplu fotoğraf.....	29
Şekil 2.10.	Potamogeton pectinatus A- Çizim, B- Genel fotoğraf, C-Habitatında toplu fotoğraf.....	30
Şekil 2.11.	Lemna minor A- Çizim, B- Genel fotoğraf, C- Habitatında toplu fotoğraf.....	31
Şekil 2.12.	Myriophyllum spicatum A- Çizim, B- Genel fotoğraf, C- Habitatında toplu fotoğraf.....	32
Şekil 2.13.	Ceratophyllum demersum A- Çizim, B- Genel fotoğraf, C- Habitatında toplu fotoğraf.....	33
Şekil 2.14.	A, B- Typha angustifolia, C- Typha domingensis, D- Çizim.....	34
Şekil 3.1.	Aşağı Kelkit Havzası ve Çalışma Bölgesi Sayısal Yükselti Haritası.....	35
Şekil 4.1.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri dağılımı (Kasım 2005).....	43
Şekil 4.2.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri dağılımı (Aralık 2005).....	43

Şekil 4.3.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri dağılımı (Mart 2006).....	44
Şekil 4.4.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu sıcaklık dağılımı.....	44
Şekil 4.5.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu elektriksel iletkenlik dağılımı.....	45
Şekil 4.6.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu turbidite değerleri dağılımı.....	45
Şekil 4.7.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu pH dağılımı.....	46
Şekil 4.8.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu çözünmüş oksijen dağılımı.....	46
Şekil 4.9.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu ortofosfat dağılımı.....	47
Şekil 4.10.	Nasturtium officinale ‘de fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi.....	49
Şekil 4.11.	Cladophora glomerata ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi.....	49
Şekil 4.12.	Lemna minor ‘de fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi.....	50
Şekil 4.13.	Potamogeton pectinatus ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi.....	50
Şekil 4.14.	Ceratophyllum demersum ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi.....	51
Şekil 4.15.	Myriophyllum spicatum ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi.....	51
Şekil 4.16.	Typha domingensis ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi	52
Şekil 4.17.	Typha angustifolia ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi..	52
Şekil 5.1.	Çalışılan bitkilerin laboratuvar koşullarında ortafosfat tutum ortalama değerleri dağılımı.....	56
Şekil 5.2.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri dağılımı.....	65
Şekil 5.3.	Aşağı Kelkit Havzasını temsilen Niksar bölgesinin uzun yıllar iklimsel değişimleri.....	68



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kelkit Havzası ilçelerinin sosyo - ekonomik gelişmişlik sıralaması.....	4
Tablo 2.2.	Evsel atıksuların özellikleri.....	8
Tablo 2.3.	Ham evsel atıksuyun tipik özellikleri.....	8
Tablo 2.4.	Nüfus yoğunluğu 150 kişi /km <sup>2</sup> olan temsili alandan göllere gelen fosfor akıntısı.....	12
Tablo 2.5.	Doğal arıtma sistemi tiplerine göre bulunması gereken özellikler.....	17
Tablo 2.6.	Su bitkileri ile oluşturulan atıksu arıtım sistemlerinde arıtım mekanizmaları.....	21
Tablo 2.7.	Yüzücü sucul bitki arıtım sistemlerinden beklenen çıkış kalitesi ve dizayn kriterleri.....	26
Tablo 4.1.	Aşağı Kelkit Havzasında baskın olan ve çalışılan su bitkilerinin listesi.....	39
Tablo 4.2.	Nasturtium officinale'nin sistematik kategorisi ve fotoğrafı.....	39
Tablo 4.3.	Potamogeton pectinatus'nin sistematik kategorisi ve fotoğrafı..	40
Tablo 4.4.	Lemna minor'un sistematik kategorisi ve fotoğrafı.....	40
Tablo 4.5.	Ceratophyllum demersum'un sistematik kategorisi ve fotoğrafı	40
Tablo 4.6.	Myriophyllum spicatum'un sistematik kategorisi ve fotoğrafı..	41
Tablo 4.7.	Cladophora glomerata'nin sistematik kategorisi ve fotoğrafı...	41
Tablo 4.8.	Typha angustifolia ve T. Domingensis' in sistematik kategorileri ve fotoğrafları.....	41
Tablo 4.9.	Çalışma yapılan sulak alanda giriş ve çıkışta ölçülen su parametreleri sonuçları.....	42
Tablo 4.10.	Denek bitki türlerinin su kalitesinde gösterdiği zamana bağlı değişim sonuçları.....	48

Tablo 5.1.	Çalışılan bitkilerin laboratuvar koşullarında ortafosfat tutum ortalama değerleri.....	55
Tablo 5.2.	Arıtım Amaçlı Kullanılan Su Bitkileri ve Kullanım Şekilleri ...	56
Tablo 5.3.	Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri ortalama değerleri.....	64
Tablo 5.4.	Arıtım amaçlı kullanılan sulak alanlar ve kullanım şekilleri ....	66
Tablo 5.5.	Çeşitli sulardaki tipik fosfor derişimleri.....	66

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ark	: Arkadaşları
Bkz	: Bakınız
BOI <sub>5</sub>	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
C°	: Santigrat Derece
C/N	:Karbon/Azot
EC	:Elektiriksel iletkenlik
g	:Gram
ha	:Hektar
kg	:Kilogram
KM	:Kuru Madde
KOI	:Kimyasal oksijen ihtiyacı
M	:Molarite
m	:Metre
mg	:Miligram
mm	:Milimetre
ml	:Mililitre
MAM	:Marmara Araştırma Merkezi
NTU	:Bulanıklık birimi
pH	:Hidrojen iyonları konsantrasyonu
P	:Fosfor
SKKY	:Su kirliliği kontrolü yönetmeliği
TS	:Türk Standartları
y	:yıl
%	:yüzde
µg	:Mikrogram
µm	:Mikrometre

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Doğal Sulak Alan, Arıtım Etkinliği, Fosfor Giderimi, Sucul Bitki Türleri

Bu çalışma; ekolojik yapısı diğer bölgelerle kıyaslandığında fazla bozulmamış Aşağı Kelkit Havzası ekosisteminde bulunan doğal sulak alanların ve bu ekosistemdeki hakim su bitkilerinin sulak alana gelen kirletici yüklerin giderimindeki etkinliklerini, özellikle sudaki fosfor giderimlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Doğal sulak alana gelen suyun içerisindeki kirletici parametrelerden turbidite, ortofosfat, elektriksel iletkenlik (EC), pH ve çözünmüş oksijen seviyesi incelenmiştir. Çıkış suyunda turbidite % 48, ortofosfat % 48 ve EC'de % 0,07'lik giderim sağlanmıştır. Sulak alana gelen ve çıkan suda çözünmüş oksijen miktarı 9 mg/l'nin üzerinde tespit edilmiştir. Bu değer göl suları için normal değerdir. Laboratuvar çalışmasında denenen bitki türlerinden en fazla fosfor giderimi %84 ile *Lemna minor*, % 75 ile *Ceratophyllum demersum* türlerinde tespit edilmiş diğer türler % 50 civarında fosfor gidermiştir. *Typha angustifolia* ise % 18 ile diğer türlerden daha düşük performans göstermiştir.

# REMOVAL OF PHOSPHORUS BY PLANTS IN NATURAL WETLANDS OF KELKIT DOWNBASIN

## SUMMARY

Key words: natural wetland, treatment efficiency, phosphate removal, plant species

In this study, treatment performance for contaminant removal particularly removal of phosphorus in relatively non destructed wetland in Aşağı Kelkit natural wetland basin were studied. The phosphorus removal efficiency of plant species were also studied in laboratory.

In the wetland study as water quality parameters turbidity, orthophosphate, electrical conductivity (EC), pH and dissolved oxygen were analyzed. Removal efficiency in turbidity were 48%, in orthophosphate were 48% and in EC were 0,07%. The influent and effluent dissolved oxygen levels were over 9 mg/l, which were normal for lake waters. In a Laboratory study, the most effective phosphorus remover species was *Lemna minor* with 84% efficiency, fallowed by *Ceratophyllum demersum* with 75%. Removal percentages of the other species were around 50%. *Typha angustifolia* was the least effective with 18%.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su gezegeni olarak bilinen dünyamızın % 71'i sularla kaplı olmasına rağmen, gerçekte kullanılabilir su kaynakları ve bu kaynakların uygun olmayan şekillerde kullanımı gözönüne alındığında, su zengini konumu tartışılır hale gelmektedir. Tarihten günümüze insanoğlu çoğunlukla kıyılara yerleşerek medeniyetlerini kurmuş ve sucul ekosistemlerin verdikleri imkanlardan yararlanarak hızla çoğalmıştır. Su; insanoğlunun faaliyetlerinde yerine göre sosyal, yerine göre ekonomik bir unsur, yaşamsal bir doğal kaynak olarak önemini gittikçe artırmaktadır. Ancak her ekonomik faaliyetin çevresel etkileri olduğu ve artan nüfus dikkate alındığında, son alıcı ortamlar olan sucul ekosistemlerin kaldırma kapasiteleri hızla azalmakta ve kullanılabilir su miktarında hızlı düşüşler gözlenmektedir.

Mitscherlich (1995), UNEP (1996) ve Sampat (2001)'in bildirdiklerine göre; denizler 1.340 milyon km<sup>3</sup> (% 96.5), karasal sular 48 milyon km<sup>3</sup> (% 3.5) dür. Suyun bulunduğu alanın toplam su miktarına oranı ise; buzullar 24 km<sup>3</sup> (% 1.74) , yeraltı suları 23 km<sup>3</sup> (% 1.66), göller, akarsular, atmosfer ise 1 km<sup>3</sup> (%0.10) 'dür. Bu sayısal değerlerden anlaşılacağı üzere, kullanılacak tatlı su miktarı, toplam suların ancak % 3.5'i kadardır. Bu miktarın da % 1.74'ü buzullarda katı halde bağlanmış bulunmaktadır. Geriye kalan sıvı haldeki suyun % 97'si, "Aküfer" adı verilen yeraltı boşluklarında depolanan sulardan oluşmaktadır [1]. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da % 90'ının kutuplarda ve yeraltında hapsedilmiş olarak bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlısu miktarının ne kadar az olduğu ortaya çıkmaktadır [2].

Ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama 112 milyar m<sup>3</sup> ve kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı ise 1 500 m<sup>3</sup> civarındadır. Bu durum kişi başına düşen yıllık su miktarı açısından ülkemizi su azlığı yaşayan bir ülke konumuna getirmektedir ki bu açıdan bakıldığında; Türkiye'nin su zengini bir

ülke olmadığı ortaya çıkmaktadır. Devlet İstatistik Enstitüsü 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1 000 m<sup>3</sup>/yıl civarında olacağı söylenebilir. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynakların çok iyi korunup, akılcı kullanılmasını gerekmektedir [2]. Sürdürülebilir ekonomik kalkınmanın anahtarı, nehirlerin ve diğer tatlı su ekosistemlerinin kullanılmasına sınırlama getirilmesidir [3].

Birçok ülkede sulak alanlara atıksu deşarjı doksan yıldır yapılmaktadır. Seidel, (1976)'den alınan bilgilere göre; atıksu arıtımında yapay sulak alanların kullanımı çalışmaları 1950'de Almanya'da başlamış ve Amerika'da 1970 ile 1980 yılları arasında artış göstermiştir. 1990'lı yıllarda ise evsel atıksuların yanında endüstriyel, maden atıksuları ve tarımsal alanlardan gelen atıksuların arıtımında da oldukça büyük artışlar görülmüştür [4]. Bugün 15 kadar ülkede 500.000 hektarlık tarım alanı kanalizasyondan elde edilen atıksularla sulanmaktadır. Dünya üzerinde atıksuları geri kazanma üzerine en yoğun çalışmalar İsrail'dedir ve toplam su ihtiyacının % 16'sını geri kazanılmış atıksulardan elde etmektedir [5].

Günümüzde doğal sulak alanların yanında yapay sulak alanlar da dünyanın birçok yerinde atıksu yönetimi ve su kirliliği kontrolünde önemli ölçüde kullanılmaktadır. Türkiye'de henüz bu kapsamda büyük ölçekli yapay sulak alan olmamakla birlikte, pilot ölçekli deneme çalışmaları bulunmaktadır. Bu sistemlerin Türkiye şartlarında tasarım kriterlerinin geliştirilmesi amacıyla TÜBİTAK MAM ve İTÜ işbirliğiyle 1995 yılında pilot ölçekli bir sistem kurulmuş ve çalışmalar halen devam etmektedir [4]. Ayrıca Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünce "Bin Köye Bin Arıtma Projesi" kapsamında ülke genelinde köylere yönelik sistemlerde kurulmuştur. Diğer çalışmalar ağırlıklı olarak akademik düzeyde kalmıştır [ 4, 6-13 ].

Bu çalışma; ekolojik yapısı diğer bölgelerle kıyaslandığında fazla bozulmamış olan Aşağı Kelkit Havzası ekosisteminde bulunan doğal sulak alanlar ile bu ekosistemlerdeki hakim su bitkilerinin sulak alana gelen kirlenici yüklerin giderimindeki etkinliklerini, özellikle sudaki fosfor giderimlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

## BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Aşağı Kelkit Havzasının Genel Özellikleri

Kelkit Irmağı 320 km'lik uzunluğu ve henüz büyük tahribatlar yaşamamış ekosistemi ile ülkemizin en önemli su kaynaklarından birisidir. Kelkit Irmağı esas itibari ile dört il (Gümüşhane, Giresun, Sivas, Tokat) ve kısmen etkilediği üç il (Erzincan, Amasya ve Samsun) olmak üzere yedi il, on sekiz ilçe ve çok sayıda yerleşim merkezi üzerinde sosyo-ekonomik ve ekolojik etkiler yapmaktadır. Kelkit Havzasında iki milyonu aşkın nüfus, Kelkit Irmağı kıyısında ve benzer özellikleri ile vadi boyunca sıralanan yerleşim alanlarında yoğunlaşmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kelkit havzası ilçelerinde nüfus dağılımı [15].

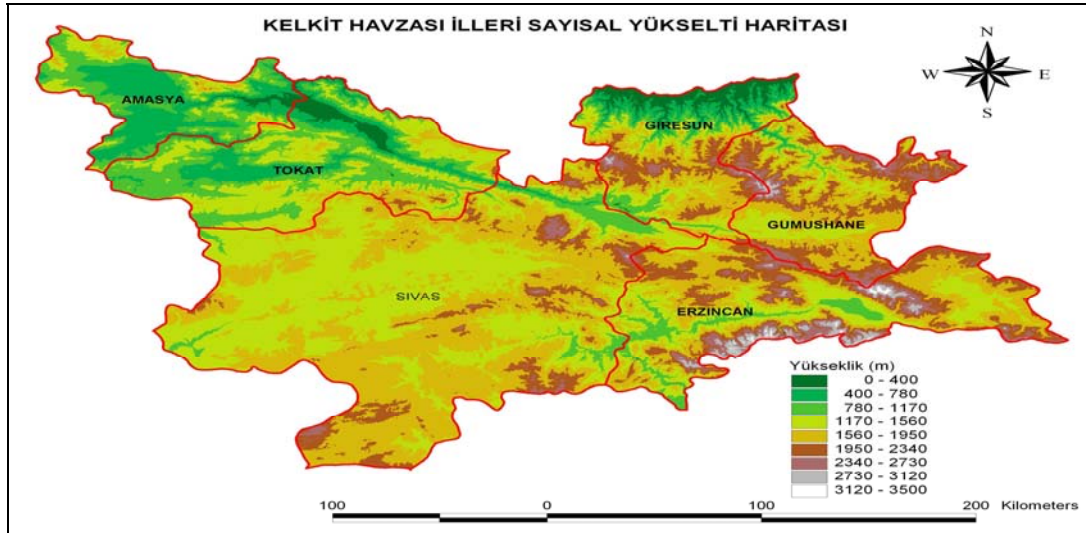
Kelkit havzasında ana geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Gelir seviyesi bakımından Türkiye'nin geri kalmış bölgeleri arasında yer almaktadır. Bu sebeple bölge yoğun bir dış göç vermiştir. Türkiye ilçelerinin gelişmişlik sıralamasında



Kelkit havzası ilçeleri son sıralarda yer almaktadır (Tablo 2.1). Kelkit Havzası, Yeşilirmak Nehri' nin kuzey kanadı ve en uzun kolu olup Orta ve Doğu Karadeniz ile İç Anadolu Bölgeleri arasında ağırlıklı olarak Gümüşhane, Tokat ve Sivas İl sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu havza, Giresun Dağlarının güney yamaçlarından başlar, Otlukbeli, Köse, Canik dağları arasında doğu-batı yönünde uzanır. Suşehri yakınlarında Sivas topraklarına giren vadi Reşadiye'de Güneydoğu-Kuzey batı yönünde daralır. Niksar'a kadar dar ve sarp bir görünümü olan vadi Niksar'da genişleyerek Niksar ovasını, buradan yine Güneydoğu-Kuzey batı yönünde tekrar daralan vadi, Erbaa ilçe sınırında tekrar genişleyerek Erbaa ovasını oluşturmaktadır. Bu ovalar 300-350 km<sup>2</sup> yer kaplamaktadır. Kelkit havzasında rakım Erbaa ilçesinde 200 m' ler de iken, ırmağın doğuş yeri olan Köse dağlarında yaklaşık 2500 m'leri bulmakta olup, vadi tabanında ise yükseklik batıdan doğuya gidildikçe kademeli olarak artmaktadır. Örneğin; Aşağı Kelkit Havzasında, Kale köyü ortalama yükseklik 210 m, Erbaa'da 250 m, Niksar'da 350 m, Reşadiye'de 450 m ve Koyulhisar'da ise 650 m'ye kadar çıkmaktadır (Şekil 2.2).

Tablo 2.1. Kelkit Havzası ilçelerinin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması [14].

İlçelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması – 2003				
872 İlçe İçinde Gelişmişlik Sırası	İl	İlçe	GERİLEME	Gelişmişlik Grubu
313	GİRESUN	Şebinkarahisar ↓		3
358	TOKAT	Niksar ↓		3
440	SİVAS	Suşehri ↓		3
469	SİVAS	Akıncılar ↓		3
470	TOKAT	Erbaa ↓		3
494	ERZİNCAN	Refahiye ↓		4
502	SİVAS	Gölova ↓		4
550	GİRESUN	Alucra ↓		4
553	GÜMÜŞHANE	Köse ↓		4
560	GÜMÜŞHANE	Şiran ↓		4
576	GÜMÜŞHANE	Kelkit ↓		4
584	TOKAT	Başçiftlik ↓		4
622	TOKAT	Reşadiye ↓		4
692	SİVAS	Koyulhisar ↓		5
726	TOKAT	Almus ↓		5
727	GİRESUN	Çam oluk ↓		5



Şekil 2.2. Kelkit havzasının sayısal yükselti haritası [15].

Kelkit ırmağı, Spikör dağı'nın (Erzincan) kuzey, Köse dağı'nın güney yamaçlarından inen derelerin birleşmesi ile meydana gelir. Irmak doğu-batı yönünde akarak, Erbaa-Kale köyü mevkiinde Tozanlı ırmağı ile birleşerek Yeşilirmak Nehri'ni oluşturur. Bunun dışında Kelkit Irmağı'na çok sayıda irili ufaklı dereler de karışmaktadır. Bunların önemlileri Delice, Karaun, Bölücek, Çanakçı ve Çatalan dereleridir [16].

Seymen (1975)'in bildirişine göre; Kelkit vadisi, Kuzey ve Orta Anadolu Tektonik üniteleri arasında sınır teşkil etmekle birlikte, Kuzey Anadolu Fayınında (KAF) bulunması itibariyle jeolojik bakımdan hareketli ve karmaşık bir yapı gösterir. Kelkit vadisi, Kretase sonlarına kadar Tetis Denizi ile Hersinyen ve Alpin dağ oluşumu hareketlerinin etkisi altında kalmıştır. Vadinin Kuzey Anadolu Tektonik ünitesi, Tersiyer ortalarında (üst eosen-Oligosen) kara haline geçmiştir. Daha sonra Anadolu ve Kuzey Anadolu Tektonik ünitelerinin Orta miyosendeki çarpışmaları ile Tetis Denizi'nin etkisi ortadan kalkmış ve bunun sonucunda Kelkit Vadisi meydana gelmiştir. Dolayısıyla Kelkit vadisi iki tektonik birliğin en son kesişme yeri olmuştur. Irlitz (1972) ise Kelkit Vadisi'nin pliyosen başlarında oluştuğunu belirtmiştir. Kelkit Vadisindeki önemli jeomorfolojik olaylardan birisi de Kuzey Anadolu Fayının vadinin içinden geçmesidir. Bu aktif fay, ilk olarak 1939 Erzincan-Kelkit-Reşadiye depreminden sonra, Erzincan-Erbaa-Ezine Pazarı (Amasya) arasında 340 km uzunluğunda bir yüzey kırığı meydana getirmiştir [16].

Göksu ve ark. (1974)'ün bildirişine göre Havzada Kretase ve Tersiyer'e ait fliş özelliğindeki kalker ve volkanik kayalar çoğunluktadır. Vadinin güney yamaçlarında kalker kayalıklar olduğu halde kuzey yamaçlarında heyelanlar ve toprak yapan fliş formasyonları görülmektedir. Ayrıca Kuvaterner'e ait traverten ve alüvyonlarda bulunmaktadır [16].

Kelkit Havzasında kahverengi orman, kireçsiz kahverengi orman, kestane rengi, alüvyal, kolüvyal ve gri kahverengi podzolik olmak üzere altı büyük toprak grubu yer almaktadır. Aşağı Kelkit Havzasında ağırlıklı toprak yapısı lolüvyal tipli olup, Erbaa (Karakaya-Doğanyurt)'ta vadinin güney yamaçlarında, Niksar-Koyulhisar arasında ise Kelkit Çayının her iki kenarında bulunan topraklardır. Bu topraklar vadi yamaçlarından yer çekimi, toprak kayması, yüzey akışı ve yan dereler ile kısa mesafelerden taşınarak eğimin azaldığı vadi tabanında biriktirilmiş ve kolüvyon denilen materyal üzerinde oluşmuştur. Toprak karakteri daha çok çevredeki büyük arazi topraklarına benzemektedir. Eğim ve bünyeleri nedeniyle drenajları iyidir [16].

Aşağı Kelkit Havzası; konumu nedeniyle İç Anadolu ile Orta Karadeniz Bölgeleri arasında geçiş durumunda bulunmaktadır. Bu nedenle bu bölgede yer yer her iki bölgenin iklim özelliklerini görmek mümkündür. Bununla birlikte araştırma alanının jeomorfolojisi, topoğrafik ve coğrafik yapısı bölgenin iklimi üzerine etkili olmaktadır. Vadinin alt seviyelerinden 850-900 m kadar Akdeniz iklimi görülürken üst seviyelerinde bu etki azalmakta ve oseyanik iklim karakteri kazanmaktadır. Bu nedenle araştırma alanının iklim yönünden de geçiş iklimi özelliği vardır. Ayrıca vadi içinde batıdan doğuya doğru gidildikçe Akdeniz ikliminin etkisinin azaldığı karasal iklim özelliklerinin görülmeye başlandığı dikkat çekmektedir. Bölgenin bitki örtüsü de bunu desteklemektedir. Yıllık ortalama sıcaklıklar Erbaa 14,1 °C, Niksar 14,2 °C, Reşadiye 12,7 °C, Koyulhisar 10,7 °C dir. Ortalama yüksek sıcaklıklar Ağustos ayında görülürken, ortalama düşük sıcaklıklarda Ocak ayında görülmektedir. En yüksek sıcaklıklar Erbaa (43,6 °C) ve Koyulhisar'da (38,0 °C) Ağustos ayında, Niksar (42,5 °C) ve Reşadiye'de (44,0 °C) Temmuz ayında, en düşük sıcaklıklar ise Erbaa'da (-17,4 °C) Ocak, Niksar (-14,9 °C), Reşadiye (-19,5 °C) ve Koyulhisar'da (-20,8 °C) Şubat ayında görülmektedir [16].

Aşağı Kelkit Havzasında yağış miktarı ölçümleri, Erbaa'da 585.5 mm, Niksar'da 508.9 mm, Reşadiye'de 458.6 mm ve Koyulhisar'da 405.9 mm'dir. İstasyonlar arasında yağışın aylara göre dağılışında farklılıklar görülmektedir. Buna göre en fazla yağış Erbaa (72.6 mm) ile Koyulhisar'da (62.8 mm) Mayıs, Niksar (58,1 mm) ve Reşadiye'de ise (70.2 mm) Nisan ayında, en az yağış ise Ağustos ayında görülmektedir [16].

## 2.2. Evsel Atıksuların Karakterizasyonu

Evsel atıksular askıda, kolloidal ve çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içerir. İklimsel şartları, insanın yaşam standartları ve kültürel alışkanlıkları atıksu özelliğini önemli ölçüde etkiler. Şehir kanalizasyon şebekesine endüstriyel atıksuların kabulü, mevcut evsel atıksu özelliklerini büyük oranda değiştirir. Konsantrasyonlar kişi başına günlük su kullanımı değerlerine bağlı olarak da değişir. Her ne kadar suya deşarj edilen atık miktarı toplumlarının özelliklerine göre farklılık gösterse de, bu fark çok yüksek değildir. Dolayısıyla atıksu özellikleri sadece şehirden şehre değil, ele alınan her bir yerleşim birimi için mevsimsel hatta saatlik değişkenlik gösterir [17]. Tablo 2.3' de ham, yani hiç arıtılmamış tipik evsel atıksu özellikleri verilmektedir. Tablodan da görüleceği gibi, atıklar çok büyük oranda karbon, azot, fosfor gibi organik besleyici maddelerden ve yüksek konsantrasyonda mikroorganizmalardan oluşmaktadır. Bunlar hemen bozunmaya yatkın olup, kanallardan akarken bile biyolojik bozunmaları devam eden karakterdedir. Böylece zaman içinde atıksuyun bazı özellikleri de değişmektedir. Atıksudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlı olarak atıksuyu, zayıf, orta ve kuvvetli olarak sınıflandırmak mümkündür (Tablo 2.3). Kirleticiler ve konsantrasyonları, günün saatine, haftanın gününe, yılın ayına ve diğer yerel şartlara bağlı olarak değişim göstermektedir. Kanalizasyon sisteminin etkili çalışması durumunda, BOİ değeri genellikle ortalama 54 g/kişi-gün civarındadır [17].

Tablo 2.2. Evsel atıksuların özellikleri [18].

Madde	Atıklarda bulunan değeri (g/kışı-gün)
BOI <sub>5</sub>	45-54
KOI	1.6-1.9 x BOI <sub>5</sub>
Toplam organik karbon	0.6-1.0 x BOI <sub>5</sub>
Toplam katı maddeler	170-220
Askıda katı maddeler	70-145
Madeni yağ	10-30
Toplam azot	6-12
Organik azot	0.4 x toplam
Serbest amonyak	0.6 x toplam
Nitrat azotu	0.0-0.5 x toplam
Toplam fosfor	0.6-4.5
Organik fosfor	0.3 x toplam P
İnorganik (ortho-polifosfatlar)	0.7 x toplam P

Tablo 2.3. Ham evsel atıksuyun tipik özellikleri [19].

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam katı(TS)	mg /l	350	720	1200
BOI <sub>5</sub> (20 °C)	mg /l	110	220	400
Toplam organik karbon (TOK)	mg /l	80	160	290
KOI	mg /l	250	500	1000
Azot ( Toplam N olarak)	mg /l	20	40	85
Fosfor (Toplam P olarak)	mg /l	4	8	15
Organik	mg /l	1	3	5
İnorganik	mg /l	3	5	10
Alkalinite (CaCO <sub>3</sub> )	mg /l	50	100	200
Yağ-Gres	mg /l	50	100	150
Toplam koliform	no/100ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>

### 2.2.1. Evsel atıksuların çevreye etkileri

Çevrede biriken nitrat ve fosfatlar topraktan sızarak veya taşınarak sularda besin görevi görüp alglerin hızla gelişmesini sağlarlar. Algler sularda oksijeni tüketerek balıkların ve diğer canlıların ölmesine neden olurlar [4].

Azot ve fosfor, alg biyokütlesine dönüşebilen kritik iki besleyici elementtir. Bu nedenle su ortamlarında besin maddesi birikimlerinin esas kaynağını bu iki element meydana getirir. Su kaynaklarında bunların elementlerin miktarının artması

ötrofikasyon denilen kirlenme olayına sebep olur. Ekosistemin her ortamının besi maddesi bakımından belli bir kapasitesi vardır. Su ortamında ise besi maddesi önemli bir faktör olup, miktar ve kapasitesine göre alglerin aktif hayatlarını etkiler. Azot ve fosforun yüzey sularında bulunma durumu su kalitesi açısından önemlidir [6].

Son yıllarda azot ve fosfor besi maddelerini içeren deşarjların aşırı artması ile göl, nehir, körfez gibi yüzey suları ile deniz ortamları ötrofikasyon problemi ile karşı karşıya kalmışlardır. Yine dünyada son yıllarda su havzalarındaki şehirleşme ve aşırı artan nüfus, gübre ve hormonların besin endüstrisinde ve tarımda aşırı kullanımı, azot ve fosfor içeren atıksuların tarımda sulama suyu olarak kullanımı ötrofikasyon artışına neden olmuştur [20].

### **2.2.2. Aşağı kelkit havzasındaki evsel atıksuların mevcut durumu**

Aşağı Kelkit Havzasındaki (Niksar, Erbaa, Reşadiye ve Taşova) yerleşimlerin atıksuları evsel nitelikli olup, atıksular hiçbir arıtma işlemine tabii tutulmadan direk olarak Kelkit ırmağına verilmektedir (Bkz.Ek). Ancak bölgedeki ilçelerin kanalizasyon alt yapıları tamamlanmış olup, deşarj yerleri ya tek ya da birkaç noktadan yapılmaktadır. Bölgede endüstriyel kirlilik bulunmamaktadır. Erbaa ve Niksar ilçelerinin organize sanayi bölgeleri yeni inşa edilmekte olup, sanayi bölgeleri küçük sanayi siteleri halindedir. Bu sanayi sitelerinin kirleticilik durumu yok sayılabilecek boyuttadır. Yerleşim birimlerinin nüfusları yirmi bin ile elli bin arasında olup ( Şekil 2.1), atıksularının giderimi basit sistemlerle gerçekleştirilebilir nitelikler taşımaktadır.

### **2.3. Sucul Sistemlerde Fosfor Döngüsü ve Önemi**

Sucul sistemlerde fosfor, bu sistemlerde mevcut olan çok yönlü ve karmaşık kimyasal ve biyokimyasal dengelerin anahtar elemanlarından biridir. Sularda fosfor çeşitli fosfat türleri şeklinde bulunur ve gerek doğal su ortamlarında, gerekse de su ve atıksu arıtımında gerçekleşen birçok reaksiyona girer. Canlı protoplazmanın kuru ağırlık olarak yaklaşık % 2'sini fosfor oluşturur. Bu nedenle fosfor, özellikle fotosentezle üretim yapan ototrof canlıların büyümelerini sınırlayıcı bir etkiye

sahiptir. Heterotrof mikroorganizmaların büyümesinde de fosfor önemli bir role sahiptir. Fosforun gezegenimizde yaşayan her türlü canlının enerji metabolizması açısından önemi büyüktür [21].

Fosfor sularında en yaygın, organik fosfor olarak, ortofosfat ( $PO_4^{3-}$ ) şeklinde bulunur. Göl sularında bulunan fosforun büyük bir kısmı (%90) organik fosfor olarak, canlıların hücre yapısında ve ölü organik maddeler içerisinde mevcuttur. Toplam inorganik ve organik fosforun sularında bulunuşunu aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz:

1. Canlı organizmalarda;

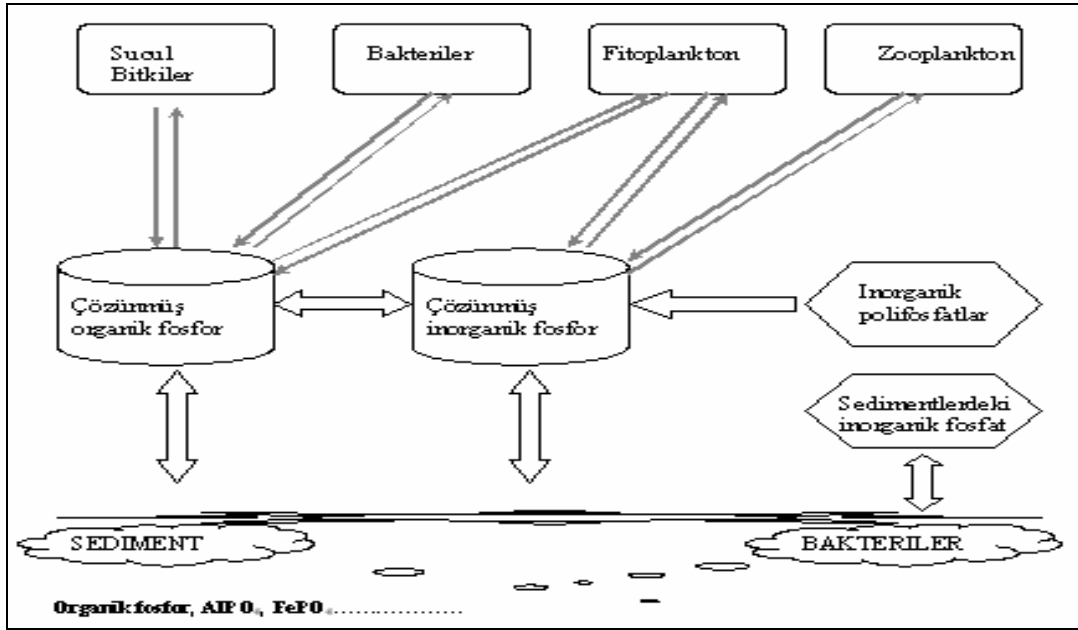
- Nükleik asit (DNA,RNA)
- Enzim ve vitamin esterlerinde
- Nükleotit fosfat (ADP, ATP) şeklinde

2. Fosfatlı kayalarda ve topraklarda hidroksil apatit olarak (en önemli inorganik fosfor kaynağı)

3. Absorbe edilmiş fosfor olarak, ölü inorganik maddelerde bulunur. Ayrıca;

- Ortofosfat
- Polifosfat (deterjanlı kaynaklar)
- Organik fosfor kolloidleri, suda çözülmüş inorganik fosfor formlarıdır.

Sulardaki fosfatın büyük bir çoğunluğu bakteri, alg ve diğer bitki hücreleri tarafından alınırken bir kısmı doğrudan çökelmekte veya fizikokimyasal olaylarla absorbe edilmektedir. Göllerin açık bölgelerindeki fosfor kaybı, bu bölgedeki biyotanın sedimentasyonu veya kimyasal çökelmeler yoluyla gerçekleşir. Bu ise göl tabanı üzerinde, fosfor ihtiva eden bir madde birikimine sebep olacaktır. Fosfor ihtiva eden bu materyaller detritivor dediğimiz böcek larvaları, solucanlar ve bazı kabuklu omurgasızlar gibi bentik organizmaların temel besinini teşkil etmesi açısından önemlidir [22].



Şekil 2.3. Su ortamında fosfor döngüsü [21].

Göllerde fosfor dolaşımında epilimnion, littoral bölge, hipolimnion ve bu bölgelerdeki organizmalar oldukça etkilidir. Ayrıca göle akan sular, göllere fosfor taşıma açısından önemli olurken gölden çıkan ayak suları fosforun bir kısmını ortamdaki uzaklaştırır. Göl yüzeyindeki (epilimnetik bölge) fosfor dolaşımında; planktonik algler, bakteriler, zooplanktonik organizmalar (ör; *Diaptamus*) ve littoral bölgedeki yüksek su bitkileri (makrofitler) etkilidir. Bu organizmalar, su yüzeyine değişik yollardan gelen fosfor bileşiklerini önemli limnolojik bileşikler halinde asimile ederler. Sulardaki bentik fosfor dolaşımında ise, limnetik su tabakası ile sediment arasındaki fosfor alış veriş henüz tam olarak aydınlanmış değildir. Yapılan analizler sedimentlerin göl suyundan daha fazla fosfor içerdiğini göstermiştir [22].

Sedimentler üzerindeki en önemli reaksiyonlar, fosforu katı halden interstisial sular içerisinde çözülebilir fosfat haline çeviren reaksiyonlardır. Sedimentler içinde açığa çıkan fosfat, sonradan sedimentler üzerindeki suya karışabilmektedir. Göllerden alınan sediment örnekleri, herhangi bir gölün nispi verimliliğini yansıtır ve göller 0.06-10 mg/l çözülebilir interstisial fosfat ihtiva eder. Bu miktarlar sedimentler üzerindeki su içerisinde bulunan fosfor miktarlarından çok daha yüksektir. Göl sedimenti içerisindeki kil miktarı sedimentlerin fosfor tutma kapasitesini tespit etmede belki de en önemli faktördür. Buna karşılık kil saf olmayan kimyasal bir



bileşiktir. En saf kil Çin kili (Kaolin) olup  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  formülüne sahiptir. Formülden de görüldüğü gibi kil başlıca alüminyum ve demirin kompleks silikatları ve bunların oksitlerinden ibarettir. Kil,  $PO_4$ 'ın  $Al^{+3}$  ile girdiği spesifik kimyasal interaksyon ile fosforu absorbe eder. Göl tabanına kimyasal yolla çökelmiş fosfat ise başlıca suyun pH seviyesiyle kontrol edilir. Sedimentlerde bulunan fosfor, göl suyu ile sürekli bir ilişki içinde olup, göl suyu verimi üzerinde oldukça etkilidir. Fosforun göldeki dolaşımı sedimentten suya, sudan tekrar sedimente dönmesi şeklindedir ve bir takım fiziksel, kimyasal ve metabolik etkenler altında oluşmaktadır. Başta sedimentin fosforu tutabilme süresi olmak üzere, göl suyunun durumu ve sediment içindeki canlılar (biyota) göl bentozundaki fosfor dolaşımını etkileyen başlıca faktörlerdir. Sediment üzerindeki canlılar ise fosforun sudan sedimentler üzerine dönüşünde etkilidir. Sedimentler içinde fosforun difüzyon ile doğal yayılmasının yanısıra, bakteriler, mantarlar, plankton ve çeşitli akuatik hayvanlar fosforun sedimentler üzerindeki dağılımını etkilemektedir. Ayrıca sedimentlerin üzerindeki faunanın yoğunluğu ve bentozu yem ararken karıştıran balıklar (çamuru ağızlarına alıp veren balıklar) ve akıntılar sudaki fosfor dolaşımını kolaylaştıran fiziko-kimyasal ve biyolojik faktörlerdir [22].

Tablo 2.4. Nüfus yoğunluğu 150 kişi /km<sup>2</sup> olan temsili alandan göllere gelen fosfor akıntısı [21].

	Fosfor (g P/yıl/m <sup>2</sup> drenaj alanı)	
	Alt sınır	Üst sınır
Evsel atıksu		
İnsan atıkları	0.08	0.08
Deterjanlar	0.04	0.04
Cadde ve yollardan gelen	0.01	0.01
Endüstri atıkları	0.01	0.01
Ara toplam	0.14	0.14
Tarımsal arazi ve ormanlardan		
Tarım arazileri	0.01	0.05
Meralar	0.01	0.05
Ormanlar	0.01	0.01
Toplam	0.17	0.25

İç suların kimyasal özellikleri genellikle kaynak havzasının jeolojik yapısına bağlıdır. Havza toprakları o bölgenin jeolojik ve klimatolojik karakterini yansıtır. Yüzeysel olarak akan sular fosforu göllere, göletlere taşır. Bu suların taşıdığı fosfor yoğunluğu

yöre topraklarının fosfor zenginliğine, jeolojik yapısına, bitki örtüsüne, uygulanan tarım türüne ve çevre kirliliğine, toprakların taşıdığı fosfor yoğunluğu ise toprakların oluştuğu kayaların özelliğine ve tipine bağlıdır [22]. Çeşitli ortamlardan gelen fosfor yükleri Tablo 2.4’de verildiği gibidir.

Toprağın yüzeyi ölen canlılar ve bunların mantar ve bakterilerin yardımıyla parçalanması sonucu fosfor bakımından zenginleşir. Topraktaki inorganik ve organik kolloidler de bu oluşumu destekler. pH’ı 6-7 olan topraklardan yıkama yolu ile fosforu topraktan ayırarak kolayca elde etmek mümkündür. Buna karşılık fosfor, düşük pH değerlerinde alüminyum, demir ve manganezle, pH 6 ve daha yukarı pH seviyelerinde ise kalsiyumla birleşerek apatit ve kalsiyum fosfatları oluşturur. Eğimli ve bitki örtüsü olmayan bölgelerde, organik maddelerce zengin (N ve P) topraklar erozyon yüzünden sular tarafından sürüklenip götürülür. Bütün topraklar, ulaştıkları göllerin fosfor konsantrasyonunu artırmaları açısından önemlidir. Son yıllarda, endüstri atıklarının ve deterjanların sulara taşıdığı fosfor miktarları ötrofikasyona neden olabilecek kadar fazladır [22].

#### **2.4. Sulakalanlar ve Atıksu Giderimindeki Kullanımı**

Sulakalanlar, tüm insan toplulukları ve karasal doğal hayatın korunmasında çok önemli rol oynamaktadır. Bu ekosistemler, suya dayanıklı bitki türleri ile suya doymuş toprakların bulunduğu su kaplı arazilerdir. Ramsar sözleşmesine göre sulakalan, doğal ya da yapay; sürekli ya da mevsimsel; tatlı, acı ya da tuzlu, durgun ya da akan su kütlelerini, bataklıkları, turbalıkları ve gelgitin çekilmiş anında derinliği altı metreyi aşmayan suları tanımlamaktadır [23].

Sulakalanlar, yeraltı suyunun depolanmasında, yeraltı suyu boşaltımında, taşkın kontrolü ve suyun yaydırılmasında, kıyı tahkimatı ve erozyonu azaltmada, tortu tutmada, besin tutma ve aktarmada, besin zinciri desteklemede, canlılar için yaşam ortamı sağlamada, aktif rekreasyon, pasif rekreasyon ve kalıtsal değerler için ortam oluşturmada çok önemli rol oynamaktadır. Biyoçeşitliliğin oldukça yüksek olduğu bu değerli alanların, kuruluşlar ya da kişiler tarafından yanlış kullanılması, kısa vadeli kazançlar sağlarken, bir bütün olarak insanlık ve yaşamının bağımlı olduğu küresel ekosistem, uzun vadede genellikle onarılamaz zararlara uğramaktadır. Sulak

alanların ekonomik değerinin, orman ve ayır – meralar da dahil olmak üzere, karasal ekosistemlerin değerinden daha fazla olduğu ve yok olan sulakalanların tekrar eldesinin çok yüksek bir maliyet getirdiği bilinmektedir [24].

Genel olarak bütün sulak alanlar kendilerinden çok uzakta kaynaklanan yerüstü ve yeraltı suları ile beslenmektedirler. Bu nedenle sulak alanları tehdit eden en önemli faktörde su kirliliğidir. Sulak alanlar, çoğunlukla, dolaylı, bilinçsizce ve kasıtsız olarak tahrip edilmektedirler. Su kirliliği sulak alan çevresinden veya st havzadan sisteme ulaşabilmektedir. Durum böyleyken sucul ekosistemlerin korunması, bu ortamların sistem dengesinin bozulmaması ve alıcı ortamların insan faaliyetlerinden kirlilik boyutunda etkilenmemesi için atıksuların taşıdığı kirletici yüklerinin giderilmesi konusunda sulak alanlar önemli bir işleve sahiptir.

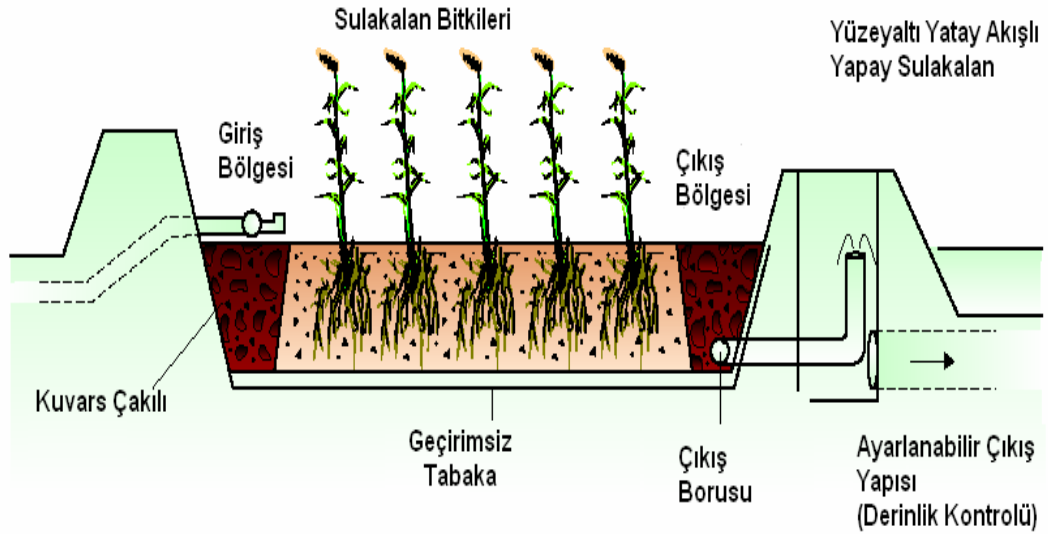
Atıksular, doğal ve çeşitli şekillerde düzenlenmiş yapay sulak alanlarda arıtılabilmektedirler. Doğal ya da yapay sulak alanlar, evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksuların arıtımı için kullanılan düşük masraflı arıtma alternatifleridir. Doğal sulak alanların kullanımı daha çok ikincil veya ileri arıtım çıkışı sonrası olmasına rağmen yapay ve doğal sulak alanların her ikisi de atıksu arıtımında kullanılabilir. Çeşitli bataklıklar sulak alan olarak kullanılmasına karşın genellikle sulak alan sistemleri yapay olarak oluşturulmaktadır [4].

#### **2.4.1. Doğal sulak alanlar**

Doğal sulak alanlar, arıtım için gerekli dizayn kriterlerinin olmadığı çevresel şartlara bağlı olarak oluşan sulak alanlardır. Doğal sulak alanlarda arıtım ana hedef değildir. Bu yüzden doğal sulak alanlara atıksu deşarjının, ileri veya ikincil arıtma sonrasında olma şartı istenilir. Ana hedef doğal sulak alanlara deşarj ile doğal yaşamın devam ettirilmesidir. Arıtma yeteneğinin geliştirilmesi ile sulak alanlardaki yaşamın değişimi doğal ekosistemde bozucu rol oynayabilir [19].

### 2.4.2. Yapay sulak alanlar

Yapay sulak alanlar, doğal sulak alanların arıtma kabiliyetlerinin tamamını gerçekleştirebilen, ayrıca, doğal sulak alanlara atıksu deşarjdaki sınırlayıcı engellerin olmadığı ve arıtım hedeflerine göre dizayn edilebilen sistemlerdir (Şekil 2.4). Yapay sulak alanlarda organik maddenin ayrışması bitki ile bakterinin ortak yaşamı ile gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlarda fotosentezle oksijen üretilirken bu oksijen hem bitkilerin solunumuyla tüketilir hem de aerobik ve anaerobik bakteriler tarafından organik maddelerin ayrıştırılmasında kullanılır. Aerobik ve anaerobik bakteriler sıvı kısımda askıda yaşayanlar ve sedimentlerde, döküntülerde, ara yüzeylerde ve suya batık bitki köklerinde biyofilm halinde yaşayanlar olmak üzere iki çeşittir [19]. Atıksu arıtımında serbest su yüzeyli sulak alanlar ve yüzey altı akışlı sistemler olmak üzere iki çeşit yapay sulak alan bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Yapay sulak alan sisteminin basit olarak görünüşü [12].

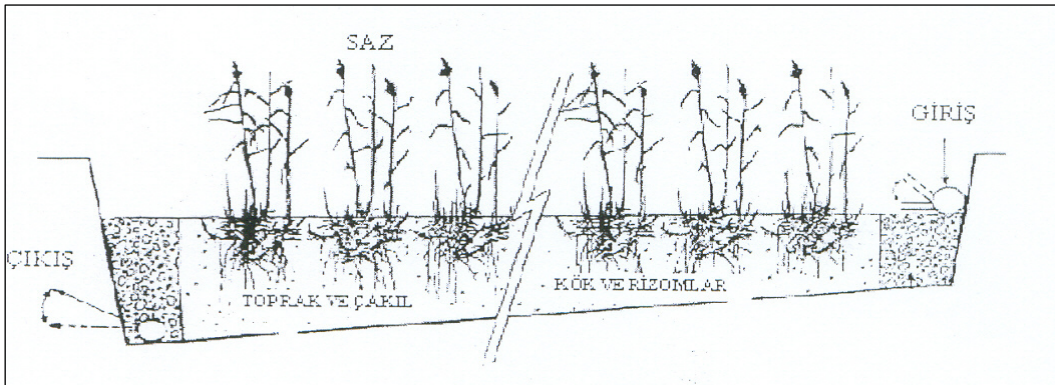
#### 2.4.2.1. Serbest yüzey akışlı sulak alanlar

Serbest yüzey akışlı sulak alanlar, su derinliği 0,1-0,6 m, tabanı az geçirimli bariyer veya zemin olan üzerinde bitkiler yaşayan havuz ya da kanal biçimindeki

sistemlerdir. Bitkilerin sap, gövde ve kökleri ile akım yavaş ve düzenlidir. Hidrolojik rejimi doğal sulak alanlara benzemektedir. Bu sulak alanlar içerisinde tüm bitki türleri yaşayabilmektedir. Genellikle ikincil veya ileri arıtım amaçlı dizayn edilir. Çoğunlukla fakültatif lagünlere benzer olsalar da sığ olanları aerobik lagünlere benzerdir. Bitkilerden dolayı net karbon üretimi fakültatif havuzlardan daha yüksektir [4].

#### 2.4.2.2. Yüzeysel akışlı sulak alanlar

Yüzeysel akışlı sulak alanlar, az geçirimsizliğe neden olacak şekilde çakıl ve taşların, bitkilerin içinde bulunduğu kanallardan oluşur. Yüzeysel akışlı sulak alanlar aynı zamanda “kök bölgesi” yada “çakıl-su kamışı filtreleri” olarak tanımlanırlar. Bu sistemler ikincil veya ileri arıtım amaçlı dizayn edilir [19]. Yüzeysel akışlı sistemler yüzeysel akışlı sistemlere nazaran daha düşük bir alan gerektirirler ve koku, sivrisinek problemine neden olmazlar. Yüzeysel akışlı sulakalanlara ait bir sistem şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Yüzeysel akışlı sulak alan [4].

Yatay yüzeysel akışlı sulak alanlar, en yaygın kullanılan sistemlerdir. Yüzeysel altından giren atıksu çıkış bölgesine ulaşana kadar gözenekli yatak malzemesi içinde yavaş akarken aerobik ve anaerobik bölgelere temas eder. Aerobik bölge olarak belirtilen yerler substrat ortamına oksijen transferi yapan köklerin yakın çevresidir [4].

Tablo 2.5. Doğal arıtma sistemi tiplerine göre bulunması gereken özellikler [4].

Özellikler	Sulama (Tip-1)	Sulama (Tip-2)	Zemine Sızdırma	Yüzey Akıtma	Sulakalan uygulama	Yüzücü sucul bitkiler
Uygulama teknikleri	yağmurlama /yüzeysel	yağmurlama /yüzeysel	genellikle yüzeysel	yağmurlama /yüzeysel	yağmurlama /yüzeysel	yüzeysel
Yıllık hidrolik yüklem hızı (m/y)	0.6-6	6-20	6-90	7,2-55	5.5-18	5.5-18
Gerekli alan (ha/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /gün)	5.6-20	17-55	0.4-5.6	0.6-4.5	1.8-6,2	1.8-6.2
Gerekli asgari ön tasfiye	ilk çökeltim	ilk çökeltim	ilk çökeltim	ızgara ve kum tutucu	ilk çökeltim	ilk çökeltim
Uygulanan Atıksuyun Uzaklaştırılması	buharlaşma terleme sızma	buharlaşma terleme sızma	özellikle sızma	yüzey akışı terleme buharlaşma, kısmen sızma	buharlaşma terleme sızma	kısmen terleme
Bitki örtüsü ihtiyacı	gerekli	gerekli	isteğe bağlı	gerekli	gerekli	gerekli

Düşey yüzey altı akışlı sulak alanlar, atıksuyun yüzeyden geniş bir alana uygulandığı ve tabana kadar düşey istikamette akmasının sağlandığı sistemlerdir. Bu sistemler damlatmalı filtreler çok benzerdir. Tabandaki drenaj sistemiyle atıksu toplanır. Hızlı drenaj ile atıksu hacmine eşit miktarda hava çekilerek yatak çok iyi oksijenlendirilmiş olur. Bu da BOİ ve amonyak giderimini artırır [4].

## 2.5. Aşağı Kelkit Havzasındaki Doğal Sulak Alanların Mevcut Durumu

Aşağı Kelkit havzası yaklaşık 250 km uzunluğundaki Kelkit ırmağının taşıdığı alüvyonlarca doldurulmuş ova nitelikleri taşıyan bir bölgedir. Kılıçkaya baraj gölü yapılmadan önce çok sık sel baskınlarına maruz kalan ova, irili ufaklı çok sayıda doğal sulak alanın oluşmasına fırsat vermiş ve biyolojik çeşitlilik oldukça üst seviyelere çıkmıştır. Ancak, DSİ'nin toprak kazanma ve tarım amaçlı kurutma faaliyetleri kapsamında sulama ve drenaj kanalları yapımı; Aşağı Kelkit Havzası ovalarındaki sulak alanları alansal ve sayısal olarak neredeyse yok etme noktasına getirmiştir. Mevcut durumları ile doğal arıtma sistemlerinde kullanılabilecek sulak alan sayısı az olmakla birlikte bölge yerleşimleri nüfuslarının az olmasından dolayı değerlendirme kapsamında kullanılabilecek yeteri kadar sulak alanın mevcut olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu sulak alanların ağırlıklı olarak drenaj kanalları ile bağlantılı ve 5-100 ha civarında değiştiği ve sucul fauna ve floranın oldukça yüksek olduğu bilinmektedir.

## 2.6. Su Kültürü ve Atıksu Giderimindeki Önemi

Su kültürü, balık ve diğer organizmaların büyütülmesi için besin kaynaklarının üretimi işlemidir. Biomas üretimi, sistemin ana hedefidir ve atıksu arıtımı için kısmen faydalıdır. Su kültürü sisteminde yapılan arıtmanın büyük bölümü, yüzücü sucul bitkilere bakterilerin bağlanması şeklinde oluşur. Arıtmaya balıkların da katkıda bulunduğuna dair çok az kanıt vardır [4].

Su kültürü sistemleri bilinen en eski arıtım sistemleridir. İklim şartlarına bağlı olarak sistem küçük bitkiler, mikro ve makro organizmalar (bakteriler, zooplanktonlar ve phytoplanktonlar, salyangoz, su sümbülü, sazan balığı gibi diğer bitki ve hayvan türleri) içermektedir. Genellikle iri katı maddeler çökeltim ve mekanik yollarla ayrılırlar. Su kültürü sistemleri konvansiyel ve yapay sulak alan sistemleri ile karşılaştırıldığında besi maddesi geri dönüşümü açısından daha etkili ancak bu sistemlere göre daha pahalı ve bekleme zamanı uzun sistemlerdir [19]. Bitkisel organizmalar kullanılarak atıksulardaki kirleticilerin; özelliklede besin elementleri ile ağır metallerin giderilmesi işlemi doğal arıtma olarak isimlendirilebilmektedir.

### 2.6.1. Sucul bitkilerle doğal arıtım sistemleri

Günümüzde, kullanılan fizikokimyasal arıtma tekniklerinin çoğu, aşırı derecede kirlenmiş suların yerinde veya başka bir yerde gerçekleştirilen arıtımlarında yararlanılan ana yöntem olmaktadır. Bu yöntemler düşük kirletici içeriğine sahip ve kirleticilerin yapay ve dağınık olarak bulunduğu geniş kirlenmiş alanların iyileştirilmesi için yeterince uygun olmayan tekniklerdir [25]. Günümüzde kullanılan bu arıtma tekniklerine göre bitki ile iyileştirme yöntemi ucuz ve kolay bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu iyileştirme yöntemleri aşağıdakiler gibidir [26].

1. Bitki ile giderim: Toprakta ve sudaki metal ve organik madde gibi kirleticilerin giderilmesi amacıyla bitkilerin kullanılmasıdır. Bitkiler kirleticileri alarak toprak üstündeki sürgünlerine depo ederler.

2. Bitki ile süzme: Sudaki veya sıvı atıklardaki metallerin ve diğer kirleticilerin bitki kökleri veya sürgünleri kullanılarak emilmesidir. Hava ile etkileşen sularda yetişen bitkilerde bitki kökleri veya sürgünleri sudaki zehirli metalleri emer ve deriştirir.

3. Bitki ile sabitleme: Bitkiler, topraktaki kirleticileri sabit hale getirerek, havaya geçmesine ya da kirleticilerin toprağın yıkanması sonucu derinlere ve oradan da yeraltı sularına karışmasına engel olur.

4. Bitki ile buharlaştırma: Kirleticilerin uçucu hale getirilmesi için bitkilerin kullanılmasıdır. Bitkiler uçucu kirleticileri (Selenyum, civa vb.) topraktan alarak yaprakları vasıtasıyla uçmalarını sağlarlar.

5. Bitki ile değişim: Bitki köklerinin ve bitkilerle birlikte toprakta yaşayan mikroorganizmaların, organik kirleticilerin azaltılmasında kullanılmasıdır.

Sucul bitkilerle arıtım sistemlerinin temel biyolojik bileşenleri; yüzücü bitkiler, batık bitkiler, köklü bitkiler, balıklar, diğer hayvanlar ve planktonik organizmalardır. Bu arıtım sistemleri serbest akışlı sulak alan sistemlerine benzerdir. Havuz derinliği sulak alanlardan daha fazladır (0,5-1,8 m). Sivrisinek kontrolü ve arıtma kabiliyetindeki artışı sağlamak için ilave olarak havalandırma yapılır. Yüzücü bitkiler, lagün ve stabilizasyon havuzlarının çıkış suyundaki alglerin gideriminde kullanılabilir. Sucul bitki sistemleri için yıllık hidrolik yükleme ve alan gereksinimi sulak alan sistemleri ile aynıdır [19].

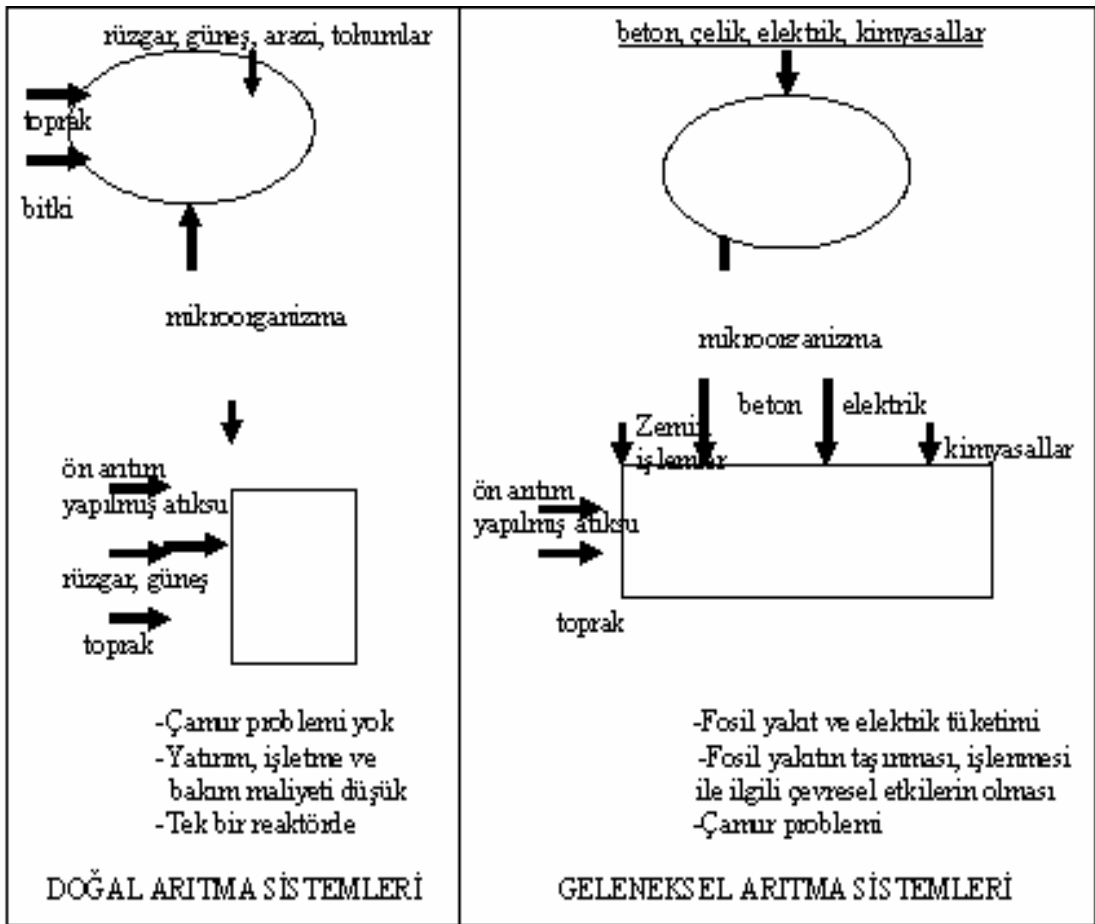
Sucul bitkilerle doğal arıtım sistemlerinde, mekanik arıtım sistemlerinde gerçekleşen proseslerin (sedimentasyon, filtrasyon, gaz transferi, adsorpsiyon, iyon değişimi, kimyasal çöktürme, kimyasal ve biyolojik redoks), hemen hemen hepsi kendiliğinden gerçekleşir. Bunun yanında sadece doğal sistemlere özel olan fotosentez, fitooksidasyon ve bitkisel kullanım gibi proseslerde atıksu arıtımında kullanılır [11].

Doğal arıtım sistemleri, diğer sistemlere göre basit inşaat, basit işletme, proses kararlılığı, düşük çamur üretimi, düşük maliyetler gibi karakteristik özelliklerden dolayı gelişmekte olan ülkeler için; çevre sorunlarının çözümünde önemli bir



alternatif durumundadır. Doğal arıtım sistemlerini, atıksu arıtımında çekici kılan üç temel işlev vardır [11].

1. Kirlenmelerin, yüzey toprağında ve/veya bitkisel ortamda tutulması
2. Mikroorganizmaların organik bileşiklerini kullanıp parçalaması
3. Sabit bir arıtım seviyesi sağlanmasındaki düşük enerji ve bakım maliyetleri.



Şekil 2.6. Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle konvansiyonel sistemlerin karşılaştırılması [4].

Sucul sistemlerde, atıksu temel olarak bakteriyel metabolizma ve fiziksel çökeltme yoluyla arıtılır. Atıksu arıtımında sucul bitkilerin katkıları azdır. Bu bitkilerin işlevi daha çok, atıksu arıtım kapasitesini geliştiren sucul çevre bileşenlerini desteklemektir. Genel olarak, doğal arıtım sistemlerinde sucul bitkilerin özel fonksiyonları şöyledir; kök ve dallar, bakterilerin gelişebileceği bir yüzey ve katıların adsorbe ve filtre edilebileceği bir ortam sağlarlar; su üzerinde bulunan dal ve yapraklar güneş ışığının sisteme girişini engelleyerek, alg oluşumunu önlerler. Rüzgarın su üzerindeki etkilerini azaltır, bitkilerin su altındaki kısımları ise gaz alışverişinde önemli rol oynarlar. Tablo 2.6’da doğal arıtım sistemlerinde gerçekleşen arıtım mekanizmaları özetlenmiştir [11].

Tablo 2.6. Su bitkileri ile oluşturulan atıksu arıtım sistemlerinde arıtım mekanizmaları [11].

Atıksu bileşeni	Arıtım mekanizması
AKM	- Sedimentasyon/filtrasyon
BOİ	- Mikrobiyal parçalanma (aerobik ve anaerobik) - Sedimentasyon (organik maddelerin/çamurun sediment yüzeyinde birikmesi)
Azot	- Mikrobiyal nitrifikasyon ve denitrifikasyonu takiben amonifikasyon - Bitkisel kullanım - Amonyakın açığa çıkması
Fosfor	- Toprak tarafından tutulma (topraktaki alüminyum, demir, kalsiyum ve kil mineralleri adsorpsiyon-çökeltme reaksiyonları) - Bitkisel kullanım
Patojenler	- Sedimentasyon/ filtrasyon - Doğal ölümler - UV radyasyonu - Su bitkilerinin köklerinden salgılanan antibiyotikler

Su bitkileri, doğal arıtım sistemlerinin ana bileşenlerinden biridir. Bitkiler besi maddelerini kendi gelişimleri için kullanırken, aynı zamanda fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal prosesleri destekleyerek besi maddesi dönüşümünü kolaylaştırır. Su akışına karşı mekanik direnç sağlarlar, bekletme süresini arttırırlar ve askıda katı maddelerin çökeltmesini kolaylaştırır. Kökleri sayesinde suyun akışını düzenlerler ve ölümlerinden sonra bile geride boşluklu ortam bırakırlar. Mikrobiyal gelişim için

geniş yüzey alan sağlamalarının yanında, suya besin verirler. Pek çok su bitkisi topraktaki anaerobik tabakaya oksijen kazandırarak kök bölgesinde ağır metallerin yükseltgenme ve çökelmelerini sağlarlar. Su altı bitkileri suya direk oksijen kazandırır, köklü ve yüzen bitkiler su yüzeyini örterek alg oluşumunu engellerler. Yüzen bitkiler sudaki oksijeni kullanarak indirgenme reaksiyonlarını kolaylaştırır [11].

Doğal sistemlerde besi maddesi çevrimi, hidrolojik rejim, giriş suyundaki besi maddesi konsantrasyonunu, sistemde zaten var olan besi maddesi miktarı, bitki çeşidi, sediment (organik, inorganik) ve diğer biyolojik bileşenler gibi birçok değişken faktöre bağlıdır. Yüksek debi ve düşük bekletme süreleri, sedimentlerin sürüklenmesine, besi maddelerin ve organik maddelerin suda serbest kalmasına neden olabilir. Genel olarak besi maddesine doymuş bir sistemin, fazladan besi maddesi işleme potansiyeli azdır [11].

Sucul bitkilerle arıtma sistemlerinin kontrolünde dikkat edilmesi gereken önemli etkenler; bitkilerin hasat edilme sıklığı, sivrisinek problemi ve alg oluşumudur. Bitki hasat edilme gerekliliği su kalite özelliklerine, bitkilerin büyüme hızına ve buğday biti gibi zararlıların üreme hızına bağlıdır. Besi maddelerin yüksek oranda giderilebilmesi için sucul bitkilerin sürekli hasat edilmeleri gereklidir. Örneğin; Su sümbülleri her üç veya dört haftada bir hasat edilir. Sadece sık hasat edilme ile önemli derecede fosfor giderimi sağlanır. Buğday biti (Weevil) su sümbülü popülasyonunun sağlığı için önemli bir sorun oluşturur. Su sümbülü kolayca kompost edilebilir. Su mercimeğinin ise sıcak zamanlarda haftada bir kez hasat edilmesi istenilebilir. Ayrıca su mercimekleri hayvan yemi olarak da kullanılabilir [19].

Sucul arıtma sistemlerinde sivrisineklerin üremesi, böyle sistemlerin kullanılmasına izin verilip verilmeyeceği konusunda kritik bir faktördür. Sivrisinek popülasyonunun kontrolü şu stratejileri içerir [4].

1. Sivrisinek balıkları (*Gambusia* spp.) yetiştirilen göller
2. Toplam organik yükü azaltıcı daha etkili bir ön arıtma, aerobik şartlara yardım amacıyla yapılabilir
3. Geri besleme yapılabilir
4. Bitkiler daha sık aralıklarla hasat edilebilirler
5. Akşam saatlerinde bitkiler üzerine su spreylemesi yapılabilir
6. Kimyasal ve biyolojik kontrol ajanları uygulanabilir
7. Havalandırma ekipmanları ile oksijen difüzyonu yapılabilir.

Zaman zaman sucul bitki arıtım sistemlerinde alg çoğalması gözlenir. Algler; suyun kokusunu ve tadını bozarlar, köpük oluştururlar, pH'ın değişimine neden olurlar, su arıtma tesisinin masrafını arttırmaları, rekreasyonu ve turizmi olumsuz etkilerler, toksik madde üretirler ve su kalitesini düşürürler. Algleri baskın hale getiren yavaş su hareketi, yüksek besin maddesi içeriği, yüksek pH, sıcaklık, bulanıklılık, tuzluluk ve güneş gibi faktörlerdir. Bu faktörler kısıtlanarak algler kontrol altına alınabilirler. Bunun için genelde yüzücü bitki türleri kullanılır. Özellikle su mercimeği ve su sümbülü güneş ışığını bloke ederler ve yüzeyi tamamen kapladıklarından hava/su ara yüzeyinden atmosferik hava girişini engellerler. Ayrıca bunlar yüksek besin maddesi içerikli suların besin maddesi içeriğini azaltırlar. Bunun dışında çeşitli kimyasallar (bakırsülfat gibi) kullanılarak da algler belirgin ölçüde giderilebilirler. Fakat kimyasal maddeler suda toksik etki oluşturabileceğinden doğal yollarla alg giderimi daha fazla tercih edilir [4].

### 2.6.2. Doğal arıtma sistemlerinde kullanılan su bitkileri ve özellikleri

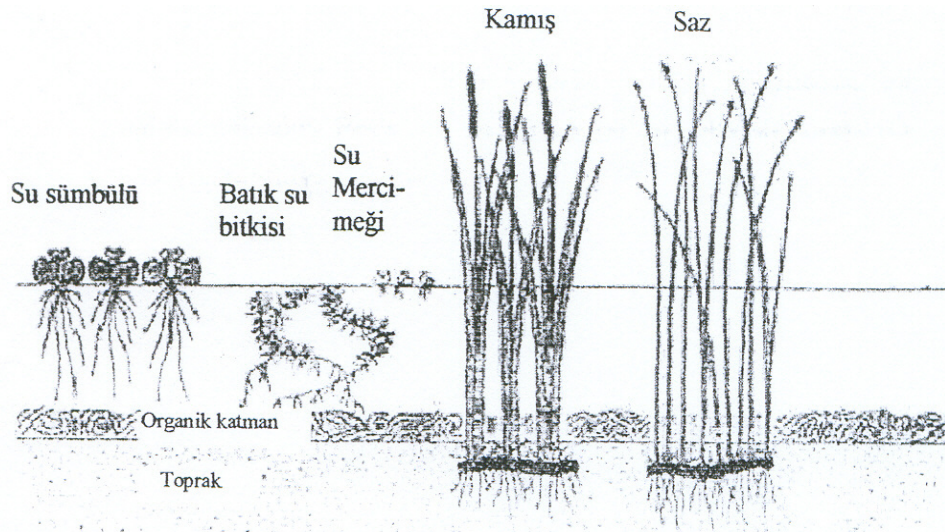
Son zamanlarda yapılan araştırmalarda sucul bitkilerin atıksudaki patojen mikroorganizmaları ve kirleticileri yok ettiği gözlenmiş, bu özelliğe sahip birçok bitki incelenmiştir [4]. Bunların arasında özellikle etkili olanlar *Phragmites* ve *Typha latifolia* olarak bilinen su sazı ve su kamışı türleridir. Bu bitkiler, geniş bir biomasa sahiptirler. Yaprak, gövde ve kök sistemleri vardır. Kök organları toprak bağlayabilen, topraktaki besin ve iyonları bünyesine alabilen geniş bir yüzey alanına sahiptir. Ayrıca kök organları dikey ve yatay yönde gelişir. Bitkideki damarlar, havayı yapraklardan kök ve kökler vasıtasıyla toprağa iletir. Aerobik mikroorganizmalar kök etrafında ince bir tabaka oluştururken, anaerobik mikroorganizmalar toprak altında ürerler [4].

Su bitkisi içeren bir sistemin besin maddesi giderim etkinliği, kullanılan su bitkisinin tipine, bitkinin büyüme hızına, suyun besin maddesi içeriğine ve sudaki fizikokimyasal arıtıma bağlıdır [4].

Bitki ile iyileştirmede kullanılacak bitkilerin özellikleri aşağıdaki gibidir [26].

1. Yüksek metal ve kirlilik düzeylerinde yaşayabilmeli
2. Hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal ve kirletici toplayabilmeli
3. Hızlı büyüebilme yeteneği olmalı
4. Arazide çok miktarda biyokütle üretebilme potansiyeline sahip olmalı
5. Güçlü ve zengin bir kök sistemi olmalıdır.

Sucul bitkilerle arıtım sistemleri, yüzücü bitkiler ve batık bitkiler kullanılan sistemler olarak iki bölüme ayrılır. Sucul bitkiler ile ilgili genel görünüm Şekil 2.7'de verilmiştir [4].



Şekil 2.7. Sucul bitkiler [4].

#### 2.6.2.1. Yüzücü sucul bitkiler

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması için son yıllarda geliştirilen pek çok yöntemin yanında, özellikle iklimi sıcak ve güneşlenme süresinin uzun olduğu yörelerde, yüzen su bitkilerinin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Atıksu arıtımında en yaygın kullanılan bitki türleri su sümbülü, su mercimeği, su eğreltisi, su marulu ve su nilüferidir. Bu bitkilerden en iyi verimi almak için ortam şartlarının devamlı korunması gerekmektedir [4]. Bu bitkilerin atıksulardan besi maddesi giderim etkinliği bitki türüne, çalışma koşullarına, besleme suyuna ve istenen çıkış suyu kalitesine bağlıdır [10].

Yüzücü bitkilerin fotosentez yapılan kısımları hemen suyun üst kısmı ve suyun hemen altındaki köklerin üst kısmında olur. Kökler, filtrasyon ve bakteri filmi için çok uygundur. Köklerin gelişimi su içindeki besin maddeleri ve derinlik ile ilgilidir. Bu da arıtma verimini etkiler. Yüzücü bitkiler, su yüzeyini tamamen kaplayarak ışık geçirgenliğini düşürür ve böylece alg üremesi de önlenmiş olur. Sulak arıtım sistemlerinin oluşturulmasında az eğimli ve düzenli topografyaya sahip alanlar kullanılmalıdır. Sucul sistemin hedefi, göllerdeki ve kanallardaki atıksuyu arıtmak olduğu için, 0.5 mm/h' den düşük geçirgenlikteki yerin ara yüz katmanları ve yüzey toprağı, yüzücü sucul bitkilerle arıtım sistemi için en uygun durumdur. Su sümbülleri 10 °C su sıcaklığına kadar toleranslıdır. Su mercimekleri ise; soğuğa karşı daha da

hassastır ve 7 °C ye kadar olan sıcaklıkta yetişebilir. Yüzücü sucul bitki arıtım sistemlerinden beklenen çıkış kalitesi ve dizayn kriterleri Tablo 2.7’de verilmiştir

Tablo 2.7. Yüzücü sucul bitki arıtım sistemlerinden beklenen çıkış kalitesi ve dizayn kriterleri [4].

Sistem	Yüzücü Bitkiler Arıtım Sistem Tipi			
	İkincil Aerobik (havalandırmaz)	İkincil Aerobik (havalandırmalı)	Besi maddesi giderimi Aerobik (havalandırmaz)	Su mercimeği arıtım sistemleri
Tipik dizayn kriterleri				
Giriş atıksuyu	Elenmiş veya çökertilmiş	Elenmiş veya çökertilmiş	İkincil	Fakültatif göl çıkışı
Su derinliği (cm)	45-90	90-120	60-90	120-180
Bekleme zamanı (gün)	10-36	4-8	6-18	20-25
BOİ <sub>5</sub> yükü kg*gün/ha	45-90	170-340	11-44	22-33
Hidrolik yükleme hızı (Mgal/ac.d)	0.02-0.06	0.10-0.30	0.04-0.16	0.06-0.09
Su sıcaklığı (°C)	>10	>10	>10	7
Hasat programı	Yılda 1 kez	Ayda 2 kez	Ayda 2 kez	İkincil arıtım için aylık, besi maddesi arıtımı için haftalık
Beklenen çıkış kalitesi				
BOİ <sub>5</sub> (mg/lt)	<20	<15	<10	<30(<10)
AKM (mg/lt)	<20	<15	<10	<30(<10)
TN (mg/lt)	<15	<15	<5	<15(<5)
TP (mg/lt)	<6	<1-2	<2-4	<6(<1-2)

Bu bitkiler su yüzeyinden daha kolay hasat edilebilirler. Bir atıksu havuzundaki tipik yoğunluğu 1.2-3.6 kg/m<sup>2</sup> (ıslak ağırlık) olarak değişmektedir. Su yüzeyindeki yoğunluğu sıcaklıkla, besi maddesi içeriğine ve hasat sıklığına bağlıdır. Su sümbülleri ile karşılaştırıldığında hasat edilen biyokütlenin besi maddesi (azot ve fosfor) içeriği daha yüksektir. Su mercimeği hücreleri, yüksek yağ ve protein içeriği nedeniyle yarı kurutulmuş halde, hayvanlar için cazip bir besin kaynağıdır. Yapılan araştırmalar atıksularda yetiştirilen su mercimeklerinin protein, azot ve fosfor içeriği doğal sulardaki su mercimeklerinden daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Bunun sebebi, atıksudaki besi maddesi içeriğinin daha fazla olması ve yapılan hasat edilme işlemi sonucu bitki ortamının sürekli genç kalmasıdır [4].

Su mercimekleri ile arıtma sistemlerinde görülen en önemli problemlerden birisi rüzgar etkisiyle su mercimeklerinin belli bir bölgeye yığılmasıdır. Belli bir bölgeye biriken bitkiler zamanla ölürlür. Bu bitkilerin çürümesi ile koku oluşur. Büyük sistemlerde bunun için yüzücü bariyerler kullanılmaktadır [4].

#### 2.6.2.2. Batık bitkiler

Bu bitkiler için uygun su sıcaklığı 10-25 °C' dir. Suda asılı olarak veya sedimentte köklü olarak bulunabilirler. Bu tür bitkilerin ekolojileri ve morfolojileri çok fazla değişiklik göstermemektedir. Rosette tipi, düşük üretkenliğe sahip olup yalnızca oligotrofik sularda (örneğin; *Isoetes lacustris* ve *Lobelia dortmanna*) büyüebilmekte, "Eloedid" tipi ise daha yüksek üretkenliğe sahip olup ötrofik sularda (örneğin; *Eloдея canadensis*) yaşamaktadır. Bu tür bitkiler kirletilmiş sulardaki besi maddesileri asimile edebilmektedirler ve yalnızca oksijen kazandırılmış sularda çok iyi üreyebilmektedirler [4].

Organik maddelerin biyolojik ayrışımı, anoksik şartlar oluşturduğu için, yüksek oranda kolay ayrışabilen organik maddeleri içeren atıksularda bu bitkilerle birincil arıtım yapılmamaktadır. Bu nedenle bu tür sistemlere ikincil arıtılmış su verilerek ileri arıtma yapılmaktadır. Bu tür bitkiler sudaki çözünmüş inorganik karbonu tüketir ve yüksek oranda fotosentez faaliyeti ile çözünmüş oksijen konsantrasyonunu arttırmırlar. Böylece pH artarken amonyağın uçurularak giderilmesi ve fosforun da kimyasal olarak çöktürülmesi sağlanabilir. Ayrıca yüksek oksijen içeriği, sudaki organik maddelerin ayrışması için en uygun şartları sağlar. Bitkilerle asimile edilen besi maddesiler, özellikle bitkilerin kök dokuları ve köklere temas halindeki mikroflora tarafından tutulmaktadır [4].

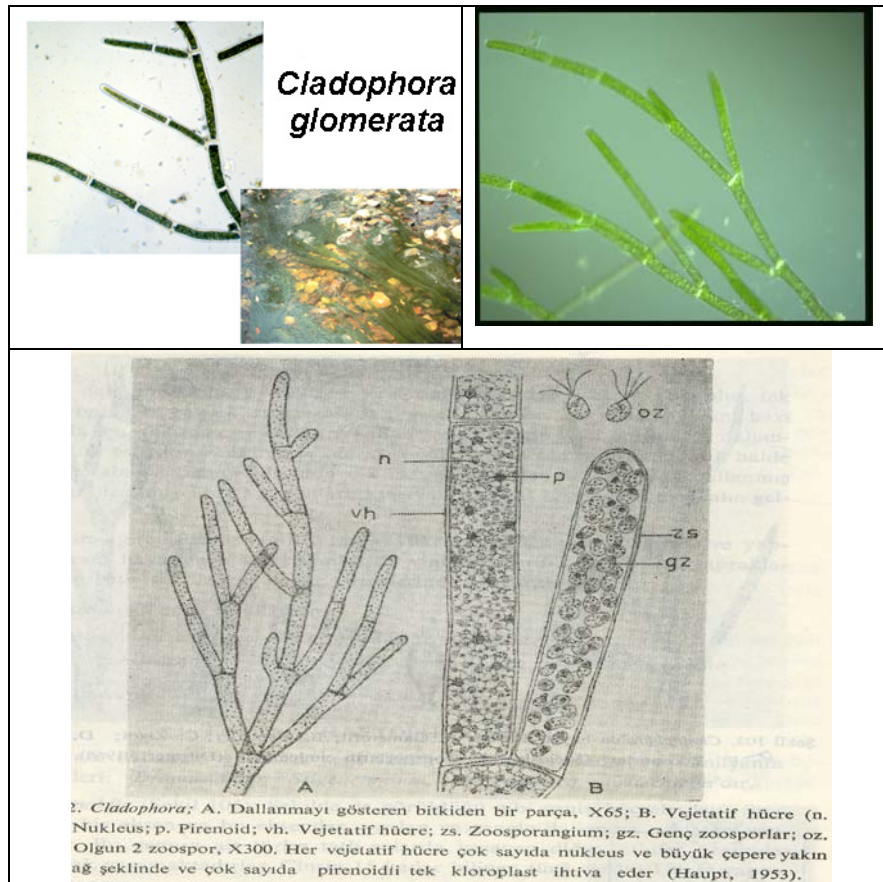


### 2.6.3. Aşağı kelkit havzasında baskın su bitkileri ve özellikleri

Çalışma programı çerçevesinde bölgedeki sulak alanlarda baskın olarak dokuz su bitkisi türü örneklenmiştir. Bunlar;

#### 2.6.3.1. *Cladophora glomerata*

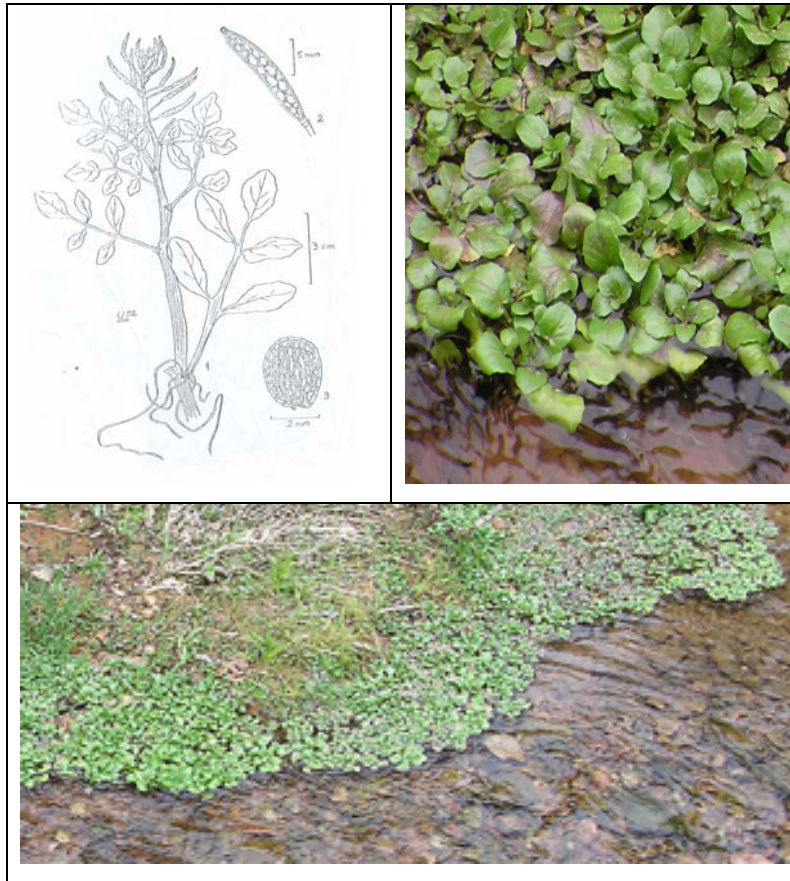
Türün bağlı olduğu sınıfın türleri, hem deniz, hem de tatlı sularda yaşayan 150 den fazla türü vardır. İpliksi biçimde dallanmıştır. Taşlar üzerinde rizoidal bir hücre ile tutunur. Uzun silindirik şeklindeki hücreler çok nükleuslu ve çok pirenoidlidirler. Kloroplast ağsıdır [27]. *Cladophora'da* izogami ve izomorfik döl almaşı görülür. Dişi ve erkek dioik gametofitler dallarının uç kısımlarında 2 kamçılı izogametler meydana getirirler. Ayrı eşeyli gametofitlerde gelişen gametler su içinde birleştirek zigotu teşkil ederler (Şekil 2.8). *Cladophora'da* izomorfik döl almaşı görülür [29].



Şekil 2.8. *Cladophora*'nın A, B-Mikroskopik ve makroskopik görünüşü [30], C- *Cladophora'da* üreme [29].

### 2.6.3.2. *Nasturdium officinale* (Su teresi)

Tüysüz veya basit tüylü, çok yıllık otsu. Yapraklar pinnat. Petaller beyaz. 10-100 cm boyunda, rizomlu çok yıllık. Yapraklar aurikulat, yan loplar 3- 7 adet ve oblong-eliptik, terminal lop yarı dairemsi. Meyva 10-20 mm. Tohumlar iki sırada dizili, retikulattır. Temiz kaynak suları, göller, akarsular ve kanallarda yayılış gösterir, 0-1100 m yüksekliklerde bulunur. Populasyonun yoğun olduğu yerlerde kanallardaki su akışını yavaşlatmakta ve sorun yaratmaktadır. Yaprakları salata olarak tüketildiğinden güney bölgelerimizde kültür edilmektedir. Gelişmesini sığ kıyılardan derinlere doğru sürdürür (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. *Nasturdium officinale* A-Çizim [31], B-Genel fotoğraf , C- Habitatında toplu fotoğraf [32].

### 2.6.3.3. *Potamogeton pectinatus* (Taraksı susümbülü)

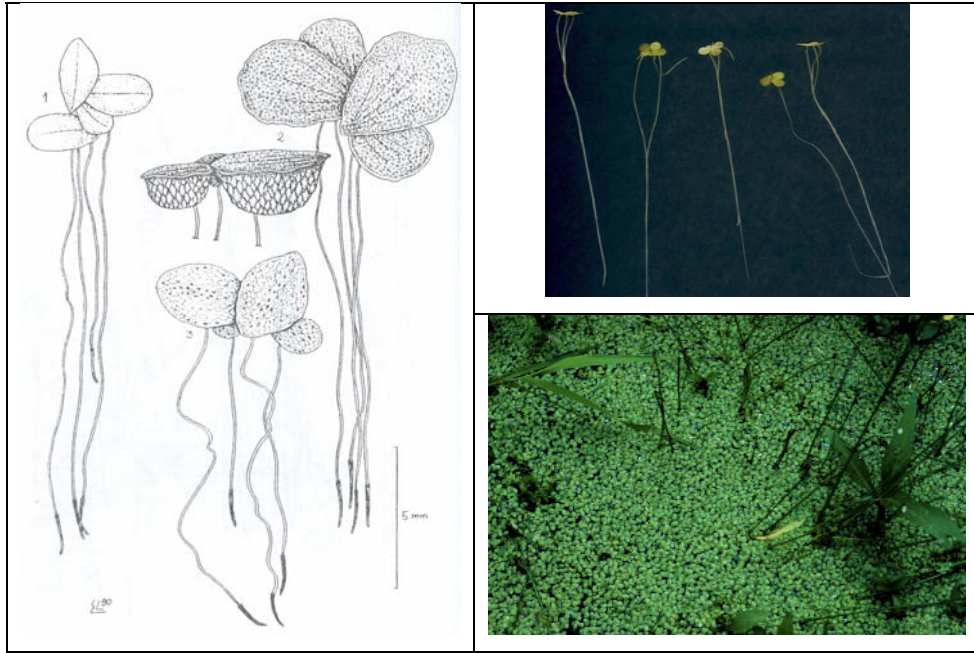
Tatlı sularda, acı su lagünlerinde ve su birikintilerinde, 0-1600 m arasında dağılım gösterirler. Yaban hayatı için oldukça büyük önem arzederler. Rizomlu veya kış tomurcukları bulunan, yaprakları suya batık veya su üstünde yüzü cü olan çok yıllık otsular. Gövdeleri uzun ve esnek. Rizomlu gövdesi en az 1 m kadar. Yaprakların hepsi suya batık, 10-0.3 x 1.5(2.5) mm, filiformdan dar lineara kadar, kenarları tam. Stipül 1-4 cm, açık ve' dürülü, genellikle kenarları beyazımsı. Pedunkul 17 cm'ye kadar. Spikalar 2.5-6 cm. Meyveler obovoid (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. *Potamogeton pectinatus* A- Çizim [31], B- Genel fotoğraf [33], C- Habitatında toplu fotoğraf [33].

#### 2.6.3.4. *Lemna minor* (Küçük sumercimeği)

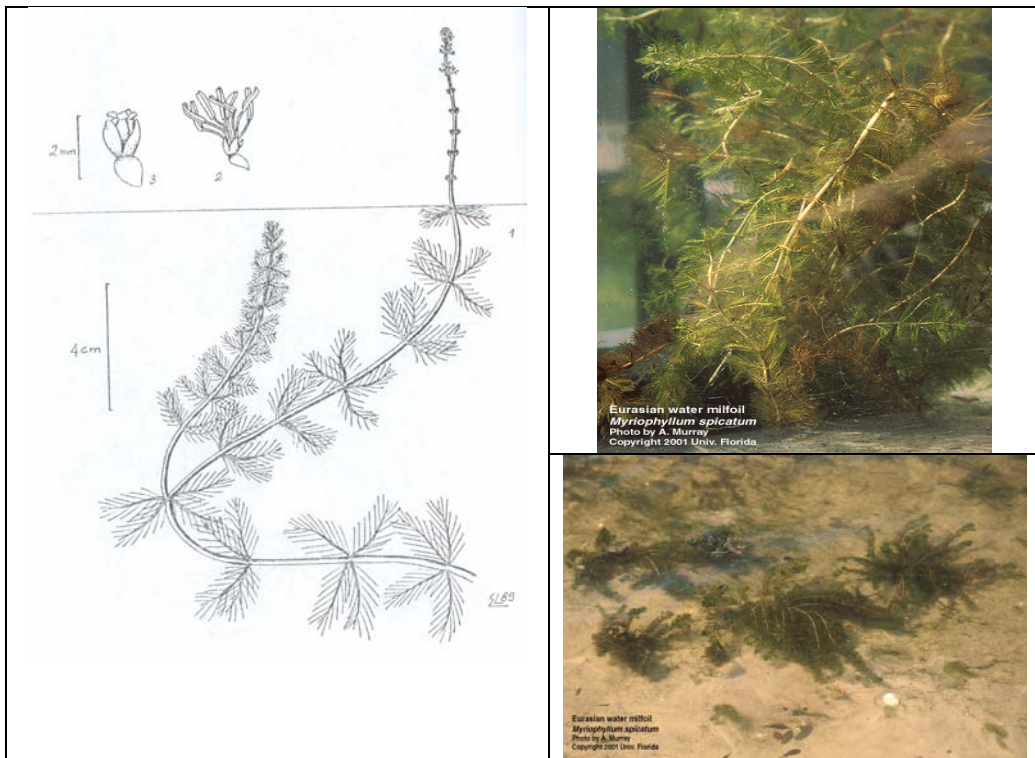
Yapraksız gövdeler su yüzeyinde yüzücü, 1.5-4 mm, ovattan elipse kadar, hemen hemen simetrik, tek veya kısa şeffaf sapçıklarla birbirine bağlı olarak 1 den fazla. Alt yüzü şişkin değil, mat kırmızımsı mavi; üst yüzü yeşil, nadiren mat kırmızımsı mavidir. 0-1650 metreler arasında yayılım gösterirler (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. *Lemna minor* A- Çizim [31], B- Genel fotoğraf [34], C- Habitatında toplu fotoğraf [34].

### 2.6.3.5. *Myriophyllum spicatum* (Başaklı sucivanperçemi)

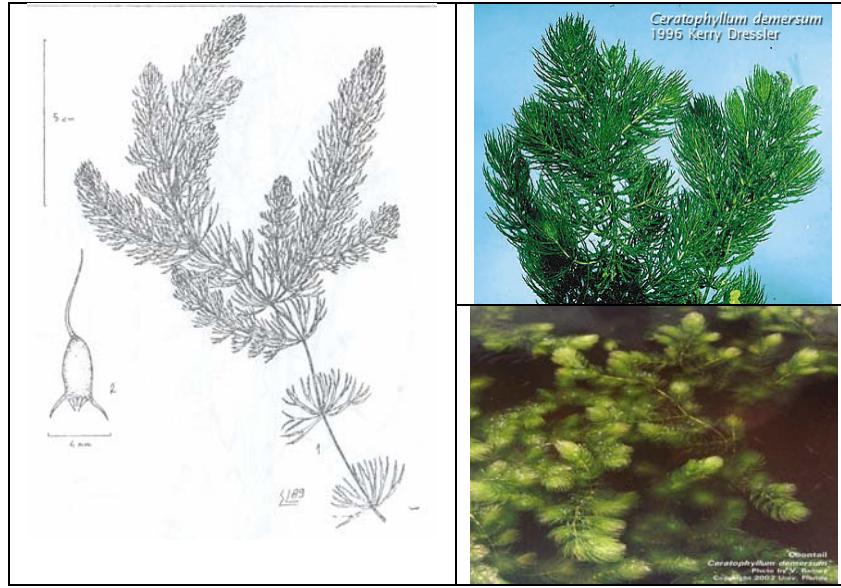
Gövde 40-300 cm. yapraklar 1.5-2.7 cm çoğunlukla internodyumlardan daha kısa, bir halkada 4 adet, 21-35(44) parçalı basit pinnat. Brakteler basit ve çiçeklerden kısa, 5 adet. Erkek çiçekteki petaller 2-2.5 mm, kırmızımsı. Meyva findıksı, 4 karpelli, subglobos. Göller, sulama kanalları yavaş akan derelerde, 0-2000 metreler arasında yayılım gösterirler (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. *Myriophyllum spicatum* A- Çizim [31], B- Genel fotoğraf [35], C- Habitatında toplu fotoğraf [35].

### 2.6.3.6. *Ceratophyllum demersum*

Gövde 15 cm den uzun. Yapraklar koyu yeşil, 6-16 mm uzunlukta, 1-2 kez çatallı, sert yapıda, segmenler linear, dentikulat. Meyva 4-5 x 2-2.5 mm, uçtaki diken 4-6 mm, tabana yakın olan yanal dikenler hafifçe geriye doğru kıvrık ve 2-3 mm uzunluktadır. Su birikintileri, göl kenarları, su kanalları ve acı su lagünlerinde, 0-1600 metreler arasında dağılım gösterirler (Şekil 2.13).



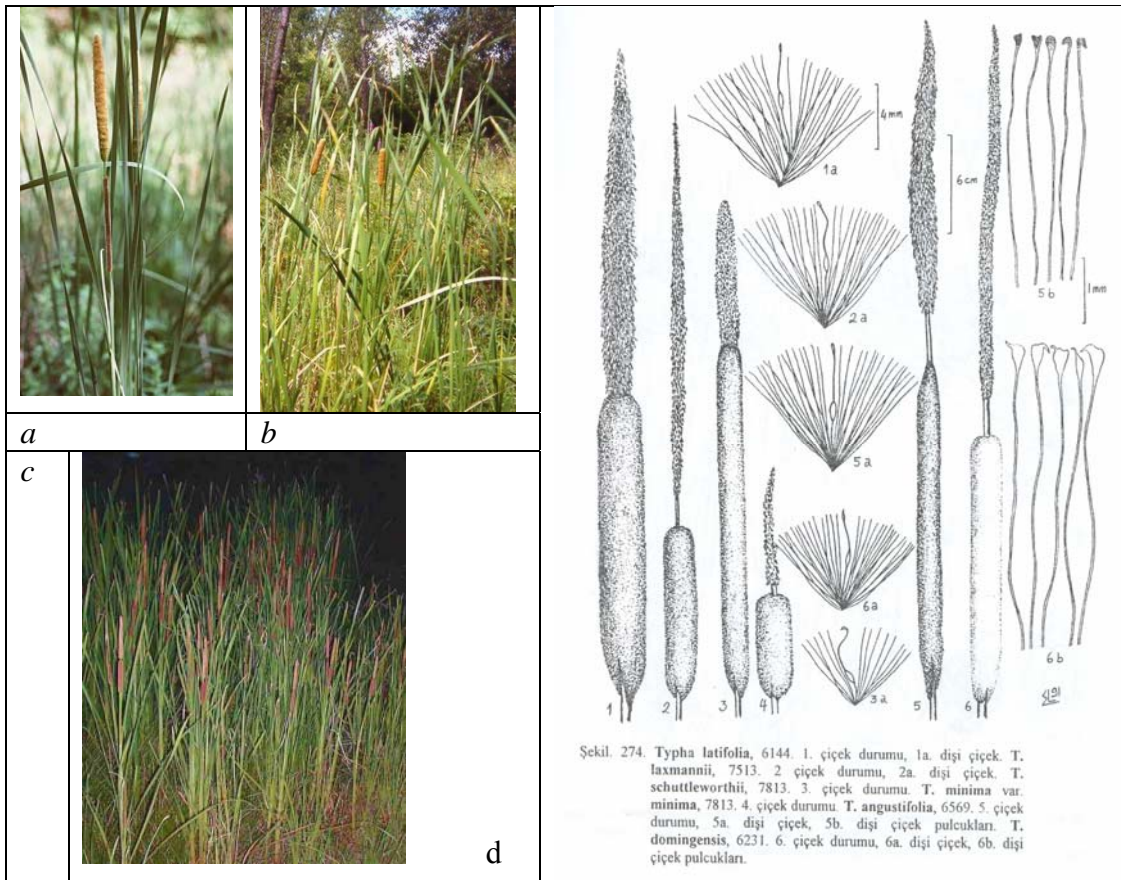
Şekil 2.13. *Ceratophyllum demersum* A- Çizim [31], B- Genel fotoğraf [36], C- Habitatında toplu fotoğraf [36].

### 2.6.3.7. *Typha domingensis* (Soluk daryapraklı hasırkamışı)

200 cm'ye kadar boylanan sağlam yapılı otsu. Lamina 4-14 mm genişlikte. Dişi ve erkek spikalar 1.5-7 cm aralıklı. Dişi spika 6-42 x 1.8-2.3 cm, ipliksi yapıdaki pulcuğun uç kısmı lanseolat-akuminat. Erkek spika, dişi spikanın 1.5 katı uzunluğunda. Anterler 2-3 mm. Meyva 1 mm kadar, tüyler 24-54 adet ve 2-7 mm. Göl, dere ve bataklıklarda, 0-1150 metreler arasında yayılım gösterirler (Şekil 2.14 - a,b,d).

### 2.6.3.8. *Typha angustifolia* (Dar yapraklı hasırkamışı)

200 cm'ye kadar boylanan sağlam yapılı otsu. Lamina 4-10 mm genişlikte. Dişi ve erkek spikalar 10-90 mm aralıklı. Dişi spika 13-37 x 1.3-2 cm, ipliksi yapıdaki pulcuğun uç kısmı ovat-spatulat ve koyu kahverengi. Erkek spika, dişi spika ile aşağı yukarı eşit boyda, 13-31 cm. Anterler 2.2-3 mm. Meyva 1-1.2 mm, tüyler 24-60 adet ve 5-9 mm. Göl, bataklık, sulama kanalları ve su içlerinde, 0-1660 metreler arasında yayılım gösterirler (Şekil 2.14 -c,d).



Şekil 2.14. A, B- *Typha angustifolia* [37], C- *Typha domingensis* [38], D- Çizim [31].





### 3.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları; evsel atıklarla kısmen kirletilmiş, giriş ve çıkış suyu debisi yaklaşık 25 litre/sn olan, 850 m<sup>2</sup> (10 m x 85 m)'lik, 320 m rakımlı Niksar ovasındaki bir sulak alanda gerçekleştirilmiştir (Bkz.Ek). Ölçümler 15 Kasım 2005, 15 Aralık 2005 ve 15 Mart 2006 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik parametreleri direk olarak arazide, turbidite ve ortofosfat tayinleri laboratuvarda yapılmıştır. Sulak alanın giriş ve çıkış suyunda ölçülen su kalite parametreleri; (ortofosfat, sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik, turbidite) standart metotlara göre gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. Laboratuvar ve Su Parametreleri Ölçüm Çalışmaları

Niksar Ovası sulak alanlarından toplanan su bitkileri, uygun koşullarda, ilçeye 40 km mesafedeki Almus Meslek Yüksekokulu laboratuvarına taşınmıştır. Bitkiler ortofosfat seviyesi 0.15 mg/l olan göl suyu içeren 100 l'lik akvaryumlarda bir hafta süre ile adaptasyona tabi tutulmuşlardır. Daha sonra 5.000 nüfuslu Almus İlçesi atıksu desarj noktasından alınan ortofosfat seviyesi 5.1 mg/l olan su, göl suyu ile seyreltilerek 0.56 mg/l ortofosfat seviyesinde deneme suyu elde edilmiştir. Deneme suyu dokuz adet 100 l'lik akvaryumlara konulmuş ve bitkiler bu su içine yerleştirilmiştir. Bir adet akvaryum şahit olarak kullanılmıştır. Akvaryumlar gün ışığı alacak şekilde yerleştirilmiş ve kompresörle temiz hava verilerek oksijen ihtiyacı giderilmiştir. Akvaryumlara her bitki türünden 500 g yaş bitki konulmuştur. Deneme akvaryumlarında dörder gün aralıklarla üç kez ölçüm yapılmıştır. Ölçülen su kalite parametreleri; (ortofosfat, pH, çözünmüş oksijen) standart metotlara göre gerçekleştirilmiştir.

Ortofosfat (mg/l) analizi için; “Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater” (19th, 1995). ‘de verilen Askorbik Asit metodu kullanılmıştır. Bu yöntem asidik ortamda su içerisindeki fosforun, amonyum molibdat ve potasyum antimon tartarat ayıraçları kullanılarak heteropoli asit ve fosfomolibdik asit oluşturulması ile ortofosfatın tayin edilmesine dayanır. Sonuçta oluşan mavi renkli karışım 880 nm’de spektrofotometrik olarak tayin edilir. Tayinlerde Hach DR/2400

Spektrofotometre kullanılmıştır. 20 ml su numuneleri alınarak süzme işlemine tabi tutulmuş ve birkaç saat içerisinde fosfor analizleri yapılmıştır. Analizler için 10'ar ml su örneği alınarak, gerekli ayıraçlar ilave edilip mavi renk oluşması için 2 dakika bekletilmiş ve sonuçta tanık örneğe karşı spektrofotometrik olarak ortofosfat iyonları tayin edilmiştir. Bu yöntemin tayin aralığı 0.02-2.50 mg/l olup, tayin aralığının üstündeki analizler için örnekler seyreltme işlemine tabi tutulduktan sonra analiz gerçekleştirilmiştir.

Sıcaklık ölçümlerinde; WTW Multi 340İ / SET ve YSİ 85D taşınabilir çoklu parametre ölçüm cihazı kullanılmıştır.

pH ölçümlerinde; WTW Multi 340İ taşınabilir çoklu parametre ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Elektriksel iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ölçümlerinde; WTW Multi 340İ / SET ve YSİ 85D taşınabilir çoklu parametre ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Turbidite (bulanıklık-NTU) ölçümlerinde Micro TPW taşınabilir turbidimetre ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Çözünmüş oksijen ölçümlerinde; WTW Multi 340İ / SET ve YSİ 85D taşınabilir çoklu parametre ölçüm cihazları kullanılmıştır.

### **3.4. Bitki Sistematiği Çalışmaları**

Niksar ovasındaki sulak alanlardan herbaryum tekniğine uygun olarak toplanan sucul bitkiler; hem kurutma işlemine tabii tutulmuş hem de %30'luk alkol içinde saklanmıştır. Bitkiler habitatında, akvaryum içinde ve beyaz zemin üzerinde fotoğraflanmıştır. Bu örneklerin Davis (1965; 1988), Seçmen ve Leblebici (1997) ile Güner ve Aysel (1989)'e göre yapılmıştır.

### 3.5. İstatistiksel Değerlendirmeler

Elde edilen tüm verilerin tanımlayıcı istatistiklerinde MS Excel Programı kullanılmış ve korelasyon katsayıları ile 2. dereceden polinom eğrileri ilgili grafiklerde sunulmuştur.

## BÖLÜM 4. SONUÇLAR


### 4.1. Bitki Sistematığı Bulguları

Aşağı Kelkit Havzası sulak alanlarından toplanan ve Tablo 4.1’de verilmekte olan sekiz adet su bitkisi örneği; Davis (1965; 1988), Seçmen ve Leblebici (1997) ile Güner ve Aysel (1989)’e göre teşhis edilmiş ve sistematik kategorileri ile fotoğrafları Tablo 4.2-9’da sunulmuştur.

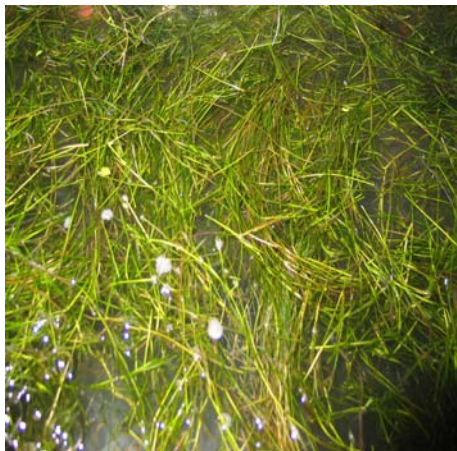
Tablo 4.1. Aşağı Kelkit Havzasında baskın olan ve çalışılan su bitkilerinin listesi

Su Bitkileri (bilimsel adlandırma)	Su Bitkileri (Türkçe isimleri)
1- <i>Nasturtium officinale</i>	Su teresi
2- <i>Potamogeton pectinatus</i>	Taraksı susümbülü
3- <i>Myriophyllum spicatum</i>	Başaklı sucivanperçemi
4- <i>Ceratophyllum demersum</i>	Tilki kuyruğu
5- <i>Cladophora glomerata</i>	Çivik yosun
6- <i>Typha angustifolia</i>	Dar yapraklı hasırkamışı
7- <i>Typha domingensis</i>	Soluk daryapraklı hasırkamışı
8- <i>Lemna minor</i>	Küçük sumercimeği

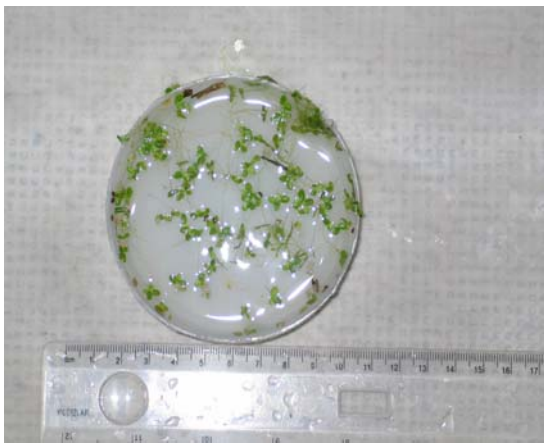
Tablo 4.2. *Nasturtium officinale*’nin sistematik kategorisi ve fotoğrafı

Kingdom Plantae Subkingdom Tracheobionta Superdivision Spermatophyta Division Magnoliophyta Class Magnoliopsida Subclass Dilleniidae Order Capparales Family Brassicaceae Genus <i>Nasturtium</i> R.Br. Species <i>N. officinale</i> Ait. f.	
---	--


Tablo 4.3. *Potamogeton pectinatus*'nin sistematik kategorisi ve fotoğrafı

Kingdom Plantae	
Subkingdom Tracheobionta	
Superdivision Spermatophyta	
Division Magnoliophyta	
Class Liliopsida	
Subclass Alismatidae	
Order Najadales	
Family Potamogetonaceae	
Genus <i>Potamogeton</i> L.	
Species <i>Potamogeton pectinatus</i>	


Tablo 4.4 *Lemna minor* 'un sistematik kategorisi ve fotoğrafı

Kingdom Plantae	
Subkingdom Tracheobionta	
Superdivision Spermatophyta	
Division Magnoliophyta	
Class Liliopsida	
Subclass Arecidae	
Order Arales	
Family Lemnaceae	
Genus <i>Lemna</i> L.	
Species <i>Lemna minor</i> L.	


Tablo 4.5. *Ceratophyllum demersum*'un sistematik kategorisi ve fotoğrafı

Kingdom <u>Plantae</u>	
Subkingdom <u>Tracheobionta</u>	
Superdivision <u>Spermatophyta</u>	
Division <u>Magnoliophyta</u>	
Class <u>Magnoliopsida</u>	
Subclass <u>Magnoliidae</u>	
Order <u>Nymphaeales</u>	
Family <u>Ceratophyllaceae</u>	
Genus <i>Ceratophyllum</i> <u>L.</u>	
Species <i>Ceratophyllum demersum</i> <u>L.</u>	


Tablo 4.6. *Myriophyllum spicatum*'un sistematik kategorisi ve fotoğrafı

Kingdom Plantae	
Subkingdom Tracheobionta	
Superdivision Spermatophyta	
Division Magnoliophyta	
Class Magnoliopsida	
Subclass Rosidae	
Order Haloragales	
Family Haloragaceae	
Genus <i>Myriophyllum</i> L.	
Species <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	

Tablo 4.7. *Cladophora glomerata*'nin sistematik kategorisi ve fotoğrafı

Kingdom Plantae	
Division Chlorophyta	
Class Bryopsidophyceae	
Order Cladophorales	
Family Cladophoraceae	
Genus <i>Cladophora</i>	
Species <i>Cladophora glomerata</i>	

Tablo 4.8. *Typha angustifolia* ve *T. Domingensis*' in sistematik kategorileri ve fotoğrafları

Kingdom Plantae	
Subkingdom Tracheobionta	
Superdivision Spermatophyta	
Division Magnoliophyta	
Class Liliopsida	
Subclass Commelinidae	
Order Typhales	
Family Typhaceae	
Genus <i>Typha</i> L.	
Species <i>T.angustifolia</i>	
Species <i>T.domingensis</i>	

*T. angustifolia**T. domingensis*

## 4.2. Sulak Alan Çalışması Bulguları

Evsel atıklarla kısmen kirletilmekte olan saha çalışmalarının yapıldığı sulak alanın; 850 m<sup>2</sup>(10 m x 85 m) yüzey alanına sahip olduğu, giriş ve çıkış suyunun yaklaşık 25 litre/sn ve rakımının ise 320 metre olduğu saptanmıştır (Bkz. Ek). Çalışma alanı olan sulak alanın Aşağı Kelkit Havzası sulak alanlarını temsil edecek nitelikler taşıdığı ve *Typha domingensis* (Soluk daryapraklı hasırkamışı)'in baskın tür olduğu ve bölge canlı yaşamı için *Typha domingensis* kominitesi olarak nitelendirilebilecek; durum söz konusu olsa da aralıklı olarak diğer sucul türlerin varlığı da saptanmıştır. Sulak alanın 1 m<sup>2</sup>'lik alanında 40-45 adet *Typha domingensis* topluluğu sayılmıştır. Diğer türler vejetasyon dönemine göre hakim tür yanında yerini almaktadır.

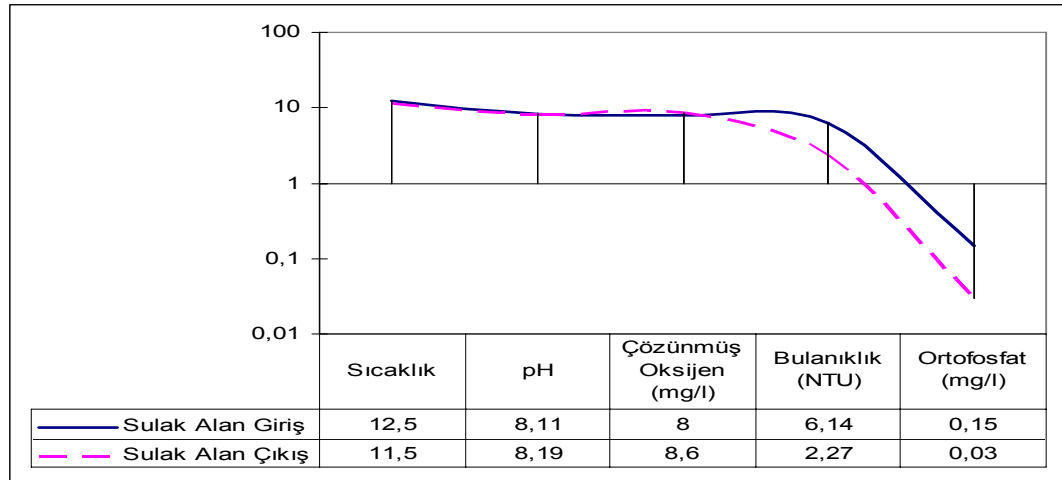
Söz konusu sulak alanda Kasım 2005, Aralık 2005 ve Mart 2006 tarihleri olmak üzere üç çalışma gerçekleştirilmiştir. Su bitkileri çalışmaları yanında Tablo 4.9'da verilmekte olan su parametreleri ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda; sulak alanın giriş suyu kalite değerleri çıkışta suyunda olumlu yönde etkilendiği saptanmıştır (Tablo 4.9; Şekil 4.1-10).

Tablo 4.9. Çalışma yapılan sulak alanda giriş ve çıkışta ölçülen su parametreleri sonuçları

Ölçüm Parametreleri	Sulak Alan Giriş			Sulak Alan Çıkış		
	Kasım 2005	Aralık 2005	Mart 2006	Kasım 2005	Aralık 2005	Mart 2006
Sıcaklık	12,5	11,5	11,7	11,5	11,0	11,2
pH	8,11	8,10	8,35	8,19	8,12	8,37
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	8,0	8,6	10,8	8,6	7,9	11,6
E. İletkenlik (µS/cm)	946	940	930	948	931	916
Bulanıklık (NTU)	6,14	5,73	5,77	2,27	3,69	3,22
Ortofosfat (mg/l)	0,15	0,28	0,37	0,03	0,14	0,25

#### 4.2.1. Sulak alan giriş ve çıkış suyu Kasım 2005 dönemi çalışması

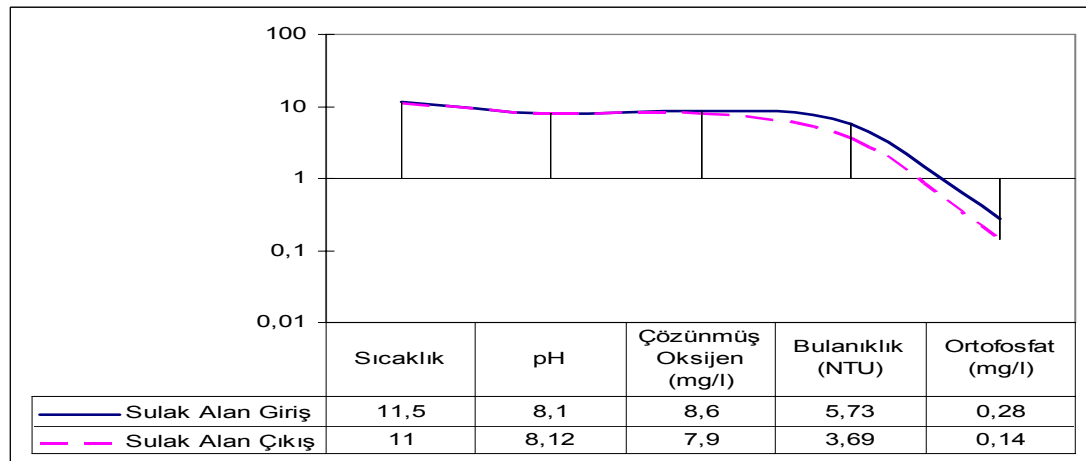
Kasım 2005 döneminde çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyu ölçülen kalite parametrelerinin karşılaştırılması sonucunda; turbiditenin 6.14 NTU'dan 2.27 NTU'ya, ortofosfatın 0.15 mg/l'den 0.03 mg/l'ye düştüğü, diğer parametrelerde ise önemli bir değişimin olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri dağılımı (Kasım 2005)

#### 4.2.2. Sulak alan giriş ve çıkış suyu Aralık 2005 dönemi çalışması

Aralık 2005 döneminde çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyu ölçülen kalite parametrelerinin karşılaştırılması sonucunda; turbiditenin 5.73 NTU'dan 3.69 NTU'ya, ortofosfatın 0.28 mg/l'den 0.14 mg/l'ye düştüğü, diğer parametrelerde ise önemli bir değişimin olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.2).

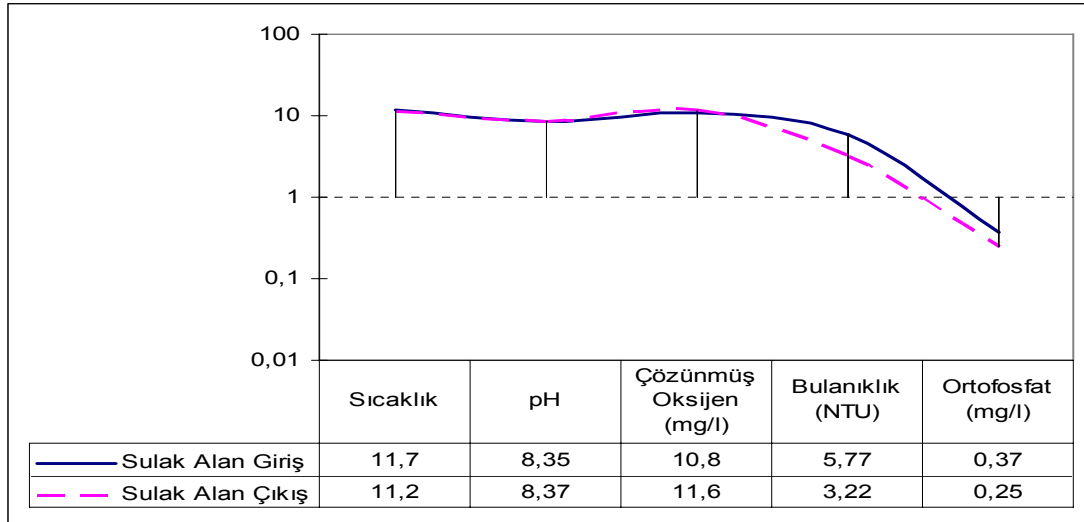


Şekil 4.2. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri dağılımı (Aralık 2005).



#### 4.2.3. Sulak alan giriş ve çıkış suyu Mart 2006 dönemi çalışması

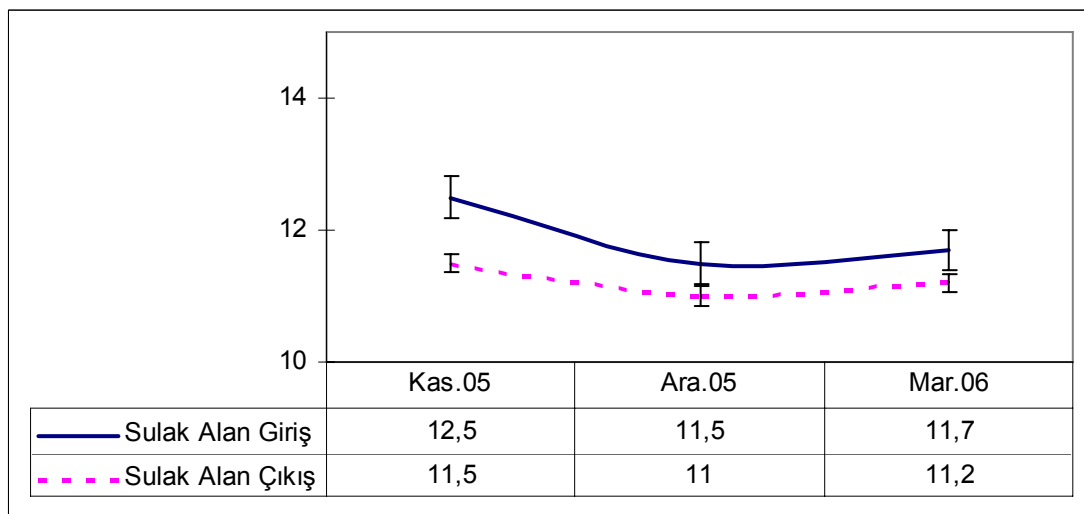
Mart 2006 döneminde çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyu ölçülen kalite parametrelerinin karşılaştırılması sonucunda; turbiditenin 5.73 NTU'dan 3.69 NTU'ya, ortofosfatın 0.28 mg/l'den 0.14 mg/l'ye düştüğü, diğer parametrelerde ise önemli bir değişimin olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri dağılımı (Mart 2006).

#### 4.2.4. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel sıcaklık değişimi

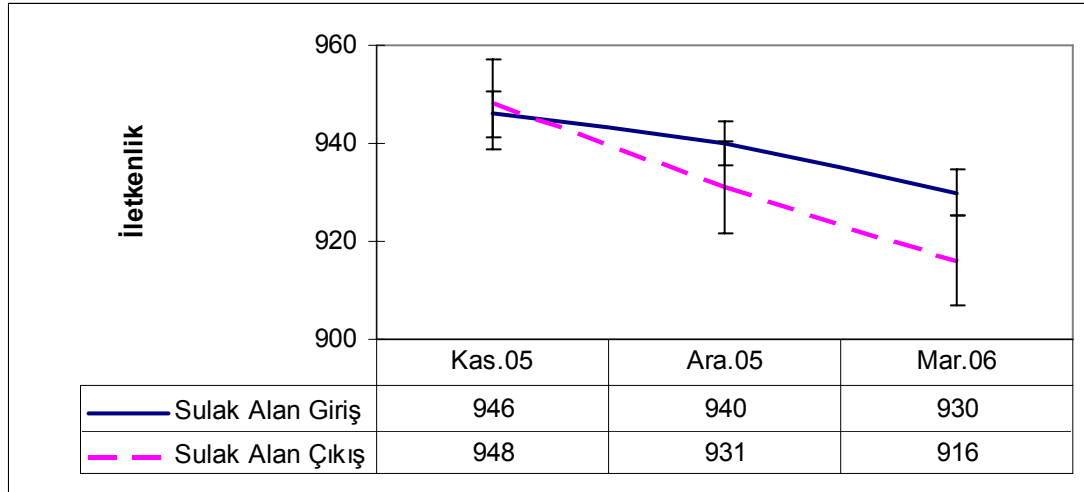
Çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyunda ölçülen sıcaklık dağılımlarının karşılaştırılması sonucunda; değerlerin çıkış suyunda giriş suyuna göre bir miktar (0.5 °C) düştüğü saptanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu sıcaklık dağılımı (°C).

#### 4.2.5. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel iletkenlik değişimi

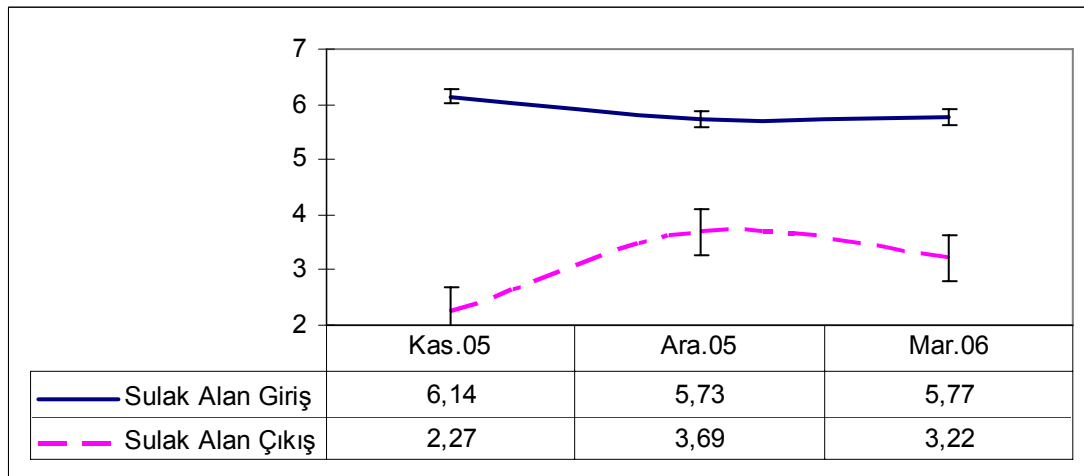
Çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyunda ölçülen elektriksel iletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dağılımlarının karşılaştırılması sonucunda; değerlerin giriş ve çıkış suyunda önemli bir değişim göstermediği saptanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu elektriksel iletkenlik dağılımı ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

#### 4.2.6. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel turbidite değerleri değişimi

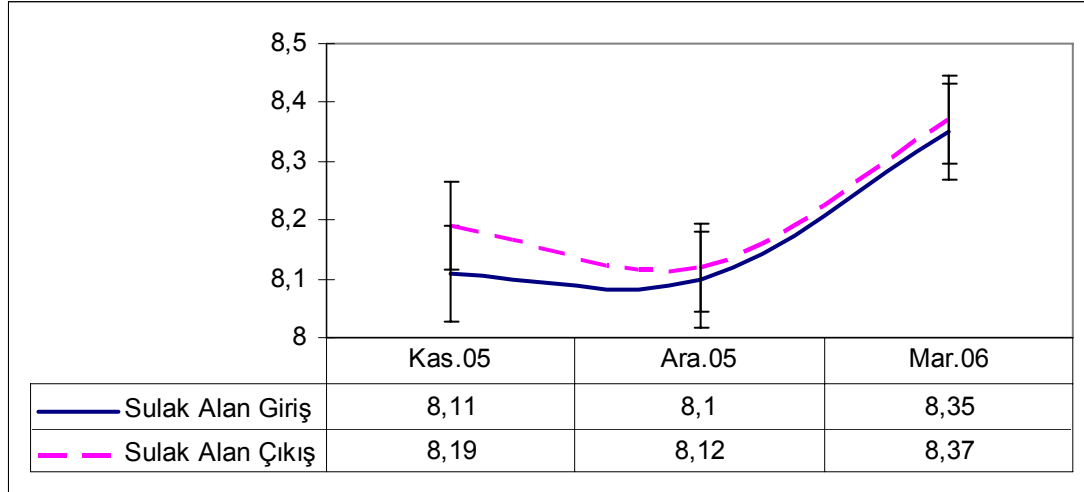
Çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyunda ölçülen turbidite değerleri (NTU) dağılımlarının karşılaştırılması sonucunda; değerlerin çıkış suyunda giriş suyuna göre % 50' lileri bulabilen önemli oranlarda düşüşler gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu turbidite değerleri dağılımı (NTU).

#### 4.2.7. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel pH değerleri değişimi

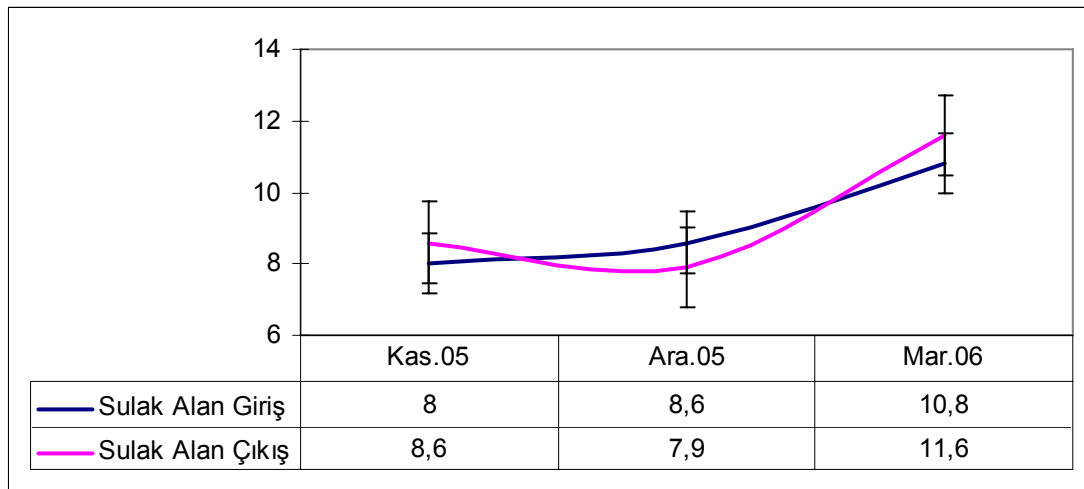
Çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyunda ölçülen pH değerleri dağılımlarının karşılaştırılması sonucunda; değerlerin giriş ve çıkış suyunda önemli bir değişim göstermediği saptanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu pH dağılımı.

#### 4.2.8. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel çözünmüş oksijen değişimi

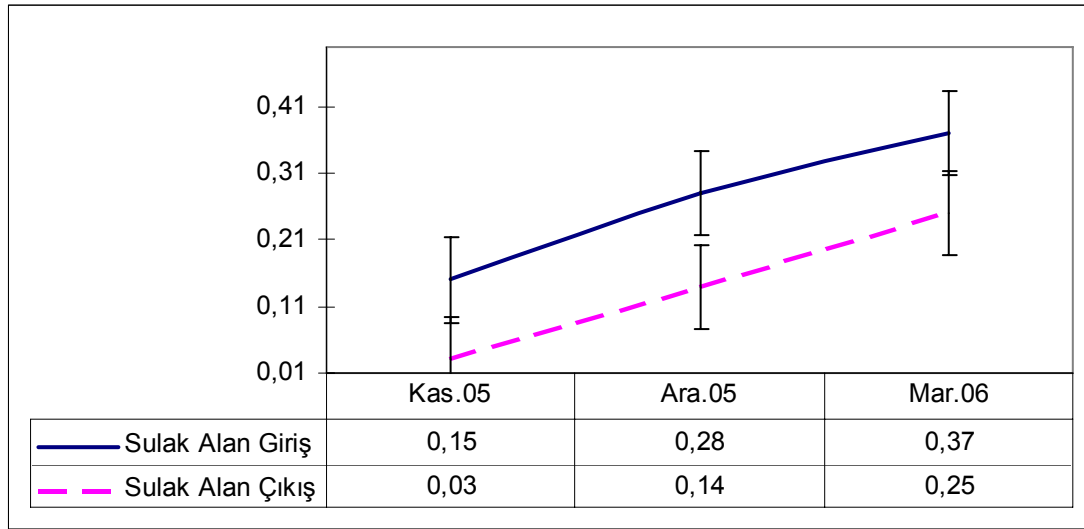
Çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyunda ölçülen çözünmüş oksijen değerleri dağılımlarının karşılaştırılması sonucunda; değerlerin giriş ve çıkış suyunda önemli bir değişim göstermediği saptanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu çözünmüş oksijen dağılımı(mg/l).

#### 4.2.9. Sulak alan giriş ve çıkış suyunun dönemsel ortofosfat değerleri değişimi

Çalışılan sulak alan giriş ve çıkış suyunda ölçülen ortofosfat değerleri (mg/l) dağılımlarının karşılaştırılması sonucunda; değerlerin çıkış suyunda giriş suyuna göre, özellikle Kasım 2005 dönemi başta olmak üzere % 20 - 50' lileri bulabilen önemli oranlarda düşüşler gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu ortofosfat dağılımı (mg/l).

Sulak alanlarda fosfor gibi besi elementlerinin giderimi mikroorganizma kullanımı, çökeltme, toprak yapısına adsorbsiyon yanında bitki alımına bağlı olarak da giderilmektedir. Aktif bitki büyümesinin gerçekleşmediği Aralık ve Mart aylarında, çıkış suyunda tespit edilen ortofosfat düzeyi Kasım ayından daha yüksek tespit edilmiştir. Kasım ayında sulak alana gelen atık su fosfor bakımından daha seyreltik halde gelmiştir. Giriş ve çıkış suyunda tespit edilen değerlerin ölçümü yapılan her üç ayda da giderimin eşit düzeyde olması bu aylarda giderimin bitki rolünden çok diğer mekanizmalarla olduğunu düşündürmektedir.

### 4.3. Laboratuvar Denemeleri

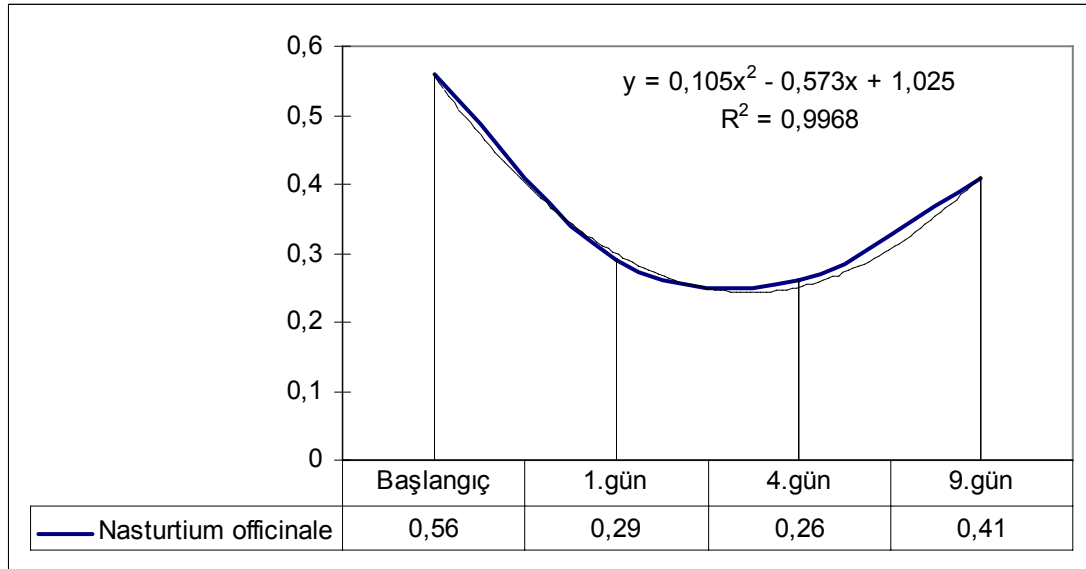
Çalışma alanından laboratuara taşınan ve 100 l'lik akvaryumlarda uyum çalışmaları tamamlanan bir adeti şahit sekiz adeti değişik bitki türlerini içeren ve yöntemde belirtildiği üzere hazırlanan dokuz adet akvaryumda; dörder gün aralıklarla üç kez ölçüm yapılmıştır. Ölçülen su kalite parametreleri; (ortofosfat, pH, çözünmüş oksijen) Tablo 4.10 ile Şekil 4.11-18'de verilmektedir.

Tablo 4.10. Denek bitki türlerinin su kalitesinde gösterdiği zamana bağlı değişim sonuçları.

TÜR	Bir gün sonra			Dört gün sonra			Dokuz gün sonra		
	Orto fosfat	pH	ÇO	Orto fosfat	pH	ÇO	Orto fosfat	pH	ÇO
Deney Suyu	0,53	7.5	8.4	0,55	8.1	5.1	0,36	8.1	5.7
<i>Nasturtium officinale</i>	0,29	7.5	2.3	0,26	7.9	5.8	0,41	8.1	6.9
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,30	7.7	0.8	0,25	7.9	4.5	0,29	7.8	4.3
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,10	7.7	1.5	0,58	8.1	5.3	0,21	8.1	5.7
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,18	7.5	1.6	0,11	8.2	5.8	0,12	8.2	6.4
<i>Cladophora glomerata</i>	0,14	7.7	1.6	0,16	8.3	6.0	0,42	8.3	6.2
<i>Typha angustifolia</i>	0,37	7.7	3.0	0,65	8.1	6.2	0,36	8.1	6.5
<i>Typha domingensis</i>	0,17	7.7	3.1	0,27	8.0	5.6	0,37	7.7	3.4
<i>Lemna minor</i>	0,09	7.7	4.5	0,08	8.4	6.9	0,11	8.4	6.9
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çalışma için alınan göl suyu ortofosfatı ölçüm değeri: 0.15 mg/lt</li> <li>• Çalışma için alınan atıksu ortofosfatı ölçüm değeri: 5.1 mg/lt</li> <li>• Çalışma için oluşturulan deney suyu ortofosfatı ölçüm değeri: 0.56 mg/lt</li> </ul>									

#### 4.3.1. *Nasturtium officinale* 'de fosfor tutum sonuçları

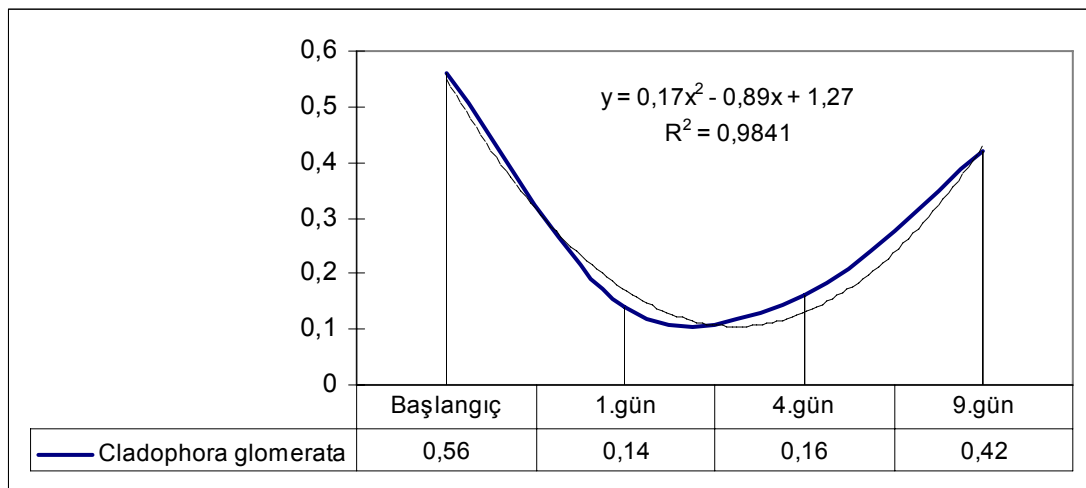
*Nasturtium officinale* 'de fosfor tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.99$ ). Başlangıç konsantrasyonu 0.56 mg/l ortofosfat olan suda 1 gün sonra 0.29 mg/l, 4 gün sonra 0.26 mg/l ve 9 gün sonra 0.41 mg/l arasında değişmiştir(Şekil 4.10).



Şekil 4.10. *Nasturtium officinale* 'de fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi (mg/l).

#### 4.3.2. *Cladophora glomerata* 'de fosfor tutum sonuçları

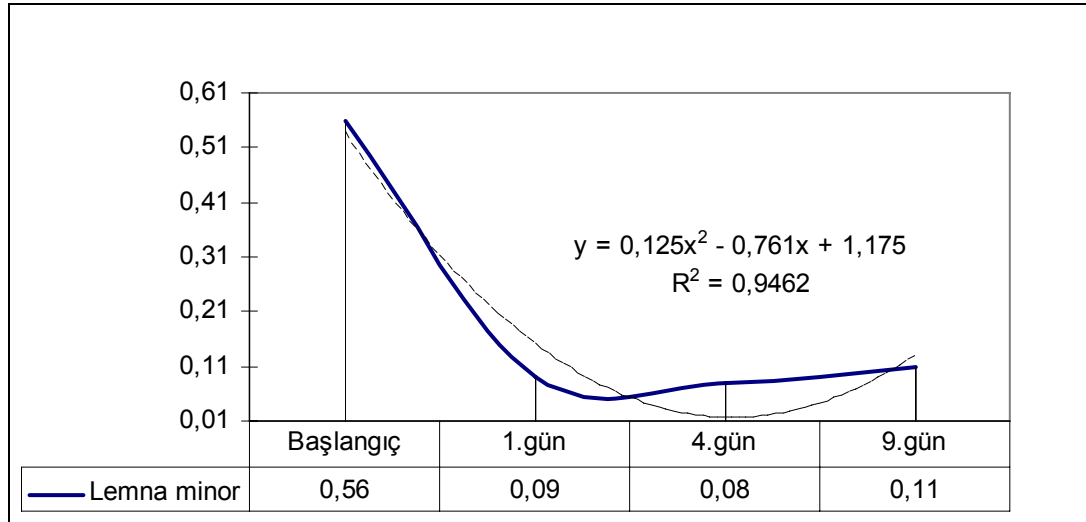
*Cladophora glomerata* 'de fosfor tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.98$ ). Başlangıçta 0.56 mg/l olan ortofosfat değerleri 0.14 ile 0.42 mg/l arasında değişmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. *Cladophora glomerata* 'da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi (mg/l).

### 4.3.3. Lemna minor ‘da fosfor tutum sonuçları

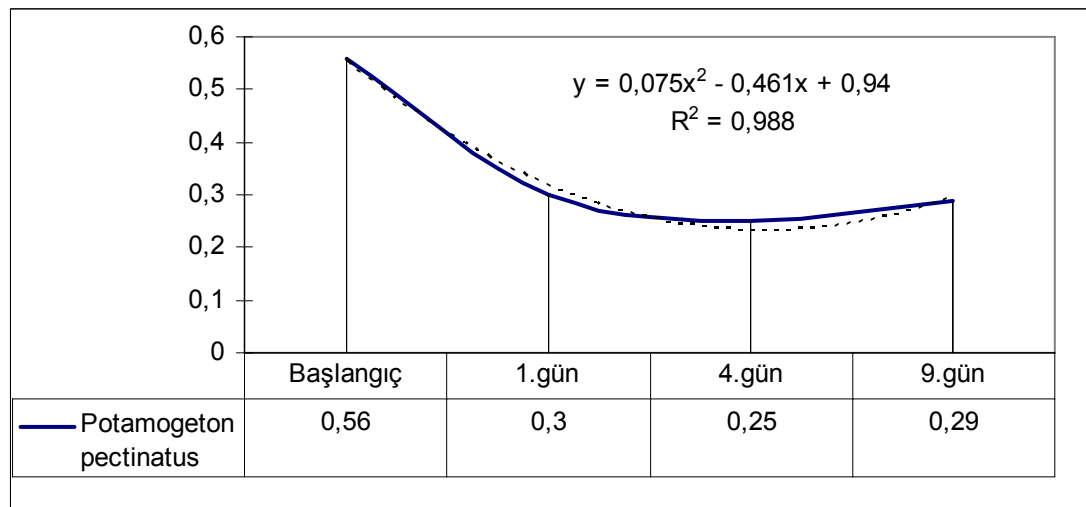
*Lemna minor* ‘da fosfor tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.94$ ). Başlangıçta 0.56 mg/l olan ortofosfat değerleri 0.09 ile 0.11 mg/l arasında değişmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. *Lemna minor* ‘de fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi (mg/l).

### 4.3.4. Potamogeton pectinatus ‘da fosfor tutum sonuçları

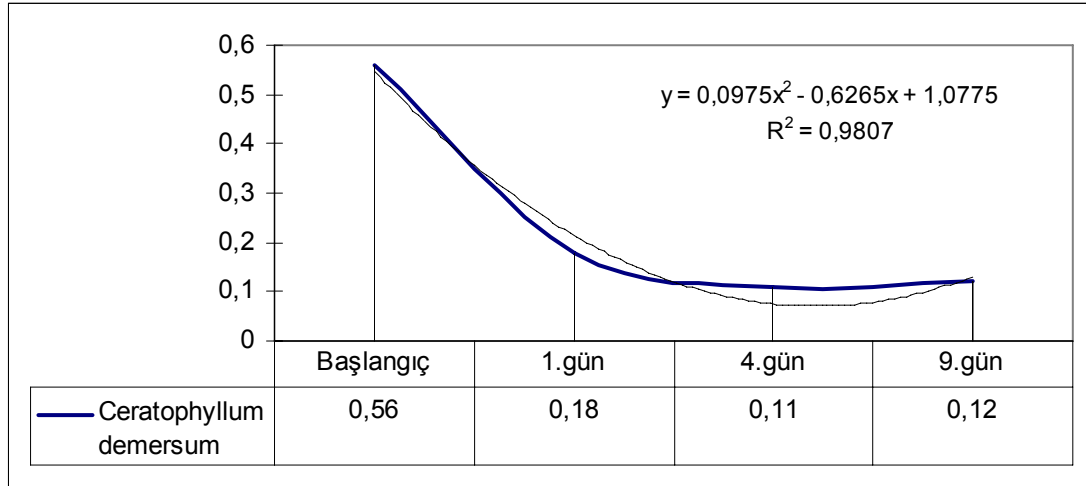
*Potamogeton pectinatus* ‘da fosfor tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.99$ ). Başlangıçta 0.56 mg/l olan ortofosfat değerleri 0.3 ile 0.29 mg/l arasında değişmiştir. Birinci günün sonunda ç.oksijen değeri 0.8 mg/l’ye düşmüş olmasına rağmen fosfor tutumu devam etmiştir(Şekil 4.13).



Şekil 4.13. *Potamogeton pectinatus* ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi (mg/l).

#### 4.3.5. *Ceratophyllum demersum* ‘da fosfor tutum sonuçları

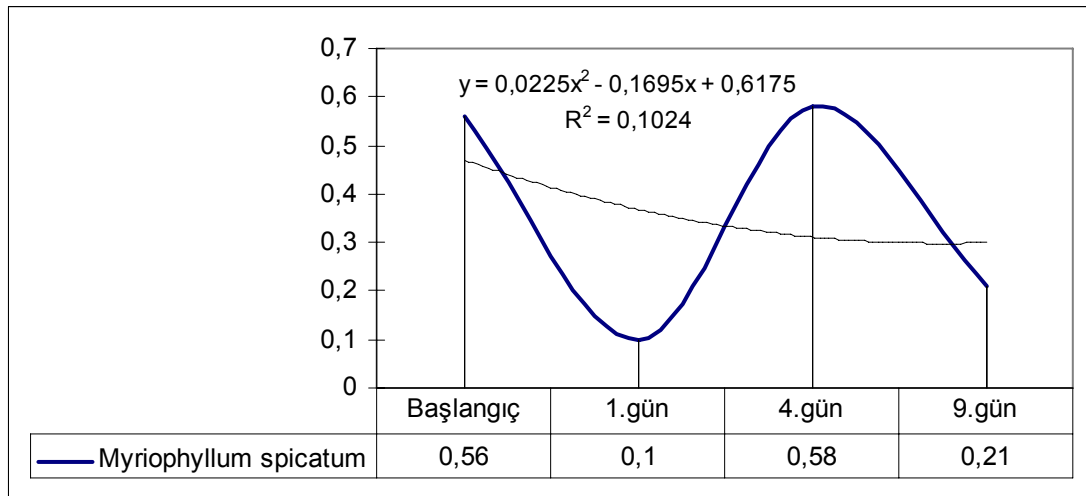
*Ceratophyllum demersum* ‘da fosfor tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.98$ ). Başlangıçta 0.56 mg/l olan ortofosfat değerleri 0.11 ile 0.18 mg/l arasında değişmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. *Ceratophyllum demersum* ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi (mg/l).

#### 4.3.6. *Myriophyllum spicatum* ‘da fosfor tutum sonuçları

*Myriophyllum spicatum* ‘da fosfor tutumunun zamansal ilişkisi düşük düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.1$ ). Başlangıçta 0.56 mg/l olan ortofosfat değerleri 0.1 ile 0.58 mg/l arasında değişmiştir (Şekil 4.15). Bu durumun ilk günü takiben oksijen değerlerinin 1.5 mg/l’ye kadar düşmesi ile ilgili olduğu sanılmaktadır.

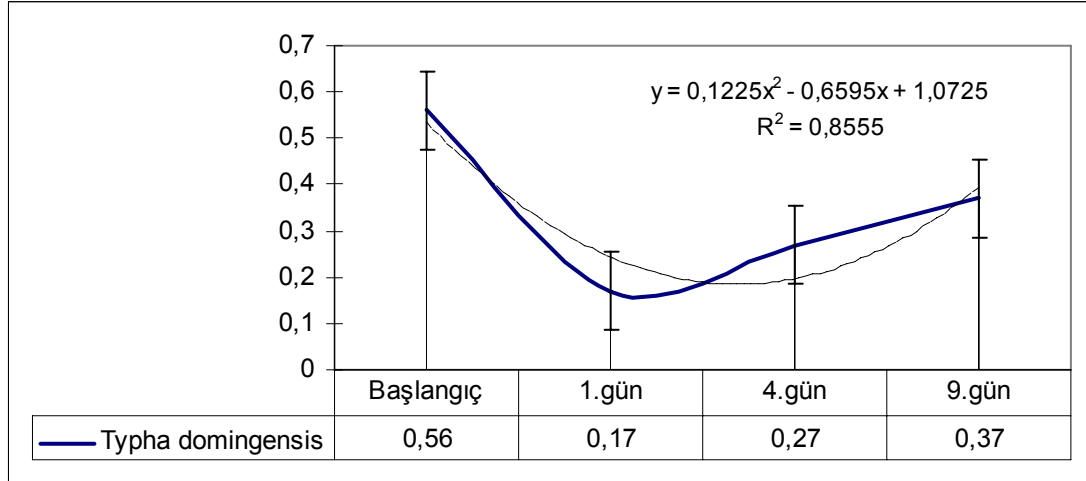


Şekil 4.15. *Myriophyllum spicatum* ‘da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi (mg/l).



#### 4.3.7. *Typha domingensis* 'de fosfor tutum sonuçları

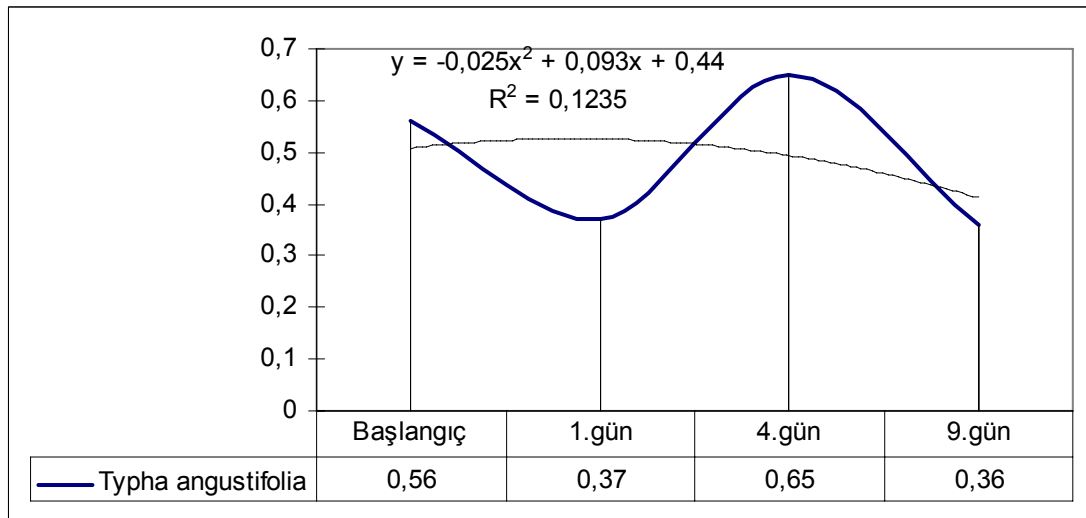
*Typha domingensis*'de fosfor tutumunun zamansal ilişkisi anlamlı düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.86$ ). Başlangıçta 0.56 mg/l olan ortofosfat değerleri 0.17 ile 0.37 mg/l arasında değişmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. *Typha domingensis* 'da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi (mg/l).

#### 4.3.8. *Typha angustifolia* 'da fosfor tutum sonuçları

*Typha angustifolia*'da fosfor tutumunun zamansal ilişkisi düşük düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.1$ ). Başlangıçta 0.56 mg/l olan ortofosfat değerleri 0.36 ile 0.65 mg/l arasında değişmiştir (Şekil 4.17). Bu durumun ilk günü takiben oksijen değerlerinin 3 mg/l'ye kadar düşmesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.17. *Typha angustifolia* 'da fosfor tutumunun zamana bağlı değişimi (mg/l).

## **BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER**

Dünya nüfusunun sekiz milyarı zorladığı günümüzde; nüfusun üçte biri içme ve kullanma suyu sıkıntısı çekmektedir. Bu durum suyu, dünyanın en değerli unsuru haline getirmektedir. Tarım, sanayi ve evsel atıklar kullanılabilir su miktarını gittikçe düşürmektedir. Daha şimdiden, gelişmekte olan ülkelerde birçok insan içme, yıkanma ve gıda üretme gibi temel ihtiyaçları için yeterli su miktarından yoksundur. Su kıtlığının bir belirtisi de kuru nehirlerdir. Dünyanın önemli nehirlerinin birçoğu senenin bir kısmında tamamen kurumaktadır. Kullanılan suların tahminen yüzde 70'i sulamada, yüzde 20'si endüstride ve yüzde 10'u evlerde sarfedilmektedir [39]. Son elli yıl içinde küresel nüfus ve gıda talebinin ikiye katlanması ile sular çevre kirliliğine maruz kalmıştır [40]. Su sistemlerinin korunmasını için ilk ve en önemli adım; ekolojik kriterlerin saptanmasıdır. Ekosistemlere belli bir su ayrılmazsa kentler, sanayiler ve çiftlikler bu ortamı aşırı derecede kullanıp, tahrip ederler [41]. Artık suyun her alanda bilinçli ve sürdürülebilir şekilde kullanımını hayati bir konu olarak gündeme oturmuştur. Bu konuda yapılması gereken ilk iş ise; şüphesiz atık suların arıtılarak tekrardan çeşitli şekillerde kullanıma sunulmasıdır. Bunlardan en önemlisi; kanalizasyonlardaki atık suların işlenerek sulama için kullanılmasıdır. Bütün dünya üzerindeki çiftçiler, azot, fosfor ve potasyum temin etmek için gübreye büyük paralar ödemektedir. Halbuki bu maddeler atık sularda bol miktarda mevcuttur. Bugün 15 kadar ülkede 500.000 hektarlık tarım alanı kanalizasyondan elde edilen atıksularla sulanmaktadır. Dünya üzerinde atık suların geri kazanılması hususundaki en yoğun çalışmalar İsrail'dedir ve toplam su ihtiyacının % 16'sını geri kazanılmış atık sulardan elde edilmektedir [5].

Atıksular, doğal ve çeşitli şekillerde düzenlenmiş yapay sulakalanlarda arıtılabilmektedirler. Doğal ya da yapay sulakalanlar, evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksuların arıtımı için kullanılan düşük masraflı arıtma alternatifleridir. Doğal sulakalanların kullanımını daha çok ikincil veya ileri arıtım çıkışı sonrası olmasına

rağmen yapay ve doğal sulakalanların her ikisi de atıksu arıtımında kullanılabilir [42]. Çeşitli bataklıklar sulakalan olarak kullanılmasına karşın genellikle sulakalan sistemleri yapay olarak oluşturulmaktadır [4].

Günümüzde dünyanın birçok yerinde binlerce sulakalandan atıksu arıtım sistemleri amaçlı yararlanılmaktadır (Tablo 5.3). Reddy and D' Angelo (1997); doğal sulakalanların yanında yapay sulakalanlar da artık bugün dünyanın birçok yerinde atıksu yönetimi ve su kirliliği kontrolünde önemli ölçüde kullanılmakta olduğunu bildirmektedirler. Türkiye' de henüz bu kapsamda büyük ölçekli yapay sulakalan olmamakla birlikte, pilot ölçekli deneme projeleri bulunmaktadır [4]. Ülkemizde bu çalışmalar oldukça yeni sayılabilecek bir durum sergilemekte olup, uygulamalı çalışmalardan ziyade ağırlıklı olarak akademik düzeyde kalmıştır [ 4, 6-13 ].

Bu çalışma; ekolojik yapısı diğer bölgelerle kıyaslandığında fazla bozulmamış olan Aşağı Kelkit Havzası ekosisteminde bulunan doğal sulak alanlar ile bu ekosistemlerdeki hakim su bitkilerinin sulak alana gelen kirlenici yüklerin giderimindeki etkinliklerini, özellikle sudaki fosfor giderimlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

### 5.1. Çalışılan Bitki Türleri ve Laboratuvar Ortamında Fosfor Giderimleri

Bu çalışmada aşağı Kelkit Havzası sulak alanlarından toplanan sekiz adet (*Nasturtium officinale*, *Potamogeton pectinatus*, *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum*, *Cladophora glomerata*, *Typha angustifolia*, *Typha domingensis*, *Lemna minor*) su bitkisi ile çalışılmıştır. Türlerin seçiminde Aşağı Kelkit Havzasında yaygın bir dağılım göstermeleri etken olmuştur. Çalışmada sonuçlarına göre; türlere göre fosfor arıtım verimliliği değerlendirildiğinde, % 84 ile en yüksek fosfor tutumunu *Lemna minor* gerçekleştirirken, en düşük fosfor giderimini % 18 ile *Typha angustifolia* 'da saptanmıştır (Tablo 5.1 , Şekil 5.1).

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda sucul bitkilerin atıksudaki patojen mikroorganizmaları ve kirlenicileri yok ettiği gözlenmiş, bu özelliğe sahip bir çok bitki incelenmiştir [4]. Bunların arasında özellikle etkili olanlar *Phragmites* ve *Typha*

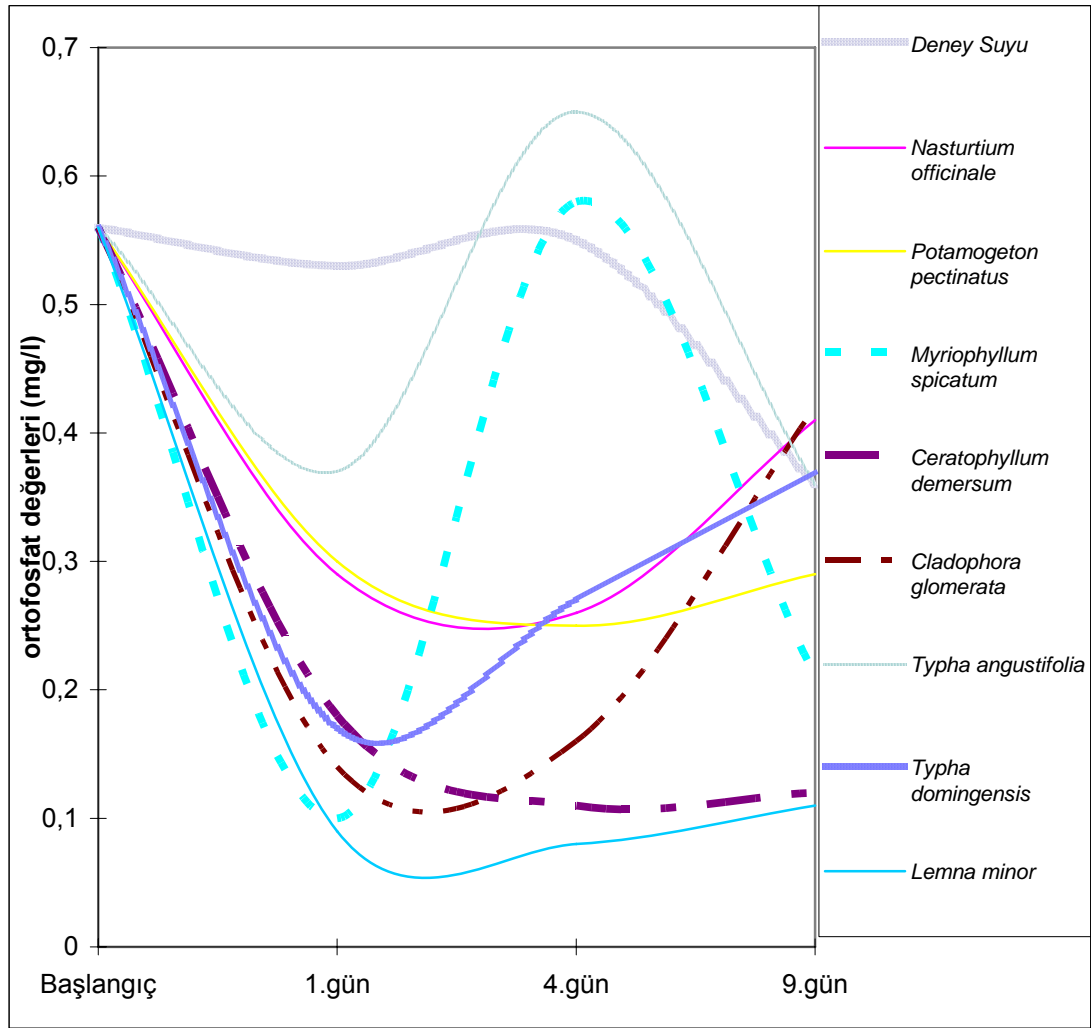
*latifolia* olarak bilinen su sazı ve su kamışı türleridir. Hauster (1984); atıksu arıtımında kullanılan yüzen su bitkilerinin en önemli grublarını; su sümbülü, su mercimeği ve su eğreltisine ait türlerden oluştuğunu ve bunların atıksu arıtımında yıllardır kullanıldığını bildirmektedir [43].

Tablo 5.2’ de gösterildiği üzere çalışmalarda en çok tercih edilen sucul bitki çeşitlerinin başında *Lemna* ve *Typha* cinslerine ait türler gelmektedir. Ancak aynı türlerde bile arıtım verimliliklerinde önemli farklılıklar görülebilmektedir (Tablo 5.2). Bu farklılığa, bölgenin toprak yapısı ve iklim şartları başta olmak üzere birçok ekolojik faktör etkili olmaktadır. Su bitkisi içeren bir sistemin besin maddesi giderim etkinliği; kullanılan su bitkisinin tipine, bitkinin büyüme hızına, suyun besin maddesi içeriğine ve sudaki fizikokimyasal arıtıma direkt bağlıdır [4]. Tablo 5.2’de verildiği üzere atıksu giderim amaçlı kullanılan çeşitli araştırma ve uygulamalarda verimin % 3-98 arasında değiştiği görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında Tablo 5.1’de verilmekte olan türlerle laboratuvar ortamında çalışılmış ve % 18- 84 arasında değişen oranlarda fosfor giderimleri saptanmıştır (Tablo 5.1 ve Şekil 5.1).

Tablo 5.1. Çalışılan bitkilerin laboratuvar koşullarında ortafosfat tutum ortalama değerleri

Türler	Başlangıç (mg/l)	Ortalama (mg/l)	Arıtım Verimi (%)
Deney Suyu	0,56	0,48	--
<i>Nasturtium officinale</i>	0,56	0,32	43
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,56	0,28	50
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,56	0,29	48
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,56	0,14	75
<i>Cladophora glomerata</i>	0,56	0,24	57
<i>Typha angustifolia</i>	0,56	0,46	18
<i>Typha domingensis</i>	0,56	0,27	52
<i>Lemna minor</i>	0,56	0,09	84



Şekil 5.1. Çalışılan bitkilerin laboratuvar koşullarında ortofosfat tutum ortalama değerleri dağılımı (mg/l)

Tablo 5.2. Arıtım Amaçlı Kullanılan Su Bitkileri ve Kullanım Şekilleri

Çalışılan Tür	Kullanım Şekli	Verim	Bölge	Kaynaklar*
<i>Phragmites communis</i> <i>Typha latifolia</i>	Evsel atıksu giderimi	% 48 - 98	Türkiye	Özdemir ve Şengörür, 2006
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Ağır metal giderimi	etkili		Keskinkan ve ark.,2003
<i>Typha latifolia</i> <i>Phragmites carca</i>	Evsel atıksu giderimi	% 60 (ortofosfat)	Hindistan	Juwarkar <i>et al.</i> ,1995
<i>Lemna minor</i>	Evsel atıksu giderimi	% 20 üzeri		Herskowitz,1986
<i>Salvinia natans</i>	Evsel atıksu giderimi	% 28-58 (ortofosfat)	Adana /Türkiye	Bayhan ve ark.,1996.
<i>Lemna minor</i>		% 27-63 (ortofosfat)		
<i>Lemna minor</i>	Evsel atıksu giderimi	% 11- 90		Sarialioğlu, 2003
<i>Iris sp</i> , <i>Cyperus sp</i>	Evsel atıksu giderimi	% 39-90 (ortofosfat)	Türkiye	Ayaz ve Akça, 2001
<i>Lemna minor</i>	Evsel atıksu giderimi	% 3-78	Türkiye	Zeren ve ark., 2001

\*(Ayaz ve Akça (2001); Yılmaz(2003); Anonim(2003); Bayhan ve ark.(1996) ve Fisher et al.(1987)'a göre düzenlenmiştir)

### 5.1.1. *Nasturtium officinale* 'de fosfor giderimi

Su teresi olarak adlandırılan bu tür çok yıllık otsu bir bitki olup; temiz kaynak suları, göller, akarsular ve kanallarda; 0-1100 m yüksekliklerde yayılış gösterir. Gelişmesini sığ kıyılardan derinlere doğru sürdürür. Populasyonun yoğun olduğu yerlerde kanallardaki su akışını yavaşlatmakta ve sorun yaratmaktadır. Yaprakları salata olarak tüketildiğinden güney bölgelerimizde kültürü yapılmaktadır [31].

*Nasturtium officinale* 'de laboratuvar ortamında ortofosfat giderim verimliliği % 43 olup; ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.99$ ). Ortofosfat deneme sürecinde 0.56 mg/l'den ortalama 0.32 mg/l'ye indirgenmiştir ( Tablo 5.1 ve Şekil 5.1). *N.officinale* 'nin atıksu arıtım verimliliği ile ilgili çalışmalara rastlanılamamıştır. Tablo 5.2'de sunulan değişik bitki türleri için verilen literatür bildirişleri ile bu çalışma sonucu *N.officinale* 'nin fosfor giderim uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak bitki taşıma ve hasat gibi mekanik etkenlere karşı çok hassas olup, çok kısa sürede ölmekte ve hızlı bir çürüme sürecine girmektedir. Bu durum bitkinin başka ortamlara adaptasyonunda zorluklar oluşturmaktadır. Ayrıca su kalitesi değişimlerine karşıda hassastır.

Kelkit Havzasının ekolojik özellikleri *N.officinale* 'nin kültürünün yapılması için uygunluk arzetmektedir. Bölgenin tarım ve hayvancılık ağırlığı *N.officinale* 'nin ikincil kullanımı içinde fırsatlar sunmaktadır, bitki çabuk gelişme gösteren ve bol yapraksı yapısı nedeniyle taze olarak hayvan yemi olarak tüketilebileceği gibi, kompost gübre yapımında da kullanılabilir fiziksel özellikler göstermektedir.

### 5.1.2. *Cladophora glomerata* 'de fosfor giderimi

Yeşil alglerden olan türün bağlı olduğu sınıf , hem deniz, hem de tatlı sularda yaşar. İpliksi biçimde dallanmıştır vücut yapıları vardır. Taşlar üzerinde rizoidal bir hücre ile tutunurlar [27].

*Cladophora glomerata* 'nın laboratuvar ortamında ortofosfat giderim verimliliği % 57 olup; ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir

( $R^2=0.98$ ). Ortofosfat deneme sürecinde 0.56 mg/l'den ortalama 0,24 mg/l'ye indirgenmiştir ( Bkz. Tablo 5.1 ve Şekil 5.1). *C. glomerata*'nın atıksu arıtım verimliliği ile ilgili çalışmalara rastlanılmamıştır. Tablo 5.2'de sunulan değişik bitki türleri için verilen literatür bildirişleri ile bu çalışma sonuçları *C.glomerata*'nın fosfor giderim uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Bitki taşıma ve hasat gibi mekanik etkenlere karşı oldukça dayanıklı olup, uzun sürede yaşamını sürdürmekte olması; bitkinin başka ortamlara adaptasyonunda kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca bitki su kalitesi değişimlerine karşıda dayanıklıdır ve her türlü kirli ortamlarda rastlanabilmektedir. Bitkinin ölümü sonucunda suyun yüzeyinde yağsı bir tabaka oluşmaktadır. Bu durum bitkinin hidrokarbon tutumunun söz konusu olabileceğini düşündürdüğünden; konuda araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Tür genellikle ılıman bölgeleri tercih etmekte bu açıdan da Aşağı Kelkit Havzası suları için uygunluk arz etmektedir. Hasat sonrası kompost gübre hazırlanmasında da kullanılabilir.

### 5.1.3. Lemna minor 'da fosfor giderimi

Küçük sumercimeği olarak isimlendirilen; 1.5-4 mm yapraksı gövdeleri olan su yüzeyinde yüzücü ve 0-1650 metreler arasında yayılım gösteren bir türdür [31].

*Lemna minor* 'de laboratuvar ortamında ortofosfat giderim verimliliği % 84 olup; ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.94$ ). Ortofosfat deneme sürecinde 0.56 mg/l'den ortalama 0,09 mg/l'ye indirgenmiştir (Bkz.Tablo 5.1 ve Şekil 5.1). *Lemna minor*'un atıksu arıtım verimliliği ile ilgili çok sayıda çalışmaya rastlanılmıştır (Bkz. Tablo 5.2). Tablo 5.2'de sunulan değişik bitki türleri ve *Lemna minor* için verilen literatür bildirişleri ile bu çalışma sonuçları *Lemna minor*'un fosfor giderim uygulamaları için son derece uygun bir tür olduğunu göstermektedir. Ancak bitki taşıma ve hasat gibi mekanik etkenlere karşı çok hassas olup, uygun olmayan koşullarda belirli süre sonra yaprakları beyazlaşmakta köksü yapıları kopmakta ve ölüm sürecine girmektedir. Bu durum bitkinin başka ortamlara adaptasyonunda zorlukları çıkarmaktadır.

Greenway and Wooley (1998); *Ceratophyllum* sp ve *Lemna* sp 'nin en fazla besin maddesi tutan bitkiler olduğunu ve fosfor konsantrasyonunun kök ve rizom bölgelerinde yoğunlaştığını; Fisher *et al.*, (1987) *L.minor*'un fosforda %20'nin üzerinde giderim yaptığını ve hasadının kolay olduğunu bildirmektedirler. *L.minor*'un fosfor giderimi ile ilgili ülkemizde yapılan çalışmalarda ise Zeren ve ark.(2001) % 3-78; Bayhan ve ark.(1996) % 27-63 ; Sarılioğlu, (2003) % 11- 90 arasında değişen arıtım verimi elde etmişlerdir (Tablo 5.2). Bahsedilen çalışmalar ile bu çalışma sonuçları arasında bir uyum söz konusu olup, arıtım verimliliği açısından *L.minor* en uygun tür olarak saptanmıştır.

*L.minor* 17 °C'de yaprak sayısı ve kapladığı yüzey bakımından dört günde ikiye katlanır ve hayvan yemi olarak kullanılabilir [8]. Optimum büyüme sıcaklığı 20-30°C dir ve 35-40 °C de ciddi olumsuz etkiler görülmeye başlar [42]. Bu açılardan değerlendirildiğinde Aşağı Kelkit Havzası sularının sıcaklık değişimleri *L.minor* 'un gelişimi için uygunluk arz etmektedir. Hasat sonrası bitki hayvan yemi ve kompost gübre hazırlanmasında da kullanılabilir.

#### 5.1.4. *Potamogeton pectinatus* 'da fosfor giderimi

Taraksı susümbülü olarak isimlendirilen bu tür, tatlı sularda, acı su lagünlerinde ve su birikintilerinde, 0-1600 m arasında dağılım gösterirler. Yaban hayatı için oldukça büyük önem arz ederler. Rizomlu veya kış tomurcukları bulunan, yaprakları suya batık veya su üstünde yüzücü olan çok yıllık otsulardır. Gövdeleri uzun ve esnektir. Yaprakların hepsi suya batık olup, rizomlu gövdesi en az 1 m kadardır [31].

*Potamogeton pectinatus* 'un laboratuvar ortamında ortofosfat giderim verimliliği % 50 olup; ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.99$ ). Ortofosfat deneme sürecinde 0.56 mg/l'den ortalama 0,28mg/l'ye indirgenmiştir (Bkz.Tablo 5.1 ve Şekil 5.1). *Potamogeton pectinatus* 'un atıksu arıtım verimliliği ile ilgili çalışmalara rastlanılamamıştır. Tablo 5.2'de sunulan değişik bitki türleri için verilen literatür bildirişleri ile bu çalışma sonuçları *Potamogeton pectinatus* 'un fosfor giderim uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Bitki taşıma ve hasat gibi mekanik etkenlere karşı oldukça dayanıklı



olup, uzun sürede yaşamını sürdürmekte olması; bitkinin başka ortamlara adaptasyonunda kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca bitki su kalitesi değişimlerine karşı da dayanıklıdır Tür genellikle ılıman bölgeleri tercih etmekte bu açıdanda Aşağı Kelkit Havzası suları için uygunluk arz etmektedir. Hasat sonrası kompost gübre hazırlanmasında ve hayvan yemi olarak değerlendirilmesi söz konusu olabilir.

#### 5.1.5. *Ceratophyllum demersum* 'da fosfor giderimi

Tilki kuyruğu olarak isimlendirilen türün gövdesi 15 cm'den uzun, yaprakları koyu yeşil ve 6-16 mm uzunlukta, 1-2 kez çatallı, sert yapıdadır. Su birikintileri, göl kenarları, su kanalları ve acı su lagünlerinde; 0-1600 metreler arasında dağılım gösterirler [31].

*Ceratophyllum demersum* 'un laboratuvar ortamında ortofosfat giderim verimliliği % 75 olup; ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi yüksek düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.98$ ). Ortofosfat deneme sürecinde 0.56 mg/l'den ortalama 0,14 mg/l'ye indirgenmiştir (Bkz.Tablo 5.1 ve Şekil 5.1). *C. demersum*'un ortofosfat arıtım verimliliği oldukça iyi düzeydedir. Greenway and Wooley (1998)'un bildirişleri de bu çalışmanın sonucunu destekler nitelikte olup, *Ceratophyllum sp.*, *Lemna sp.* ile birlikte arıtım verimliliği en yüksek iki türden birisi olarak rapor edilmiştir. Tablo 5.2'de sunulan değişik bitki türleri için verilen literatür bildirişleri ile bu çalışma sonuçları *C. demersum* 'un fosfor giderim uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir.

Bitki taşıma ve hasat gibi mekanik etkenlere karşı oldukça dayanıklı olup, uzun süre yaşamını sürdürmesi ve sürekli yeni sürgünler vermesi; bitkinin başka ortamlara adaptasyonunda kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca bitki su kalitesi değişimlerine karşı da dayanıklıdır. Ancak su sıcaklığının 20 °C'yi geçmesi ile büyümesi yavaşlamaktadır. *C. demersum* estetik görüntülü olup, akvaryumculukta kullanılabilir özelliklere sahiptir. Aşağı Kelkit Havzası suları türün ekolojik istekleri için uygunluk arz etmekte olması sebebiyle; havzada geniş yayılım göstermektedir.

### 5.1.6. *Myriophyllum spicatum* 'da fosfor giderimi

Başaklı sucivanperçemi olarak isimlendirilen gövde 40-300 cm ve kırmızımsı, yapraklar 1.5-2.7 cm dir. Göller, sulama kanalları yavaş akan derelerde, 0-2000 metreler arasında yayılım gösterirler [31].

*Myriophyllum spicatum* 'un laboratuvar ortamında ortofosfat giderim verimliliği % 48 olup; ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi düşük düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.1$ ). Ortofosfat deneme sürecinde 0.56 mg/l'den ortalama 0,29 mg/l'ye indirgenmiştir (Bkz.Tablo 5.1 ve Şekil 5.1). Ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi düşük düzeyde gerçekleşmesinin nedeninin ilk günü takiben oksijen değerlerinin 1.5 mg/l'ye kadar düşmesi ile ilgili olduğu sanılmaktadır.

*Myriophyllum spicatum*'un atıksu arıtım verimliliği ile ilgili çalışmalara rastlanılamamıştır. Tablo 5.2'de sunulan değişik bitki türleri için verilen literatür bildirişleri ile bu çalışma sonuçları *Myriophyllum spicatum*'un fosfor giderim uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Bitki taşıma ve hasat gibi mekanik etkenlere karşı oldukça dayanıklı olup, uzun süre yaşamını sürdürmesi; bitkinin başka ortamlara adaptasyonunda kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca bitki su kalitesi değişimlerine karşı da dayanıklıdır.

*Myriophyllum spicatum* estetik açıdan son derece güzel görüntülü ve kırmızımsı gövdeye sahip bir su bitkisi olup, akvaryumculukta kullanılabilir özelliklere sahiptir. Aşağı Kelkit Havzası suları türün ekolojik istekleri için uygunluk arz etmekte olması sebebiyle; havzada geniş yayılım göstermektedir.

Bitkinin ölümü sonucunda suyun yüzeyinde metalik yağı bir tabaka oluşmaktadır. Bu durum bitkinin hidrokarbon, ağır metal vb tutumunun söz konusu olabileceğini düşündürdüğünden; konuda araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Keskinan ve ark.(2003) *M.spicatum*'la ağır metal giderimi üzerine yaptıkları çalışmalarda olumlu sonuçlar almışlardır [9].

### 5.1.7. *Typha domingensis* ve *Typha angustifolia* 'da fosfor giderimi

Suluk daryapraklı hasırkamışı (*T. domingensis*) ve Dar yapraklı hasırkamışı (*T. angustifolia*) 200 cm'ye kadar boylanan sağlam yapılı otsu sucul türlerdir. Göl, dere ve sulama kanalları ve su içlerinde bataklıklarda, 0-1600 metreler arasında yayılım gösterirler [31].

*Typha domingensis* 'un laboratuvar ortamında ortofosfat giderim verimliliği % 52 olup; ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi anlamlı düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.86$ ). Ortofosfat deneme sürecinde 0.56 mg/l'den ortalama 0,27 mg/l'ye indirgenmiştir. *Typha angustifolia*'da ise ortofosfat giderim verimliliği % 18 olup; ortofosfat tutumunun zamansal ilişkisi anlamlı düzeyde gerçekleşmiştir ( $R^2=0.1$ ). Ortofosfat deneme sürecinde 0.56 mg/l'den ortalama 0,46 mg/l'ye indirgenmiştir. Bu durumun bitkinin ortofosfat tutumunun azalmasından ziyade; ilk günü takiben oksijen değerlerinin 3 mg/l'ye kadar düşmesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Bkz.Tablo 5.1 ve Şekil 5.1).

Laboratuvar koşullarında bir anormallik olmaması durumunda her iki *Typha* türünde de fosfor giderim verimliliği % 50'nin üzerinde gerçekleşebilecek bir yapı sergilemektedir. Bu durum çok sayıdaki çalışma ile de doğrulanmıştır. Evsel atıksulardan fosfor gideriminde *Typha* (kamış) spp ve *Phragmites* (saz) spp üzerine yapılan çalışmalarda; Özdemir ve Şengörür (2006) % 48 – 98 genel atıksu giderimi , Juwarkar *et al.*(1995) ise % 60 ortofosfat giderimi değerlerini elde etmişlerdir. Sonuçlar bu çalışma sonuçları ile uyum içindedir. Birçok çalışmada kamış ve saz türleri atıksu gideriminde sıkça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Bkz. Tablo 5.2).

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda sucul bitkilerin atıksudaki patojen mikroorganizmaları ve kirleticileri yok ettiği gözlenmiş, bu özelliğe sahip bir çok bitki incelenmiştir [4]. Bunların arasında özellikle etkili olanlar *Phragmites* ve *Typha* türleri olarak bilinen su saızı ve su kamışı türleridir. Bu bitkiler, geniş bir biomasa sahiptirler. Yaprak, gövde ve kök sistemleri vardır. Kök organları toprak bağlayabilen, topraktaki besin ve iyonları bünyesine alabilen geniş bir yüzey alanına sahiptir. Bitkideki damarlar, havayı yapraklardan kökler vasıtasıyla toprağa iletir [4].

*Typha spp* 'ler taşıma ve hasat gibi mekanik etkenlere karşı oldukça dayanıklı olup, uzun süre yaşamını sürdürmesi ve sürekli yeni sürgünler vermesi; bitkinin başka ortamlara adaptasyonunda kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca bitki su kalitesi değişimlerine karşı da dayanıklıdır. Türler çeşitli şekillerde (hasır, sepet, güneşlik, süs eşyası vb) ekonomik açıdan da değerlendirilebilmektedir. Ayrıca başta su kuşları olmak üzere birçok canlı türünü barındırdıklarından biyolojik çeşitlilik açısından da ekolojik önemleri vardır. Aşağı Kelkit Havzası suları bu türlerin ekolojik istekleri için uygunluk arzeden irili ufaklı çok sayıda sulak alanı bünyesinde bulundurduğundan; kamış ve saz türleri havzada geniş yayılım göstermektedir.

## 5.2. Çalışılan Sulak Alanda Fosfor Giderimi

Çalışmanın yapıldığı sulak alan; evsel atıklarla kısmen kirletilmiş, giriş ve çıkış suyu debisi yaklaşık 25 litre/sn olan, 850 m<sup>2</sup> (10 m x 85 m)'lik, 320 m rakımlı Niksar ovasındaki tipik bir sucul ekosistemdir (Bkz.Ek). Sistemde hakim tür *Typha domingensis* olup m<sup>2</sup>'ye 40-45 adet düşmektedir. *Typha domingensis* müsaade ettiği ortamlarda diğer türlere de rastlanmaktadır. Söz konusu sulak alan ekosistemi için *Typha domingensis* komminitesi isimlendirmesi yapmak mümkündür.

Dünyanın birçok yerinde yapay ve doğal sulak alanlar atıksulardan besi maddeleri gideriminde değerlendirilmektedir (Bkz.Tablo 5.4). Çalışma bölgesi doğal bir sulak alan olup; çalışmada fosfor gideriminin takibi için ortafosfat ölçümleri ile temel su kalite parametreleri izlenmiştir (Bkz.Tablo 5.3 ; Şekil 5.2). Sucul sistemlerde fosfor, bu sistemlerde mevcut olan çok yönlü ve karmaşık kimyasal ve biyokimyasal dengelerin anahtar elemanlarından biridir. Sularda fosfor çeşitli fosfat türleri şeklinde bulunur ve gerek doğal su ortamlarında, gerekse de su ve atıksu arıtımında gerçekleşen birçok reaksiyona girer. Canlı protoplazmanın kuru ağırlık olarak yaklaşık % 2' sini fosfor oluşturur. Bu nedenle fosfor, özellikle fotosentezle üretim yapan ototrof canlıların büyümelerini sınırlayıcı bir etkiye sahiptir. Ortofosfat ise yüzey sularında fosforun baskın olarak bulunan formudur. Fosforun bu formu sulak alan bitkilerinde ve toprakta biyolojik alım ve kimyasal bağlar ile akumule olur. pH'sı düşük olan sulak alanlarda demir ve alüminyum fosfat mineralleri oluşurken, yüksek pH'lı sulak alanlarda kalsiyum fosfat mineralleri oluşur. Bu durum sulak

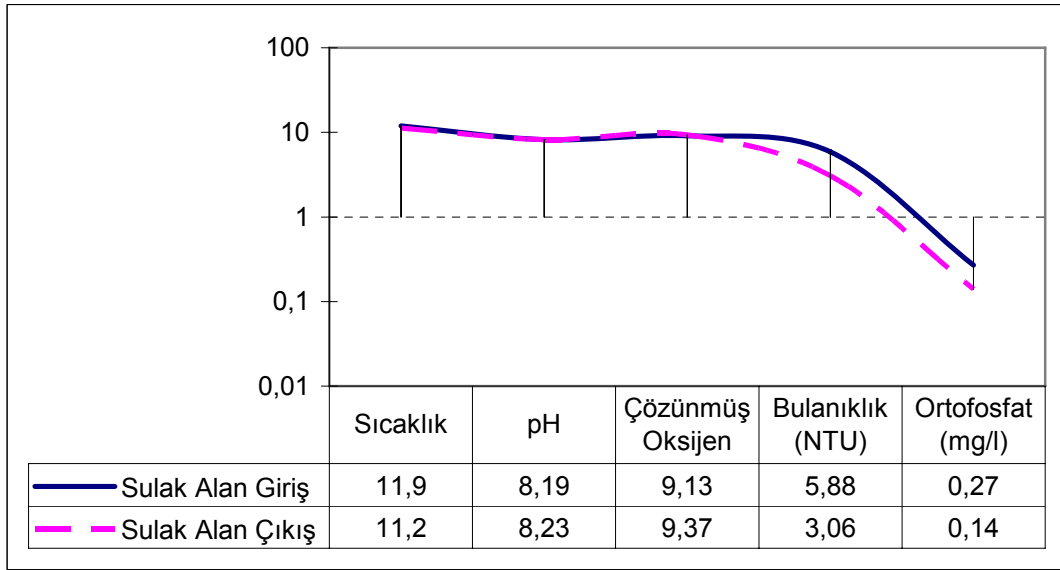
alanlarda temel fosfor giderim mekanizmasıdır [21]. Aşırı fosfor yüzey sularında ötrofikasyona neden olmaktadır. Evsel atıksular; sentetik deterjanlar ve organik madde, bünyesinde bulunan fosfatlar nedeniyle önemli miktarda fosfor içermektedir [44].

Gachter et al.(1991); fosforun biyotik ve abiyotik prosesler ile giderildiğini, biyotik proseslerin kök bölgesindeki mikroskobik canlılarca ve vejetasyon ile tutulduğunu, bitki artıklarının ve topraktaki organik fosforun mineralizasyonu gerçekleştiğini, Caraco et al.(1991) ise abiyotik proseslerin; sedimantasyon ve birikim, adsorbsiyon ve çökeltme ile toprak ve su kolonu arasındaki prosesleri kapsadığını ve fosfor uzaklaştırmada en önemli faktör atıksuyun toprakla olan temas süresi olduğunu; Richardson et al., (1985); fosfor gideriminin atıksudaki fosforun dolgu maddelerindeki Al, Fe,  $Ca^{+2}$  ve kil mineralleriyle adsorbsiyonu ve kompleks oluşumu ile olduğunu  $PO_4$ -P iyonu aynı zamanda çökeltme prosesi ile Fe, Al ve Ca-fosfatlar şeklinde çöktürülerek giderildiğini belirtmektedirler [4].

Fosfor giderim oranı, atıksu özelliklerine, sucul bitki tipine, hasat sıklığına ve iklime bağlı olarak, sahaya özeldir. Tipik giderim oranı % 30-50 arasında değişir [11]. Bu çalışma sonucunda sulak alan giriş ve çıkış suyunun ortofosfat ölçümlerinde ortofosfatın % 48 oranında giderildiği saptanmıştır. Aynı zamanda söz konusu sulak alan suyunun bulanıklığını da % 48 oranında azalmıştır. Sıcaklık (11 °C civarı), pH (8 civarı), ç.oksijen (9 mg/l), e.iletkenlik (930  $\mu$ S/cm) ölçümlerinde kayda değer bir değişime rastlanmamıştır (Tablo 5.3 ve Şekil 5.2).

Tablo 5.3. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri ortalama değerleri

Ölçüm Parametreleri	Sulak Alan Giriş	Sulak Alan Çıkış	Aritım Verimi (%)
Sıcaklık	11,9	11,2	-
pH	8,19	8,23	-
Çözünmüş Oksijen (mg/l)	9,13	9,37	-
Elektriksel İletkenlik ( $\mu$ S/cm)	939	932	0,07
Bulanıklık (NTU)	5,88	3,06	48
Ortofosfat (mg/l)	0,27	0,14	48



Şekil 5.2. Çalışılan sulak alanda giriş ve çıkış suyu kalite parametreleri dağılımı (ortalama değerler)

Çeşitli sulak alanların fosfor giderimleri ile yapılan çalışmalarda; Börner (1992) % 47, Schierup (1990) % 32, Knight (1992) % 55, Juwarkar *et al.*(1995) % 60 (ortofosfat) Herskowitz (1986) % 2,5–20 arasında değişen arıtım değerlerine ulaşılmıştır (Bkz.Tablo 5.4). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile literatür bildirişlerinde bir uyum söz konusudur.

Tablo 5.4. Arıtım amaçlı kullanılan sulak alanlar ve kullanım şekilleri

Sulak Alan/Tür	Fosfor Giderimi	Bölge	Kaynaklar*
268 yapay sulak alan	% 47	Avrupa	Börner, 1992
	% 32	Danimarka	Schierup, 1990
Alberta Gölü	% 55 , çıkış suyu 1,9 mg/l	K. Amerika	Knight, 1992
Yapay sulak/ <i>Typha latifolia</i> <i>Phragmites carca</i>	% 60 (ortofosfat) 15 mg/l'den 9 mg/l'ye	Hindistan	Juwarkar <i>et al.</i> , 1995
Yapay sulak alan/	%2,5 - 20		Herskowitz, 1986
Yapay sulak alan/ <i>Lemna minor</i>	% 20 üzeri		
<i>Salvinia natans/sulakalan</i>	% 45-58 (ortofosfat) 12±2 mg/l'den 4.2-5.5 mg/l'ye	Adana /Türkiye	Bayhan ve ark., 1996.
<i>Salvinia natans/laboratuvar</i>	% 28-34 (ortofosfat) 2.2-4 mg/l'den 1.45-2.9 mg/l		
<i>Lemna minor/sulakalan</i>	% 50-63 (ortofosfat) 12±2 mg/l'den 3,7-5 mg/l'ye		
<i>Lemna minor/laboratuvar</i>	% 27-55(ortofosfat) 4 mg/l'den 1.8-2.9 mg/l'ye		
Yapay sulakalan / 1000 adet	% 20-70	Türkiye	Anonim, 2003
Yapay sulakalan / <i>Lemna minor</i>	% 11-12 mevsimlere göre % 20-90	Türkiye	Sarialioğlu, 2003
<i>Iris sp ve Cyperus sp</i>	% 39-90 (ortofosfat)	Türkiye	Ayaz ve Akça, 2001
<i>Lemna minor</i>	% 3-12 (laboratuvar) % 38-78 (yapay sulakalan)	Türkiye	Zeren ve ark., 2001
Doğal sulak alan	% 48 (ortofosfat) 0,27 mg/l den 0,14 mg/l'ye	Bu çalışma: Aşağı Kelkit Havzasını temsilen, Niksar Ovası sulak alanları	
<i>Nasturtium officinale</i>	% 43 - 0,56 mg/l den 0,32 mg/l'ye	Laboratuvar ortamında	
<i>Potamogeton pectinatus</i>	% 50 - 0,56 mg/l den 0,28 mg/l'ye		
<i>Myriophyllum spicatum</i>	% 48 - 0,56 mg/l den 0,29 mg/l'ye		
<i>Ceratophyllum demersum</i>	% 75 - 0,56 mg/l den 0,14 mg/l'ye		
<i>Cladophora glomerata</i>	% 57 - 0,56 mg/l den 0,24 mg/l'ye		
<i>Typha angustifolia</i>	% 18 - 0,56 mg/l den 0,46 mg/l'ye		
<i>Typha domingensis</i>	% 52 - 0,56 mg/l den 0,27 mg/l'ye		
<i>Lemna minor</i>	% 84 - 0,56 mg/l den 0,09 mg/l'ye		

\*(Ayaz ve Akça (2001); Yılmaz(2003); Anonim(2003); Bayhan ve ark.(1996) ve Fisher et al.(1987)'a göre düzenlenmiştir)

Tablo 5.5. Çeşitli sulardaki tipik fosfor derişimleri [21].

Sucul sistem	Toplam fosfor (mg/l)	Mevcut çözünmüş ortofosfat (%)
Evsel atıksular	5-20	15-35
İkinci derece arıtım çıkış suyu	3-10	50-90
Tarımsal drenaj	0.05-1.0	15-50
Kirlenmemiş göller	0.01-0.04	10-30
Ötrofik göller	0.03-1.5	5-20
Akarsular	0.01-1.0	

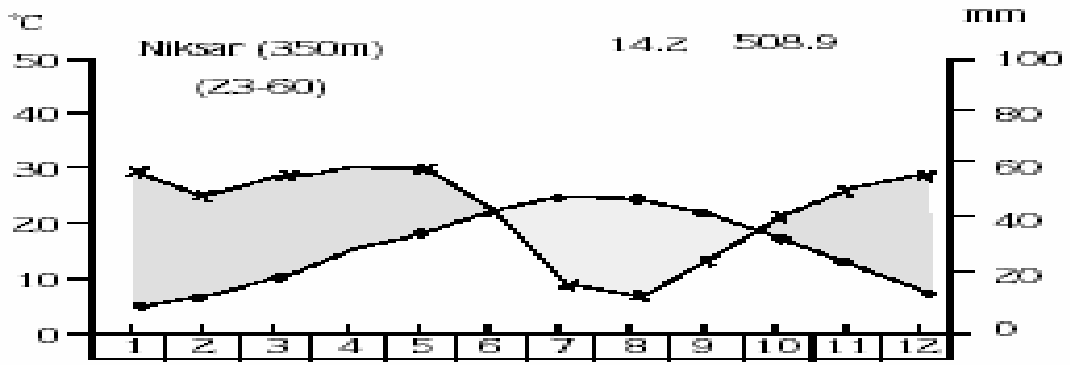
Tablo 5.5’de gösterilen ortofosfat değerleri ile çalışma sonuçları karşılaştırıldığında çalışılan sulak alanın; tipik tarımsal drenaj alanı ortofosfat değerleri sınırları içerisinde değerlendirilebileceği, keza sulak alanın yakın çevresinde yoğun tarımsal faaliyetler söz konusudur.

Göller, göletler, bataklıklar ve baraj haznelerinin ötrofikasyon kontrolü sınır değerlerine göre toplam fosfor 0.1 mg/l’yi geçmemelidir (SKKY, 1988). Bu açıdan değerlendirildiğinde ise çalışılan sulak alanın hem giriş hemde çıkış suyu (0.27-0.14 mg/l) ortofosfat değerleri ötrofikasyon sınır değerlerine yakındır. Ancak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 1988) ortofosfat değerlerine göre (kıta içi sular I.sınıf 0.02 mg/l, II.sınıf 0.16 mg/l, III.sınıf 0.65 mg/l ve IV.sınıf 0.65 mg/l’nin üzeri); çalışılan sulakalanının giriş suyu III.sınıf iken; çıkış suyu II.sınıf su kalite kriterlerini yakalamaktadır.

Ulusal kriterler ve karşılaştırılan çalışma sonuçlarına göre çalışmanın gerçekleştirildiği sulak alanda fosfor giderimi meydana gelmektedir. Fosfor giderim oranı, atıksu özelliklerine, sucul bitki tipine, hasat sıklığına ve iklime bağlı olarak, sahaya özeldir [11]. Su bitkisi içeren bir sistemin besin maddesi giderim etkinliği, kullanılan su bitkisinin tipine, bitkinin büyüme hızına, suyun besin maddesi içeriğine ve sudaki fizikokimyasal arıtma bağlıdır[8]. Yüzen su bitkilerinin ancak uygun iklim şartları altında verimli bir arıtma sağladığını[43], Richardson ve ark. (1984) ise bu bitkilerin düşük sıcaklıklara toleranslarının olmayışından dolayı, bunların atıksu arıtım maksatlı kullanımlarının sıcak bölgeler ile sınırlı kaldığını bildirmektedir. Akdeniz iklim kuşağı gibi ılıman iklim yaşanan alanlarında evsel atıksu problemlerinin çözüm alternatiflerinden biri olarak doğal arıtma sistemleri dikkate alınmalıdır [47].

Kelkit Havzasının iklimi üzerine; jeomorfolojisi, topoğrafik ve coğrafik yapısı etkili olmaktadır. Vadinin alt seviyelerinden 850-900 m’ye kadar Akdeniz iklimi görülürken üst seviyelerinde bu etki azalmakta ve oseyanik iklim karakteri kazanmaktadır (Bkz.Şekil 5.3). Bölgenin bitki örtüsü de bunu desteklemektedir [16].





Şekil 5.3. Aşağı Kelkit Havzasını temsilen Niksar bölgesinin uzun yıllar iklimsel değişimleri [45].

İklimsel ve ekolojik özellikleri dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında; Aşağı Kelkit Havzası sulak alanlarını temsilen belirlenen ve çalışılan sulak alan, havzanın diğer doğal sulak alanları ve havzada oluşturulabilecek yapay sulak alanlar fosfor giderim çalışmalarında yararlanılabilir.

İnşaatı ve işletme maliyeti düşük, doğal mekanizma ile çalışan ve evsel atıksu gibi besi maddesi açısından zengin ortamlarda organik yükün büyük oranda bitki biyokütlesine dönüşümü esasına dayanan doğal arıtma sistemleri ülkemizde evsel atıksu problemlerinin çözüm alternatiflerindedir. Doğal arıtmalar Türkiye'nin içinde bulunmuş olduğu gerçeklerle bağdaşan uygun bir arıtma sistemi olarak görülmektedir. Sistemin uygulanması halinde, yeraltı suyu kirlenmesinin önüne geçileceği gibi, arıtım sonrası çıkış suyu da büyük oranda gübre ihtiyacını karşılayacak şekilde, tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilir. Bütün bunların yanında sulak alanlardan hasat edilen bitkinin hayvan yemi olarak kullanılma imkanının ile kurulması halinde bir biyogaz ünitesinin hammadde kaynağını oluşturma durumu da söz konusu olabilmektedir [8]. Doğal arıtma sistemlerinin yapım işletim maliyetlerinin düşük olması, mekanik ekipmana ve kimyasal maddeye ihtiyaç duyulmaması, besin maddelerince zengin evsel atıksudaki organik yükün, bitki biyokütlesine çevrilmesi nedeniyle hayvan yemi ve biyogaz üretiminde faydalanabilmektedir [46].

Bu açılarından bakıldığında da, bölgenin geri kalmışlığı, gelişmişlik durumu, yerleşim nüfusları, doğal yapısının ciddi tahribatlar yaşamamış olması, tarım ve hayvancılığın

temel geçim kaynakları olması gibi nedenlerden dolayıda; Kelkit Havzası yerleşimlerinin evsel atık sularının gideriminde doğal ve yapay sulak alanlardan yararlanılması daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

Aşağı Kelkit Havzası sucul bitkileri ile gerek laboratuvar ortamında gerekse sulak alanda elde edilen sonuçlar ışığında; evsel ve tarımsal atıksuların fosfor giderimlerinde, bölge sulak alanlarından ve bu ortamdaki sucul bitkilerden verimli bir şekilde yararlanılmasının mümkün olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu kapsamda; aşağıda hususların, avantajları ve gerekleri dikkate alınarak;

- Kelkit Havzası ekosisteminin ciddi tahribatlar yaşamamış olması,
- Havzanın yumuşak iklimi ve ekolojik özellikleri,
- Doğal sulak alan bolluğu ve çeşitliliği,
- Her dönem için uygun vejetatif gelişme yapabilecek sucul bitki çeşitliliği,
- Yerleşimlerin küçük ve nüfus yoğunluğunun az olması,
- Havzanın tarım ve hayvancılık bölgesi olması,
- Hayvancılık için alternatif yem kaynaklarına ihtiyaç duyulması,
- Hayvansal atıksularında da arıtıma gerek duyulması,
- Doğal arıtma sistemlerinden hasat edilebilecek bitki biyokütlesinin alternatif yem kaynağı veya kompost gübre olarak değerlendirilebilmesi,
- Bölge yerleşkelerinin ekonomik durumları nedeniyle atıksu arıtımında ucuz ve kolay işletilebilir yöntemlere ihtiyaç duyması,

Aşağı Kelkit Havzasının atıksularının gideriminde öncelikle mevcut doğal sulak alanlardan yararlanılabilecek şekilde veya yapay sulak alanlar oluşturularak; doğal arıtma sistemlerinin tercih edilmesi faydalı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Çepel, N., Ergün, C., Suyun Önemi ve Ekolojik Sorunları, 2003.
- [2] <http://www.dsi.gov.tr/>
- [3] POSTEL, S., Vickers, A., Dünyanın Durumu, Su Verimliliğini Artırmak, TEMA Vakfı Yayınları, 2004.
- [4] YILMAZ, C., Sucul Bitkilerle Su Kalitesi Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2003.
- [5] POSTEL, S., Dünyanın Durumu, Susuzluk Sorunu, TEMA Vakfı Yayınları, 1993.
- [6] ŞAKAR, S., Karpuzcu, M. ve Bayhan, H., Besi maddelerinin (N ve P) alg büyümesi üzerine etkileri, Çevre '89, S:240-249, Adana, 1989.
- [7] BAYHAN, H., Yüzen Su Bitkilerinden *Salvinia natans* (L) All. ve *Lemna minor* (L) İçeren Arıtma Sistemlerinin Besi Maddesi Giderimindeki Etkinliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, 1995.
- [8] BAYHAN, H., Akça, L., Altay, A. ve Şakar, S., Yüzen Su Bitkileri ile Atıksulardan Nutrient Giderimi, Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, S: 589- 598, Mersin, 13-15 Mayıs 1996.
- [9] GÜNEŞ, K., Evsel Atıksuların Tarıma Geri Dönüşümünü Gerçekleştirebilecek Doğal Arıtma Teknolojilerinin Türkiye Şartlarında Denenmesi ve Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [10] ZEREN, O., Uysal, Y., Arslan, H., Avcı, E.D., Yalvaç, M., Bitkilerle Atıksu Arıtımının Ekolojik Tarımdaki Önemi, Türkiye 2. Ekolojik Tarım Sempozyumu, S: 201-208, Antalya, 14-16 Kasım 2001.

- [11] SARIALIOĞLU, B., Köklü ve Yüzen Bitkiler İçeren Doğal Arıtma Sistemleri ile Evsel Atıksulardan KOİ ve AKM Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [12] AYDIN, O., Aydın,Ö., Özyurt, K. ve Polat, B., Tokat-Kazova Yöresinde Doğal Arıtma Sisteminde Kullanılabilecek Farklı Bitki Türlerinin Arıtma Verimi Üzerine Etkilerinin Ve Kullanılacak En Uygun Bitki Türünün Belirlenmesi, Köy Hizmetleri Projesi, Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tokat, 2005.
- [13] ÖZDEMİR, S., Şengörür, B., Performance of a constructed wetland system for the treatment of domestic wastewater, Fresenius Environmental Bulletin, Vol 15, No 3, p 242-244, 2006.
- [14] <http://www.dpt.gov.tr/bgyu/seg/ilce2003.html>
- [15] DOĞAN, H.M., Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Laboratuvarı, 2005.
- [16] KARAER, F., Kelkit Vadisinin Florası ve Vejetasyonu, 19 Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1994.
- [17] <http://www.osbuk.org/Atiksu/Bolum01.pdf>
- [18] ARCEİVALA, S.J., Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Çeviri: V. Balman, Tata- Mc Graw Hill Publishing, 2002.
- [19] Metcalf&Eddy, Wastewater Treatment, Disposal and Resuse, Mc Graw Hill Publishing, 2000-2004.
- [20] SPONZA, D. ve Atalay, H., Turistik kıyı bölgelerinde ötrofikasyon ve birincil üretime etkisi, IV. Ulusal Ekonomi ve Çevre Kongresi, S: 353-361, 2001.
- [21] USLU, O., Türkman, A., Su Kirliliği ve Kontrolü, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları, Eğitim Dizisi 1, 1987.
- [22] KOÇER, M.A.T, Sularda Fosfor, Eğitim Semineri, Elazığ Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü, Elazığ, 2005.
- [23] <http://www.ramsar.org/index.html>
- [24] ÖZEMİSİ, U. ve Özemi, S., Sulak Alanlar, Yeşil Atlas, Yayın No: 01, 2001.

- [25] RULKENS, W.H., Tichy, R., Grotenhuis, J.T.C., Remediation of Polluted Soil and Sediment: Perspectives and Failures. Water Sci. Technol. 37, 27-35, 1998.
- [26] ZAIMOĞLU, Z., Salıcı, Ç.A., Kekeç, S., Sucu, Y.M. ve Erdoğan, R., Yer altı Suyu Kirliliğinin Giderilmesinde Yeni ve Yeşil Bir Yöntem: PHYTOREMEDIATION, I. Yeraltı suları ulusal sempozyumu, S:185-194, Konya, 23-24 Aralık, 2004.
- [27] GÜNER, H. ve Aysel, V., Tohumuz Bitkiler Sistematiği, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları No:116, 244 s, Bornova/İzmir, 1989
- [28] ALTUNER, Z., Sistematik Botanik, 202 s. Aktif Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [29] BAYDAR, S., Tohumuz Bitkiler Sistematiği, Atatürk Üniversitesi, Yayın No: 553, Fen Fakültesi Yayın No: 79, Ders Kitapları serisi: 16, Atatürk Üniversitesi Yayınevi, Erzurum, 1979.
- [30] <http://www.vis-pc.plantbio.ohiou.edu/algaeimage>
- [31] SEÇMEN, Ö. ve Leblebici E., Türkiye Sulak Alan Bitkileri ve Bitki Örtüsü, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları No:158, 815 s, Bornova/İzmir, 1997.
- [32] <http://www.swcoloradowildflowers.com>
- [33] <http://www.plants.ifas.ufl.edu/potspp.html>
- [34] <http://www.fcps.k12.va.us/StratfordLandingES/Ecology/mpages>
- [35] <http://www.aquat1.ifas.ufl.edu/seagrant/myrspi2.html>
- [36] <http://www.aquat1.ifas.ufl.edu/cedepic.html>
- [37] <http://www.rook.org/earl/bwca/nature/aquatics/typhaan.html>
- [38] <http://www.laspilatas.com/plants/603.htm> typha domingensis
- [39] BROWN, L.R., Eko-Ekonomi, Stres Belirtileri, İklim ve Su, TEMA Vakfı Yayınları, 2003.
- [40] <http://www.vis-pc.plantbio.ohiou.edu/algaeimage>

- [41] POSTEL, S., Dünyanın Durumu, Sürdürülebilir Bir Su Stratejisi Yaratmak, TEMA Vakfı Yayınları, 1996.
- [42] REED, S.C., R.W. Crites, E.J. Middlebrooks, "Natural Systems for Waste Management and Treatment - Second Edition, McGraw Hill Book Co., New York, 1995.
- [43] HAUSSER, J. R. (1984): Use of Water Hyacinth Aquatic Systems for Ammonia Control and Effluent Polishing, J. Water Pollut. Control Fed., 56, 219.
- [44] <http://www.ins.itu.edu.tr/cevre/labor/dokuman>
- [45] KARAER, F., Kılınc, M., Kutbay, H.G. The Woody Vegetation of the Kelkit Valley, Tr. J. of Botany, 23 (1999) 319-344.
- [46] ORON, G., De-vegent, A., Porath, D., The Role of the Operation Regime In Wastewater Treatment With Duckweed, Water Science and Technology, 19, 97- 105, 1987.
- [47] RICHARDSON, D.,L., Daigger, G., T., Aquaculture, The Hercules Experience, J., of Environ. Engr., Proc. Am. Soc. of Civil Engrs., 1984.

EK: Aşağı Kelkit Havzası sulak alanları, laboratuvar ve arazi çalışmalarından görüntüler



## ÖZGEÇMİŞ

Saliha DİRİM 14.01.1983 Tokat Niksar doğumludur. 1995/99 tarihleri arasında Niksar Danişmend Gazi Lisesi'nde öğrenimini tamamladıktan sonra Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazanmıştır. 2000/2004 tarihleri arasında Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

İş Deneyimleri: Novo cut CAD sistem eğitmenliği - Keçoğlu Makine 2004/2005 - İstanbul, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Kelkit Havzası Araştırmalar Merkezi - Uzman (Çevre Mühendisi).