

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

S.Ü.KAMPÜSÜ ATIKSULARININ EKİLMİŞ SULAK ALANDA
***MISCANTHUS X GIGANTEUS* İLE ARITIMI**
VE
BİTKİNİN HASAT SONRASINDA ADSORBAN ÖZELLİĞİ

ÖMER ÖZEN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI
KONYA© 2006

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**S.Ü.KAMPÜSÜ ATIKSULARININ EKİLMİŞ SULAK ALANDA
MISCANTHUS X GIGANTEUS İLE ARITIMI
VE
BİTKİNİN HASAT SONRASINDA ADSORBAN ÖZELLİĞİ**

ÖMER ÖZEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya© 2006

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**S.Ü.KAMPÜSÜ ATIKSULARININ EKİLMİŞ SULAK ALANDA
MISCANTHUS X GIGANTEUS İLE ARITIMI
VE
BİTKİNİN HASAT SONRASINDA ADSORBAN ÖZELLİĞİ**

Ömer ÖZEN

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Esra TARLAN

2006, 117 sayfa

Jüri: Yrd.Doç.Dr.Esra TARLAN

Prof.Dr.Ali BERKTAY

Doç.Dr.Mustafa ACAROĞLU

Bu çalışma, özellikle ülkemizde yeni uygulama alanı bulan atık su arıtımında ekilmiş sulak alan sistemlerinin farklı bir bitki ile pilot ölçekli uygulamasıdır. Çalışma 3 bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde, çalışmada kullanılan *Miscanthus Sinensis* bitkisi hakkında literatür taramasına yer verilmiş ve ekilmiş sulak alan uygulamalarının özellikleri, sınıflandırması, kullanılan bitki türleri, hasat edilen bitkinin farklı kullanım alanları anlatılmıştır. İkinci bölümde, pilot ölçekli sistem Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüsü'ne kurulmuş ve çalıştırılmıştır. Üçüncü bölümde ise, kurulan bu pilot ölçekli ekilmiş sulak alan sisteminin atık su arıtım düzeyi incelenmiş ve hasat edilen bitkinin kurutulup öğütülmüş yaprağının adsorban özelliği araştırılmıştır. 2005 yılı Nisan ayından

itibaren planlanan, kurulan ve 2006 Mayıs ayına kadar işletilen pilot ölçekli ekilmiş sulak alan sisteminin kararlı konuma ulaştıktan sonraki arıtma verimi takip edilmiş ve evsel nitelikli kampus atıksuyunun arıtımında % 71-99 KOİ, %97-99 Bulanıklık, %94-99 NH₃ ve %75-91 P giderim verimi elde edilmiştir.

Miscanthus X Giganteus bitkisinin yapraklarından elde edilen adsorban maddenin ağır metal adsorplayabildiği gözlenmiş, Pb, Ni, Cr, Zn, Cu, Fe ve Al metallerinden Al en yüksek kapasitede (0,268 meq/g) adsorplanırken, Pb en düşük kapasitede adsorplanmıştır(0,0128 meq/g). Metallerin sıvı ortamda bir arada bulunmaları durumunda aralarındaki rekabetli adsorplanma sıralamasını biraz değiştirmiş ve Al>Cr>Fe>Ni>Cu>Zn>Pb sırasında Al'un en başarılı (0,388 meq/g) adsorpsiyonu sağlamıştır. Freundlich izoterminin *Miscanthus X Giganteus* 'un metal adsorpsiyonunu karakterize ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtımı, Ekilmiş sulak alan sistemleri, *Miscanthus*, Konya.

ABSTRACT

Master's Thesis

***MISCANTHUS SINENSIS* IN CONSTRUCTED WETLAND
APPLICATIONS, AND ADSORPTIVE PROPERTIES
OF HARVESTED PLANT****Ömer ÖZEN**

Selcuk University

Institution of Natural and Applied Science

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assist.Prof.Dr.Esra TARLAN

2006, 117 pages

Jury: Assist.Prof.Dr.Esra TARLAN

Prof.Dr.Ali BERKTAY

Assoc.Prof.Dr.Mustafa ACAROĞLU

This study is a pilot application of constructed wetlands for treatment of domestic wastewater that the system has been begun to use in a short time ago in Turkiye. The study has been constituted from 3 sections: It has been given place to literature scanning about *Miscanthus* plant and classification properties of constructed wetland systems in the first section. Also it has been stated on different utilization area of harvested *Miscanthus* plant and has been discussed about the reasons why we use *Miscanthus* plant on treatment applications in the same section. In the second section, it has been told about installing and running the treatment system with *Miscanthus* plant in pilot scale at Selcuk University campus area. At the end of field study, treatment efficiency of constructed wetland system and the

adsorbent feature of harvested plant leaves of *Miscanthus* has been examined in the third section.

It has been followed the treatment efficiency of pilot constructed wetland system after it reached stable condition from April 2005 to May 2006. The performance results of campus wastewater treatment effluents were as follows; Turbidity: 97-99%, COD: 71-99, Phosphorus: 75-91% and ammonia: 94-99%. It has been seen that the adsorbent material, obtained from *Miscanthus X Giganteus* dried leaves, is able to adsorb heavy metals onto its body. The highest selectivity the material is to Al among the other metals, Pb, Ni, Cr, Zn, Cu, Fe, Al. It has been measured that in the system, the plant leaves adsorbed 0,268 meq/g Al element and 0,0128 meq/g Pb element. While the metals were in the same medium, the adsorbent ranking in competing a little bit changed as Al>Cr>Fe>Ni>Cu>Zn>Pb. The maximum adsorption capacity of Al element in this situation is measured as 0,388 meq/g. Also it has been seen that Freundlich isotherm characterized the *Miscanthus X Giganteus*'s metal adsorption.

Key Words: Wastewater Treatment, Constructed wetland systems, *Miscanthus*, Konya, metals

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında bilgilerini, yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Esra TARLAN'a ve çalışmada kullanılan *Miscanthus* bitkisinin temininden yetiştirilmesine kadar her aşamada bilgilerini, yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen Doç.Dr.Mustafa ACAROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Sistemin kurulmasında yardımlarını esirgemeyen kardeşim Recep ÖZEN'e, çalışmanın her aşamasında yanımda olan Adem ÇELİK'e, laboratuvar çalışmalarında yanımda olan Ömer PARLAK'a, Teknik Eğitim Fakültesi personellerinden Arş.Gör.Engin ÖZÇELİK'e, Arş.Gör.Mustafa TAŞYÜREK'e ve Hüseyin AKGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın hayata geçirilmesinde gayret ve desteği ile yanımda olan eşim Yeşim Hanımefendi'ye ve çocuklarım Rufeyde Nur ve Ahmet Huzeyfe'ye şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın şimdi ve gelecekte başka çalışmalara faydalı olması dileğiyle...

Ömer ÖZEN
Konya, 2006

Muhterem efendim;
Hacı Mustafa BOYRAZ'a
ithaf olunur.

İÇİNDEKİLER**SAYFA NO****ÖZET****ABSTRACT**

İÇİNDEKİLER	<i>i</i>
ŞEKİL LİSTESİ	<i>v</i>
TABLO LİSTESİ	<i>vi</i>
RESİM LİSTESİ	<i>vii</i>
EK-1 RESİM LİSTESİ	<i>viii</i>

I. GİRİŞ	1
I.1. Çalışmanın Amacı	3
II. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
II.1. Ekilmiş Sulak Alanlar	4
II.1.1 Ekilmiş sulak alanların avantajları ve dezavantajları.....	8
Avantajları.....	8
Dezavantajları.....	8
II.1.2. Ekilmiş sulak alanların sınıflandırılması.....	9
II.1.2.1. Yüzey akışlı sistemler.....	9
II.1.2.2. Yüzeyaltı akışlı sistemler.....	11
II.1.3. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış yapıları	12
II.1.4. Ekilmiş sulak alanların maliyet ve alan ihtiyacı.....	15
II.1.5. Ekilmiş sulak alanlarda kirlilik giderimi.....	15
II.1.5.1. Ekilmiş sulak alanlarda askıda katı madde giderimi.....	15
II.1.5.2. Ekilmiş sulak alanlarda BOİ giderimi	16
II.1.5.3. Ekilmiş sulak alanlarda azot giderimi	16
II.1.5.4. Ekilmiş sulak alanlarda fosfor giderimi.....	16

II.1.5.5. Ekilmiş sulak alanlarda patojen bakteriler.....	17
II.1.5.6. Ekilmiş sulak alanlarda toksinler.....	17
II.2. Ekilmiş Sulak Alanlarda Kullanılan Su Bitkileri	18
II.3. Ekilmiş Sulak Alanlarda Kullanılan Bitkilerinin Hasattan Sonra Kullanımı	19
II.3.1. Enerji bitkileri	20
II.4. Miscanthus Hakkında.....	22
II.4.1. <i>Miscanthus X Giganteus</i>	25
II.4.2. Hasat sonrası “ <i>Miscanthus</i> ”un alternatif kullanım alanları.....	26
II.4.2.1. Enerji elde etmede <i>Miscanthus</i> kullanımı.....	28
II.4.2.2. Selüloz-Kağıt üretiminde <i>Miscanthus</i> kullanımı.....	31
II.4.2.3. Yapı malzemelerinde <i>Miscanthus</i> kullanımı.....	32
II.4.2.4. Bioremediasyon ve <i>Miscanthus</i> kullanımı	34
II.4.2.5. Kompost yapımında <i>Miscanthus</i> kullanımı.....	35
II.4.2.6. Fermente ürünlerde <i>Miscanthus</i> kullanımı.....	35
II.4.2.7. Diğer alanlarda <i>Miscanthus</i> kullanımı.....	35
II.4.2.8. <i>Miscanthus</i> 'un arıtma üzerine çalışılması	36
II.5. Sulak Alanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları	37
II.5.1. Ekilmiş sulak alanlarda organik madde giderim mekanizması	37
II.5.1.1. Ekilmiş sulak alanlarda inorganik karbon.....	37
II.5.1.2. Ekilmiş sulak alanlarda organik karbon.....	38
II.5.1.3. Ekilmiş sulak alanlarda karbon çevrimi.....	39
II.5.2. Ekilmiş sulak alanlarda azot giderim mekanizması.....	41
II.5.2.1. Ekilmiş sulak alanlarda azot giderimi.....	41

II.5.2.1.1.Ekilmiş sulak alanlarda Azot Formları.....	42
II.5.2.1.2.Ekilmiş sulak alanlarda inorganik azot.....	43
Ekilmiş sulak alanlarda nitrit.....	44
Ekilmiş sulak alanlarda nitrat.....	44
Ekilmiş sulak alanlarda gaz ve atmosferik azot formları.....	44
II.5.2.1.3.Ekilmiş sulak alanlarda organik azot.....	45
Ekilmiş sulak alanlarda aminoasitler.....	45
Ekilmiş sulak alanlarda üre ve ürik asit.....	46
Ekilmiş sulak alanlarda pirimidinler ve pürinler.....	46
II.5.3. Ekilmiş sulak alanlarda fosfor giderim mekanizması.....	48
II.5.3.1. Ekilmiş sulak alanlarda fosforun su ortamındaki kimyası... ..	49
II.5.3.2. Ekilmiş sulak alanlarda fosforun bitkilerdeki kimyası.....	51
III. MATERYAL VE METOD.....	54
III.1. Pilot Ölçekli Ekilmiş Sulak Alan Sisteminin Planlanması.....	54
III.2. Ekilmiş Sulak Alan Sistemin Kurulması	55
III.3. Atık Su.....	62
III.4. Analiz Metodları.....	64
III.4.1. KOİ	65
III.4.2. Bulanıklık	66
III.4.3. Amaonyak	66
III.4.4. Nitrat	66
III.4.5. Fosfor	67
III.5. Adsorpsiyon çalışmaları	67
IV. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	71
IV.1. Arıtma Veriminin İncelenmesi	71
IV.1.1. KOİ	71
IV.1.2. Bulanıklık	72
IV.1.3. Amanoyak azotu	74
IV.1.4. Fosfor	75

IV.1.5. Nitrat azotu	77
IV.1.6. <i>Miscanthus</i> ile ekilmiş sulak alan uygulaması giriş ve performans değerlendirmesi	79
IV.2. Hasat edilen <i>Miscanthus</i>' un Ağır Metal Adsorpsiyonunda kullanılması	80
IV.2.1. Al adsorpsiyonu analizi	83
V. SONUÇLAR	86
ÖNERİLER	88
KAYNAKÇA	89
EK-1	95

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil II.1. Ekilmiş sulak alanlarda kirlilik giderim mekanizmaları ve gerçekleştikleri bölgeler	5
Şekil II.2. Yüzey akışlı sistemler	10
Şekil II.3. Yüzey akışlı sistemlerde yüzücü, batık ve köklü bitkiler	10
Şekil II.4. Yüzeyaltı akışlı sistemler	11
Şekil II.5. Ekilmiş sulak alan giriş yapısı örnekleri	13
Şekil II.6. Ekilmiş sulak alan çıkış yapısı örnekleri	14
Şekil II.7. Yapay sulak alanlarda kullanılan su bitkilerinden bazıları	18
Şekil II.8. “ <i>Miscanthus</i> ”un yıllık gelişim döngüsü	27
Şekil II.9. Donatı şeklinde <i>Miscanthus</i>	33
Şekil II.10. Sulak alanlarda karbon çevrimi	40
Şekil II.11. Sulak alanlarda azot çevrimi	47
Şekil II.12. Sulak alanlarda fosfor çevrimi	53
Şekil III.1. Ekilmiş sulak alan sisteminin şematik görüntüsü	54
Şekil III.2. Çözeltide tek başına Al metali varlığında kalibrasyon eğrisi	70
Şekil III.3. Karma metal çözeltisinde Al kalibrasyon eğrisi	70
Şekil IV.1. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış KOI değerleri	72
Şekil IV.2. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış Bulanıklık değerleri	73
Şekil IV.3. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış Amonyak-N değerleri	75
Şekil IV.4. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış Fosfor değerleri	76
Şekil IV.5. Nitrat-N’ un zamana göre değişimi	78
Şekil IV.6. Giderim verimlerinin karşılaştırılmalı gösterimi	79
Şekil IV.7. Tek başına metallerin zamana göre değişimleri	81
Şekil IV.8. Karma numunede metallerin zamana göre değişimleri	83
Şekil IV.9. Al Freundlich İzotermi	84
Şekil IV.10. Al Langmuir İzotermi	84
Şekil IV.11. Karma çözeltide Al Freundlich İzotermi	84
Şekil IV.12. Karma çözeltide Al Langmuir İzotermi	84

TABLO LİSTESİ

Tablo II.1. Doğal ve ekilmiş sulak alan sistemlerinin kronolojik gelişimi	7
Tablo II.2. Yüzey ve yüzeyaltı akışlı ekilmiş sulak alanların kıyaslaması	12
Tablo II.3. Endüstri ve enerji bitkilerinin üretimi ile elde edilen ürünlerden bazıları	20
Tablo II.4. Günümüzde tarımı yapılan veya üretim programlarına alınan enerji bitkilerinden bazıları	20
Tablo II.5. C ₃ ve C ₄ bitkilerinin bazı karakteristikleri	21
Tablo II.6. <i>Miscanthus</i> varyetelerine toplu bakış	23
Tablo II.7. <i>Miscanthus</i> 'un fiziksel ve kimyasal özellikleri	29
Tablo II.8. <i>Miscanthus</i> 'un yakıt özellikleri	30
Tablo II.9. Kraft yöntemi ile <i>Miscanthus</i> 'tan kağıt hamuru 'nun teknik özellikleri	31
Tablo II.10. <i>Miscanthus</i> fiber 'in fiziksel ve mekanik özellikleri	33
Tablo II.11. <i>Miscanthus</i> 'un ağır metal (uptake) alması	34
Tablo III.1. Ekilmiş sulak alan sistemlerinin tasarım parametreleri ve işletme özellikleri	56
Tablo III.2. S.Ü. Kampüs atıksuyu karakterizasyonu	62
Tablo III.3. S.Ü. Kampüs atıksuyu kompozisyonu	62
Tablo IV.1. KOI ölçüm değerleri	71
Tablo IV.2. Bulanıklık ölçüm değerleri	73
Tablo IV.3. Amonyak-N ölçüm değerleri	74
Tablo IV.4. Fosfor ölçüm değerleri	76
Tablo IV.5. Nitrat-N ölçüm değerleri	78
Tablo IV.6. Ekilmiş sulak alan performansı	79
Tablo IV.7. Tek başına zamana karşı numunede kalan metal konsantrasyonları	80
Tablo IV.8. Zamana karşı karma numunede kalan metal konsantrasyonları	82

RESİM LİSTESİ

Resim III.1. Sistemin ilk ekimi ve atık su verilmesi	55
Resim III.2. Yıkanmış 7-25 mm çakıl malzeme	57
Resim III.3. Sistem kurulumunda kömür eleme	57
Resim III.4. <i>Miscanthus</i> bitkisinin kök yapısı	58
Resim III.5. <i>Miscanthus</i> bitkisinin kök yapısından elde edilen rhizome kök	59
Resim III.6. <i>Miscanthus</i> köklerinin tüp ekimi	59
Resim III.7. Sisteme atıksu verilmesi	60
Resim III.8. Damlama sistemi	61

EK-1 RESİM LİSTESİ

Resim Ek-1.1. <i>Miscanthus</i> bitkisi	96
Resim Ek-1.2. Tüplerde rhizome çoğaltma	96
Resim Ek-1.3. Atıksu çekilen rogar	97
Resim Ek-1.4. Atıksu taşıma hortumu	97
Resim Ek-1.5. Çöktürme ünitesi	98
Resim Ek-1.6. İlk deneme yılı tankların görüntüsü	98
Resim Ek-1.7. İkinci yıl ilk ekim ve sisteme atıksu verilmesi	99
Resim Ek-1.8. Damlama sistemi	99
Resim Ek-1.9. Tankların ilk dikimde genel görüntüsü	100
Resim Ek-1.10. Üçüncü hafta tankların görüntüsü	100
Resim Ek-1.11. 4 haftalık bitki	101
Resim Ek-1.12. 6 haftalık bitki	101
Resim Ek-1.13. 6 haftalık tankların genel görüntüsü	102
Resim Ek-1.14. 12 haftalık tankların görüntüsü (damlama sistemleri kontrolü)	102
Resim Ek-1.15. Son hafta bitki görüntüsü	103
Resim Ek-2.16. Yüzeyde oluşan tabaka görüntüsü	103
Resim Ek-1.17. Çalışmanın tamamlandığında görüntüsü-1	104
Resim Ek-1.18. Çalışmanın tamamlandığında görüntüsü-2	104

I. GİRİŞ

Dünyanın içerisinde bulunduğu gelişim süreci, dünya ve bu dünyada bulunanlar için ciddi boyutlarda kirlenmeye maruz kaldığı 3.bin yılda, çevre kirlenmesinin tedbirleri hususunda yapılan araştırmaları hızlandırmıştır. Gelişim süreci içerisinde kaynakların hızlı tüketilmesi ve yenilenememesi göz önüne alındığında özellikle su sıkıntısı tehlikesi insanlığı yakın tarihlerden itibaren tehdit edecek düzeylere gelmiştir.

Yapılan çalışmalarda, tekrar kullanım ve geri kazanım önem kazanırken, mümkün olduğu kadar az enerji kullanımı ile en fazla arıtım veriminin elde edilmesi için çaba harcanmaktadır. Az enerji kullanımının düşünülmesi, doğal dengenin taklidi olan sistemlerin benzerlerinin inşa edilmesini gündeme getirmiş ve bu yönde çalışmalar yapmanın gerekliliği oluşmuştur.

Kirletilmiş suyu arıtmak için çok çeşitlilik gösteren bu teknolojilerin - en basit teknolojiden en ileri teknolojiye kadar - daha anlaşılır ifade ile, basit fosseptik çukurlarından ileri arıtmada deniz suyu arıtımında kullanılan membran filtrelere kadar örneklerine rastlanmaktadır.

Sağlıklı su temin edebilmek için planlanan su arıtma sistemlerinin ekonomik çözümlerinde mühendislik bilimi açısından, maliyeti, işletilmesi göz önüne alındığında en uygun arıtma sistemini seçerken, doğal ortama mümkün olan en az kirleticinin verilmesi hedeflenmektedir.

Ekilmiş sulak alanlar (diğer bir ifade ile yapay sulak alanlar) kamışsı türde su bitkileri, gözenekli bir taşıyıcı ortam ve farklı akış özelliklerindeki bileşenlerinden oluşan sistemlerdir. Suyun akış özellikleri, taşıyıcı ortam malzemesi ve yerleştirme şekli ve kullanılan bitki türlerinde alternatiflerin çokluğu ile ekilmiş sulak alan uygulamaları çeşitlenmektedir.

Atıksu arıtımı için ekilmiş sulak alanların kullanımı yeni bir fikir değildir. Zira, geçmişteki bir çok kültürler (Eski Çin ve Mısır gibi) atıklarını özümseme kapasitesi oldukça yüksek olan doğal bataklıklara ya da sulak alan bitkilerini içeren uzun ve dar kanallara vererek bertaraf etme yolunu denemişlerdir (Brix, 1994). Ancak, bu ortamların bir mühendislik sistemi gibi kullanılması suretiyle sulardaki organik ve inorganik kirleticilerin giderimini sağlamak için ilk pilot ölçekli sucul bitkilerle arıtım sistemlerinin deneysel çalışmaları 1950' li yıllarda Avrupa'da başlamış ve halen devam etmektedir.

1990 yılından beri her iki yılda bir dünyanın değişik merkezlerinde, 2000 yılında Florida'da, 2002 yılında Kenya'da bu konular için sempozyumlar düzenlenmiş, bilimsel platformlarda tartışılıp incelenmiştir. Öyle ki bu sistemlerin Amerika ve Avrupa ülkelerinde ileri seviyede uygulandığı, Florida bölgesinin tamamının bu sistemlerle donatıldığı, Norveç gibi soğuk bir ülkede bile bu yöntemin çok yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Akça, 2002).

Ekilmiş sulak alanların, atıksu arıtımında kullanılmasında temel ilke, hem bitkilerin hem de mikroorganizmaların birlikte büyümesidir. Klasik arıtma yöntemlerinde suyun kimyasal, fiziksel ve biyolojik olarak üç ayrı merhaleden geçmesi ve bunlar için ayrı bir tesis, ayrı bir sistem kurulması gerekmektedir. Ekilmiş sulak alan uygulamalarında ise bu üç işlem tek bir sistem halinde uygulanabilmektedir. Bu sistem içerisinde aerobik, anaerobik bakteriler, adsorpsiyon, sedimentasyon, buharlaşma ve bitkisel kullanım gibi arıtım kademeleri bir arada yer almaktadır.

Ekilmiş sulak alanlar, sadece atıksu da BOI, AKM, NH₃-N ve TP gibi parametreleri oldukça yüksek bir verimle gidermekle kalmayıp; çıkış suyunun özellikle tarımsal sulamada geri kullanımı, protein içeriği yüksek biyokütlelerden hayvan yemi yapılması, biyogaz üretiminde yararlanılması, çeşitli eşyaların yapımında kullanılması gibi ekonomik öneme sahip biyolojik sistemlerdir.

Özellikle Türkiye için uygulanabilir bir sistem olan ekilmiş sulak alan uygulamaları ile uygun koşullar sağlandığı takdirde düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetle nütrient, organik madde ve ağır metallerde yüksek giderim elde edilebilmektedir.

Ülkemizde de bu konuda İTÜ ve TÜBİTAK başta olmak üzere farklı çalışmalar görülmektedir. Haliç Bölgesi, GAP Bölgesi, Eğirdir Gölü, Afyon Bölgesi, İzmir Bölgesi, Şanlıurfa Bölgesi, İnegöl Bölgesi ekilmiş sulak alan projesini hayata geçirmiş veya geçirmekte olan yerlerdir. Özellikle ODTÜ Kampüsü'nde yapılan çalışmalar, Viranşehir Projesi, İSKİ Paşaköy Tesisleri de bu şekilde atıksu arıtımı uygulanan yerlerdendir.

I.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada ülkemizde çok fazla uygulama alanının olacağı düşünülen, ekilmiş sulak uygulamasının ve bölge iklim şartlarına uygunluğu, arıtma verimi ile bölgesel planda Konya ili için, *Miscanthus X Giganteus* bitkisinin uygunluğu ve hasat sonrası alternatif kullanım alanının özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Miscanthus X Giganteus , Güney Doğu Asya'dan yayılmış çok yıllık bitki olan, ülkemiz florasında bulunmamakla birlikte, 1993 yılında deneme amaçlı ülkemize getirilen, enerji bitkisidir. Bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampus alanı içerisinde, 2004 yılından itibaren demir saçtan yapılan iki adet tanka ekim yapılmış ve yine Kampus alanı içerisinde atıksu motoru ile çekilen atık suyun bu tanklara salınması ile arıtma verimi incelenmiştir.

Sunulan bu tez çalışması, konu ile ilgili literatür bilgilerinin ardından, hazırlanan sistemin detaylarını, deneysel bulgularını ve ulaşılan sonuçları içermektedir.

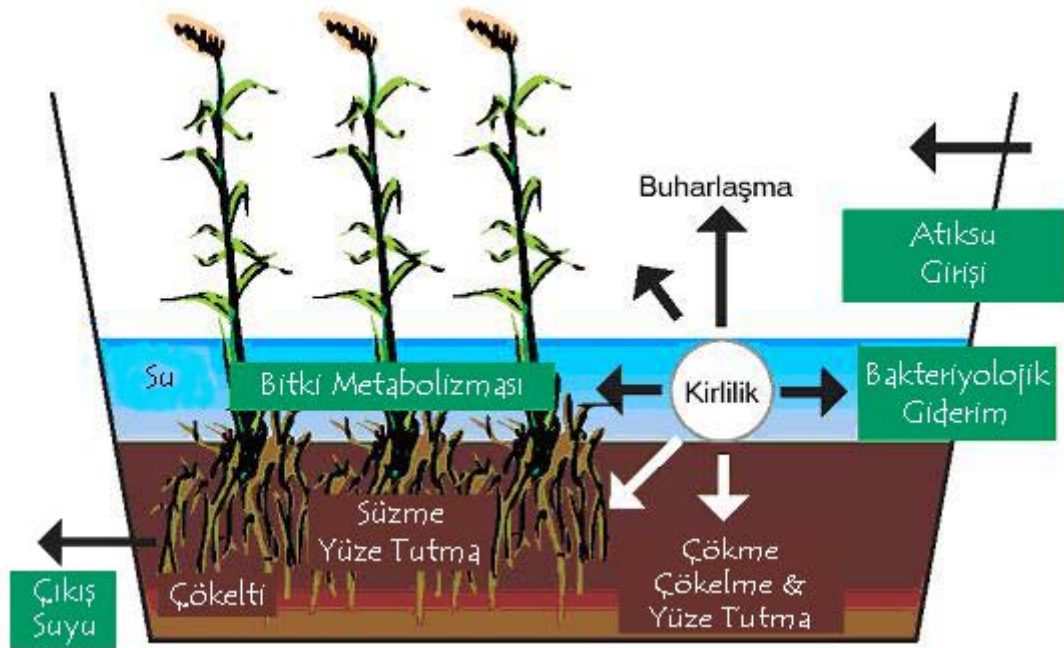
II. KAYNAK ARAŞTIRMASI

II.1. Ekilmiş Sulak Alanlar

Bu metod, ilk defa 1960 yılında Almanya'da Dr. K. Seidel tarafından geliştirilmiş ve 1995 yılına kadar başta Almanya, Danimarka ve İngiltere olmak üzere Avrupa'nın çeşitli yerlerinde 200'den fazla tesis yapılmıştır. Ayrıca, ABD'de de 200 civarında tesis çalışmaktadır. Dünyanın başka ülkelerinde de bu tip tesisler bulunmaktadır. Bu tesisler, nüfus yoğunluğunun düşük olduğu ve küçük debilerin yüksek standartlarda arıtılmasının gerektiği yerlerde uygun olmaktadır(Arceivala, 2002).

Danimarka, Almanya ve İngiltere'de yalnızca sızıntı sularını arıtmak için yaklaşık 200'er adet sulak alan mevcuttur(Brix, 1994). Günümüzde atıksu arıtımı için Ekilmiş sulak alanlar Avrupa'nın ve hatta kışları oldukça uzun ve sert geçen Norveç(Jenssen ve ark., 1994), Çek Cumhuriyeti(Vymazal, 1995) ve Orta Asya ülkelerinde(Magmedov ve ark., 1994) dahi mevcuttur. Sonuç itibarıyla ekilmiş sulak alanları Antartika hariç Dünyanın her bölgesinde görmek mümkündür.

Ekilmiş sulak alanlar, özel olarak tasarlanan yataklarda yetiştirilen bitkiler vasıtasıyla atıksu arıtımı esasına dayanan bir doğal arıtım yöntemidir. Sistem pahalı ekipmanlara ihtiyaç duymamaktadır(Kadlec ve Brix, 1995). Bu yöntem biyolojik, kimyasal ve fiziksel arıtım yöntemlerini içermektedir. Adsorpsiyon, bitki fotosentezi, köklerde yaşayan anaerobik bakteriler ve dolgu malzemelerinde yaşayan anaerobik bakteriler tarafından; nutrient, organik madde, ağır metal giderimi ve bakteriyolojik faaliyetler, bitki bünyesinde depolama, toprak filtrasyonu ve atmosferik faaliyetler sonucu gerçekleşmektedir(Şekil II.1).



Şekil II.1. Ekilmiş sulak alanlarda kirlilik giderim mekanizmaları ve gerçekleştikleri bölgeler (Wetlands International, 2003)

Şekil II.1’ de görüldüğü gibi, ekilmiş sulak alanlar su tablasının toprak seviyesinde ya da daha yukarısında (>0.6 m) olduğu suya bağımlı alanlardır. Ekilmiş sulak alanlar yapısı içerisindeki vejetasyon hem bakteri filmlerinin teması için bir temas yüzeyi oluştururlar hem de atıksudaki kirleticilerin filtrasyonunda ve adsorpsiyonunda rol oynarlar. Bitkilerin yapraklarıyla köklerine transfer ettikleri oksijen sayesinde köklerde ve yakın çevresinde çok yoğun bir mikrobiyolojik faaliyet gerçekleşmektedir. Çok geniş bir aralıkta aerobik ve fakültatif bakteri grupları bitki kökleri tarafından desteklenmektedir. Ekilmiş sulak alanlar alglerin büyümesi güneş ışığının girişinin engellenmesiyle kontrol altına tutulmaktadır (Qasım, 1999).

Doğal malzemeler kullanılarak ihtiyaç büyüklüğünde hazırlanan havuzlarda atıksuyun filtre edilmesi ve yetiştirilen sulak alan bitkileri ile suyun arıtılması esasına dayanan bu sistem, doğal yapının küçük taklitleridir. Sulak alanlar, ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendini yenileyebilme kapasitesine sahiptirler. Karmaşık sistemli arıtma tesislerinde özellikle kendini yenileyebilme imkanı mümkün olmamaktadır.

Organik maddeyi, askıda katı maddeyi, besinleri, toksik maddeleri, ağır metalleri ve biyolojik unsurları giderebilmesinden dolayı yüksek miktarda arıtım kapasitesine sahip, arıtma verimliliği ispatlanmış güvenilir sistemlerdir. Yapılan çalışmalara göre, farklı bitki türüne ve akış şekline sahip Ekilmiş sulak alanlarda evsel atıksu arıtımında, genel olarak, % 80-99 BOİ₅, KOİ ve Bakteri giderimi, % 92-95 AKM, % 30-80 Toplam Azot ve % 20-70 Toplam Fosfor giderimi elde edilmiştir (http://www.khgm.gov.tr/aritma_prj.htm).

Bu tip arıtmanın hangi şekilde uygulanacağı mevcut arazi durumu, iklim ve zemin şartları gibi durumlara bağlıdır. Ekilmiş sulak alanlarda hasat edilen bitkiler ve çıkış suyunun tekrar değerlendirilmesi ile ilgili olarak çok çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Kendi içinde ekolojik denge kuran sulak alan sistemleri oldukça üretkendir. Doğal kaynakların korunması, çevre ve insan sağlığı için kırsal bölgelerin gelecek dönemlerde vazgeçilmezlerinden biri olacağı düşünülmektedir.

Ekilmiş sulak alanlar ;

- Yerleşim birimlerinde septik tanklardan (veya imhoff tanklarından) gelen atıksuların arıtılması
- Yüksek deşarj standartlarını sağlamak amacıyla, havalandırılmalı lagunlarda veya konvansiyonel arıtma tesislerinde arıtılmış atıksulara üçüncü-derece arıtma sağlanması

amaçlarıyla da kullanılırlar. Ekilmiş sulak alanların su kalite yönetiminde tarihi süreç içindeki kronolojisi Tablo II.1'de gösterilmiştir.

Tablo II.1. Doğal ve ekilmiş sulak alan sistemlerinin kronolojik gelişimi
(Kadlec ve Knight, 1996)

Tarih	Yer	Açıklama
1952- 1970'lerin sonu	Plon, Almanya	Bulrush ile fenol giderimi ve günlük atıksu arıtımı,
1967-1972	Morehead Citiy, NC	Kanalizasyon çıkışının yapay sulak alan sistemiyle arıtılması üzerine yapılan çalışmalar,
1971-1975	Woodes Hole, MA	Doğal bataklıkları nutrient, ağır metal ve organik maddeleri giderme verimi,
1972-1977	Porter Ranch, MI	Kanalizasyon atıksularının doğal sulak alanda arıtımı,
1973-1974	Dulac, LA	Tatlı su bataklığına balık havuzu atık suyu deşarjı,
1973-1975	Seymor, WI	Su kamışı ile ekilmiş sulak alanda kirletici giderimi,
1973-1976	Brookhaven, NY	Çayır-sulak alan-lagün sistemleri,
1973-1977	Gainesville, FL	Sulak alanın kanalizasyon atıksuyunun geri kazanılmasında kullanılması için yapılan çalışmalar
1974-1975	Brillon, WI	Yapay ve doğal sulak alanlar
1974-1988	NSTL Station, MS	Yüzeyaltı akışlı sulak alanlarda kanalizasyon atıksuyunun geri kazanılması
1975-1977	Tenton, NJ	Tarımsal alanların arıtılmış atıksu ile sulanması
1976-1982	Southeast Florida	Doğal sulak alanda besi maddesi giderimi,
1972-1982	Arcada, CA	Kanalizasyon atıksularının arıtma sistemince arıtılması,
1979-1982	Humbolt, SK	Lagün ve sulak alan sisteminde evsel atıksuyun kesikli arıtımı,
1980-1984	Listavvel, Ontario	Kanalizasyon suyunun çeşitli işletme şartlarında arıtılması,
1981-1984	Santer, CA	Yüzeyaltı akışlı sulak alanlarda kanalizasyon suyunun arıtımı,

II.1.1. Ekilmiş sulak alanların avantajları ve dezavantajları

Avantajları

1. Uygulanmaları ve işletilmeleri kolaydır,
2. Diğer sistemlere kıyasla inşaat ve bakım maliyetleri daha azdır,
3. Enerji gereksinimi çok azdır veya hiç olmamaktadır,
4. Çamur oluşum miktarı düşüktür,
5. % 80-99 BOİ₅, KOİ ve Bakteri giderimi, % 92-95 AKM, % 30-80 Toplam Azot ve % 20-70 Toplam Fosfor giderimi sağlarlar,
6. Su kaynaklarının korunmasına yardımcı olurlar,
7. Flora ve faunayı destekleyerek biyoçeşitliliğe katkıda bulunurlar,
8. Hasat edilen bitkiler biyogaz, hayvan yemi ve gübre üretimi gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilirler.

Dezavantajları

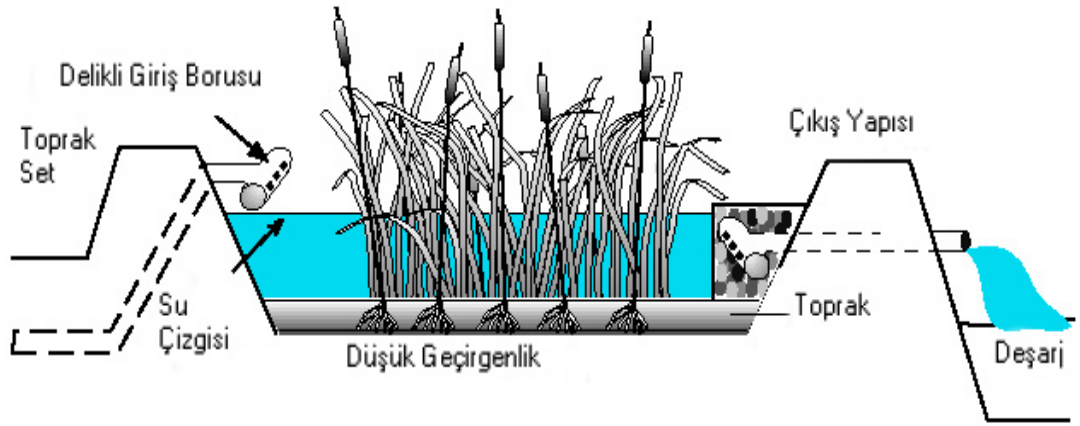
1. Diğer arıtma sistemlerine kıyasla daha geniş alan gerektirirler,
2. Yüzey akışlı sulak alanlarda sivrisinek ve diğer zararlılar sorun oluşturabilmektedir,
3. Çok yüksek kirletici konsantrasyonu olan bazı atıksularda yeterli verim sağlanamayabilmektedir,
4. Arıtma verimi diğer sistemlere göre daha değişkendir,
5. Sistemin çalışmaya başlatılması için kullanılacak olan bitkilerin arıtıma uygun hale gelmesi ve sistemin performansının optimum seviyeye ulaşması beklenir,
6. Ekilmiş sulak alanda kullanılan bitkinin, bölgenin iklim şartlarına uyum sağlayabilmesi ve mevsimsel değişimlere dayanıklı olması gerekmektedir.

II.1.2. Ekilmiş sulak alanların sınıflandırılması

Ekilmiş sulak alanlar kullanılarak yapılan evsel atıksu arıtma sistemleri suyun sistemdeki akış özelliklerine göre 2 tipte ele alınmaktadır. Bunlar yüzey akışlı sistemler ve yüzeyaltı akışlı sistemlerdir(Pipeline, 1998). Yüzey akışlı sistemleri köklü, yüzücü ve batık türde olan üç farklı vejetasyonun sistemdeki baskınlığına bağlı olarak üç farklı alt kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar sırayla: köklü bitkilerle arıtım sistemleri, yüzücü bitkilerle arıtım sistemleri ve batık bitkilerle arıtım sistemleridir. Yüzeyaltı akışlı sistemlerde ise yüzücü ve batık bitkiler değil tamamen köklü bitkiler kullanılmakta olup atıksuyun akışına bağlı olarak iki farklı türde incelenmektedir. Bunlar sırayla: yatay yüzeyaltı akışlı ve düşey yüzeyaltı akışlı sistemlerdir(Tousignant, 1999). Bunun yanında bu sistemler içerisinde de yeni uygulamalar göze çarpmaktadır. Yüzeyaltı ters düşey akışlı sistemleri buna örnek olarak verebiliriz(Yin, 2006).

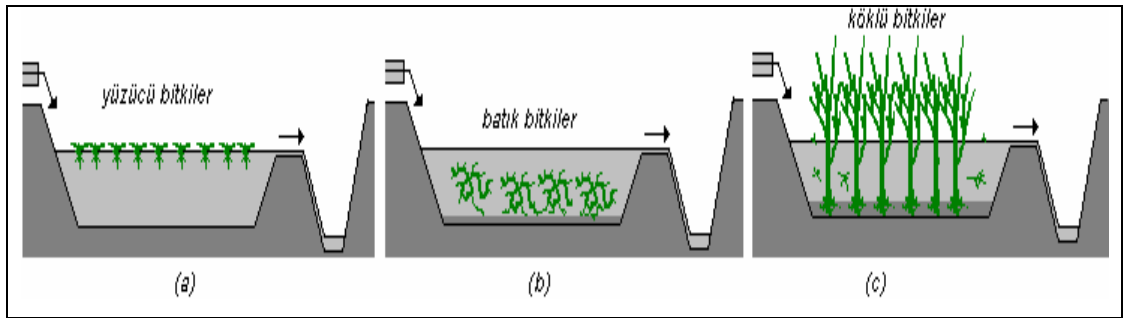
II.1.2.1. Yüzey akışlı sistemler

Serbest yüzeyli sistem olarak da bilinen bu uygulama yapay veya tabii su yüzeyli bariyerli kanallar veya havuzdan ibarettir(Şekil II.2). En önemli dezavantajları sivrisinek kontrolü gerektirmeleridir. Bunun için bitkiler daha sık hasat edilmeli sisteme verilen toplam organik yük bir ön arıtma ile azaltılmalı veya giriş besleme suyu reaktör de tam karışım oluşacak şekilde paralel ve geri devirli olarak verilmelidir. Kaliforniya'da sivrisinek yiyen balıkların kullanımı ile doğal bataklıklara nazaran daha az sivrisinek görülmesi sağlanmıştır. Başka bir çalışmada yüzen su bitkileriyle metal, organik madde, patojen mikroorganizma ve azot, fosfor giderimi sağlanmıştır(EPA, 1988). Tipik yatak derinlikleri 0,4 m dir(Wetlands International, 2003).



Şekil II.2. Yüzey akışlı sistemler

Şekil II.2’de de görülen yüzey akışlı sistemler, kullanılan bitki türüne göre 3 türdür; köklü bitkiler, yüzücü bitkiler ve batık bitkiler olarak uygulanmaktadır (Şekil II.3). Bu tür dizayn edilen sistemlerde genel olarak *Lemma spp.* (su mercimeği), *eichornia crassipes* (su sümbülü) ve *Moringa spp.* gibi bitkiler kullanılmaktadır (Uysal, 2002 ;Yılmaz ve ark., 2005).

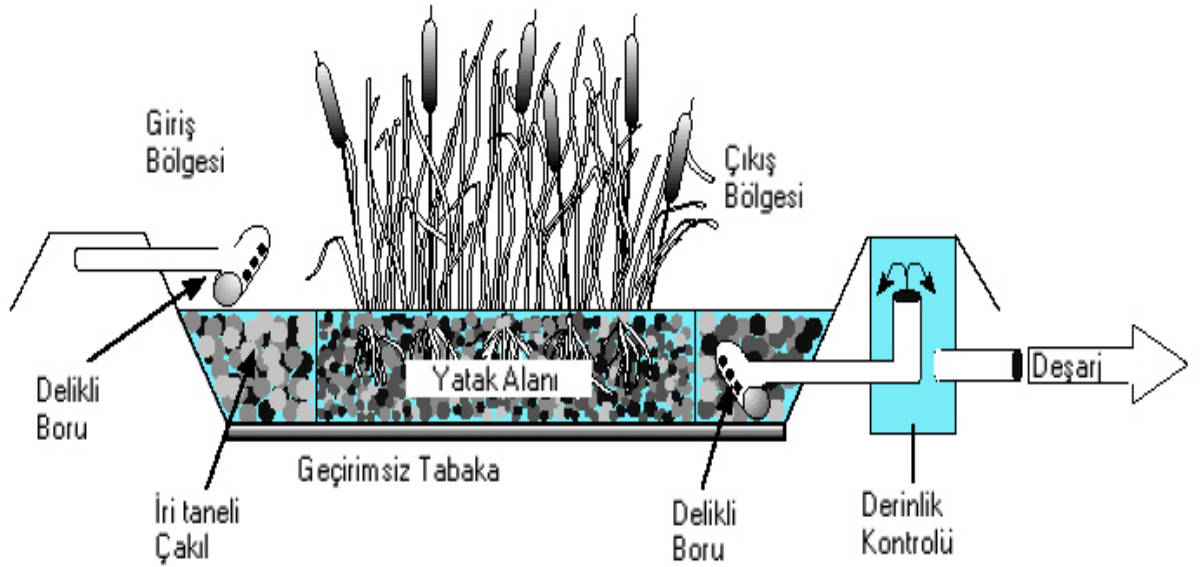


Şekil II.3. Yüzey akışlı sistemlerde yüzücü, batık ve köklü bitkiler.

Şekil II.3’de yüzücü bitkiler, batık bitkiler ve köklü bitkiler şematik olarak gösterilmiştir.

II.1.2.2 Yüzeyaltı akışlı sistemler

Sistem bitkilerin büyümesini temin eden çakıl taşlı ve kumlu bir ortam ile kanallar ve havuzlardan ibarettir(Şekil II.4). Yüzeyaltı akışlı sulak alanlardaki başlıca tasarım kriterleri, bekleme süresi, BO_5 ve derinliktir. Makrofitlerin varlığı, bütün sistemlerdeki yatak yüzeyinin stabilizasyonu için gerekli olup özellikle yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı sistemlerde makrofitler malzemenin tıkanmasını önlemektedir. Yüzeyaltı akışlı sistemler yüzey akışlı sistemler gibi benzer giderim mekanizmalarını kullanmaktadır. Yüzeyaltı akışlı sistemlerde atıksu yüzeyaltından aktığı için çakıl gibi bir dolgu malzemesi ile temas halindedir. Bu sebeple de bakterilerin büyümesi için daha yüksek bir yüzey alanı ve daha yüksek bir organik yüke müsaade etmektedir. Temel giderim mekanizmaları; filtrasyon, çökeltme ve mikrobiyolojik ayrışım olup serbest yüzey akışlılarla benzer niteliktedir. Atıksuyun akışına göre yatay veya düşey akışlı olarak ikiye ayrılırlar. Düşey akışlılar daha çok kesikli olarak (batch process) işletilip sistemin tam doymuş hale getirilmesi önlenerek atmosferden difüzyonla daha kolay oksijen transfer edilmesini sağlar(Moshiri, 1993).



Şekil II.4. Yüzeyaltı akışlı sistemler.

Şekil II.4’de ayrı ayrı gösterilen sistemler, Tablo II.2’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Tipik yatak derinlikleri 0,3 – 0,6 m dir(Wetlands International, 2003).

Tablo II.2. Yüzey ve yüzeyaltı akışlı ekilmiş sulak alanların kıyaslaması
(WPCF, 1990)

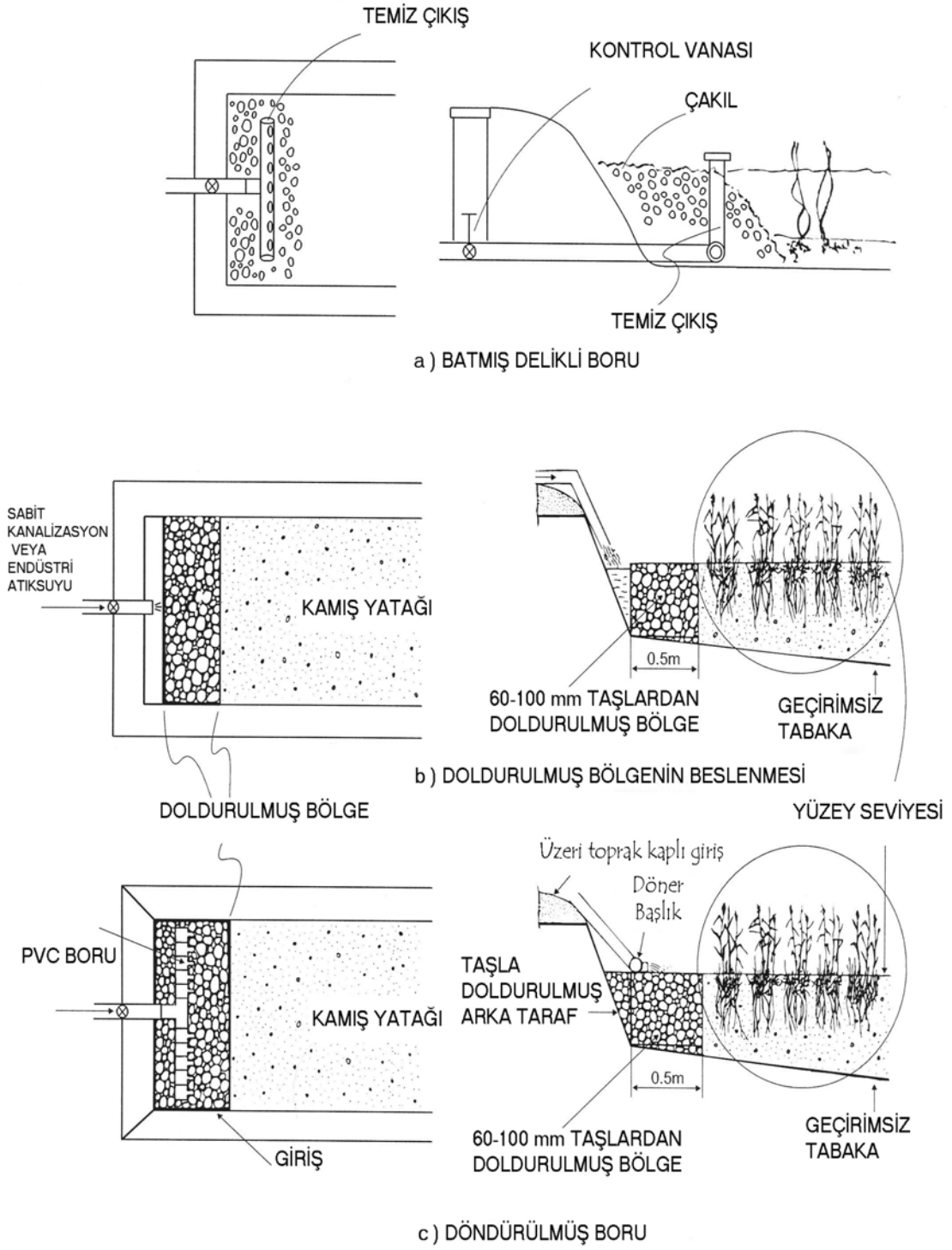
Özellik	Yüzey Akışlı Sistem	Yüzeyaltı Akışlı Sistem
Su seviyesi	Zemin üstünde	Zemin içinde
Kökler	Su içinde	Toprakta
Su akışı	Yüzey açık	Yüzey altı
Bitki büyümesi	Su içinde	Toprak yüzeyinden yukarda

II.1.3. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış yapıları

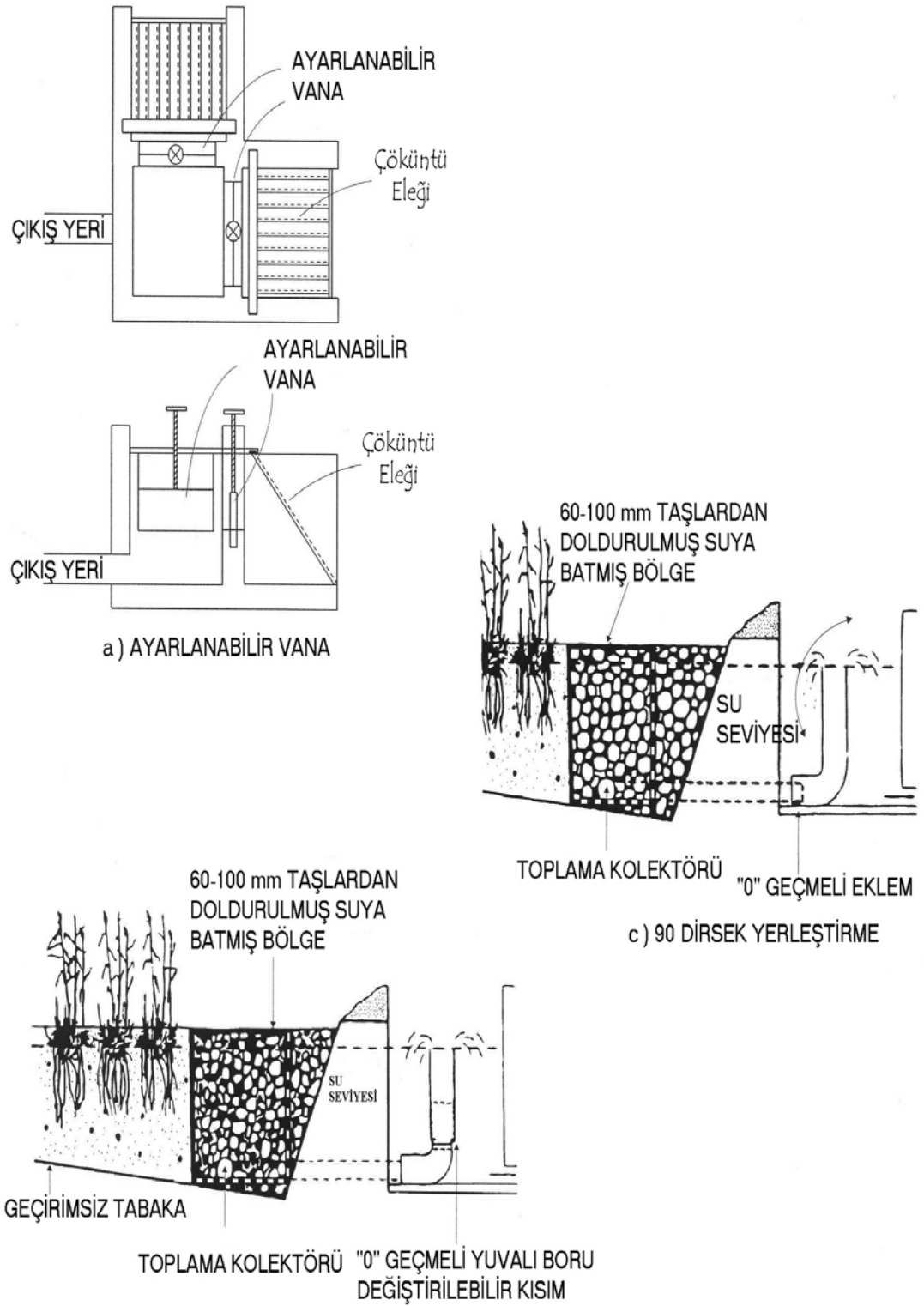
Ekilmiş sulak alanlar giriş ve çıkış yapıları mevcut arazi durumuna ve atık suyun getirileceği yerin durumuna göre uygun hidrolik şartlar sağlanarak dizayn edilebilir. Şekil II.5 ve Şekil II.6’da giriş ve çıkış yapıları ile ilgili örnekler gösterilmektedir.

Yüzey ve yüzeyaltı akışlı sistemlerde giriş yapıları, yüzey ve yüzeyaltı manifoldlarını, açık çukur ve tek noktada su bendini içermektedir.

Yüzey akışlı sistemlerde su seviyesi çıkış yapısı ile kontrol edilmektedir. Yüzeyaltı akışlı sistemlerde komple su seviyesini ayarlamak için çıkış yapısı yatak tabanının hemen üstüne yerleştirilmelidir. Bu sistemlerde ayarlanabilir vanalar kullanmak ekilmiş sulak alanların işletilmesi ve bakımında önemli faydalar sağlamaktadır(WPCF, 1990). Bu yapılar ölü bölgeleri önlemeye yardımcı olmaktadır. Akış yolunu ve derinliğini kontrol etmek için kullanılırlar, birden fazla giriş ve üniform akış sağlamak için kullanılırlar. Böylece tek girişli yapılardan suyu dağıtarak geniş alanlara aynı homojenlikte dağıtma sağlanmış olacaktır(EPA, 2000).



Şekil II.5. Ekilmiş sulak alan giriş yapısı örnekleri
(WPCF, 1990)



Şekil II.6. Ekilmiş sulak alan çıkış yapısı örnekleri

(WPCF, 1990)

II.1.4. Ekilmiş sulak alanların maliyet ve alan ihtiyacı

5 m³/gün'den az debi gelmesi halinde diğer klasik arıtım sistemlerine nazaran daha ekonomiktir. Ortalama maliyeti m³ başına 1,6 \$ (2.56 YTL) olup, bakım maliyeti ise 0,40 \$ (64 YKr)'dır. Bu değerler ikincil arıtma sisteminin verim derecesine bağlı olarak % 10 oranında düşebilir. Proje ömrü 20 yıl kadardır.

Arazi kullanımı iklimle doğrudan ilişkilidir. Alan ihtiyacı sıcak iklimlerde kişi başına 1 m² gibi düşük değerlerde olabilirken soğuk iklimlerde bu değer 5 m²'ye kadar çıkabilmektedir(Arceivala, 2002).

II.1.5. Ekilmiş sulak alanlarda kirlilik giderimi

Ekilmiş sulak alanlarda kirletici giderimiyle ilgili altı temel biyolojik reaksiyon şunlardır; bitki solunumu, fotosentez, fermentasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve mikrobiyolojik fosfor giderimi(Mitchell, 1996). Belirli maddeler ise (özellikle metaller) kimyasal reaksiyonlarla çözünemeyen bileşiklere dönüşür ve çökeltilerek giderilir.

II.1.5.1. Ekilmiş sulak alanlarda askıda katı madde giderimi

Bitkiler su akımını bloke edip hızlarını düşürürken askıdaki maddelerin çoğu çökme ve filtrasyonla giderilir. Daha iri boyutlu askıda maddelerin giderimini sağlamak ve sulak alanın tıkanmasını önlemek için sulak alan girişine bir çökeltim havuzu konur. Havuz aynı zamanda çok kirli ise giriş suyunu seyreltmek için de kullanılabilir. Bu proses belirgin bir derecede BOİ, nütrientler (azot ve fosfor) ve patojenlerin giderimini sağlar.

II.1.5.2. Ekilmiş sulak alanlarda BOİ giderimi

Çökelmeden sonra kalan çözünebilir organik maddeler bitkilerle temas halindeki bakteriyel biyofilmlerle (konvansiyonel sistemlerdekine benzer) aerobik olarak giderilir. Bitkilerin bu biyofilm tabakasına kökleri vasıtasıyla temin ettikleri oksijen aerobik ayrışmaya yardımcı olur. Organik maddelerin anaerobik ayrışımı ise taban kısmında olur.

II.1.5.3. Ekilmiş sulak alanlarda azot giderimi

Azot giderimi nitrifikasyon ve denitrifikasyon yoluyla olmaktadır. *Nitrosomonos*' lar vasıtasıyla amonyak aerobik reaksiyonlarla nitrite oksitlenir. Nitrit ise daha sonra *Nitrobakter*ler (nitrat oluşturan) vasıtasıyla yine aerobik olarak nitrate oksitlenir. Taban kısmına geçen nitratlar ise burada anoksik olarak denitrifikasyon bakterileriyle (*Pseudomonas spp.* ve diğer bakteriler) gaz ürünlere (N₂ gibi) dönüştürülür. Bazı bakteriler (*Rhizobium*) atmosferdeki azot (N₂) molekülündeki güçlü üçlü bağları kırarak amonyağı bünyelerine alırlar. Bitkiler biyofilmin oluşmasını sağladıklarından ve bu bölgelere oksijen temin ettiklerinden kök bölgesindeki nitrifikasyonla azot gideriminde önemli bir rol oynarlar(Brix, 1994). Bitkiler aynı zamanda ortamda bulunan nütrientlerin yalnızca küçük bir kısmını da (<%5) bünyelerine alarak gidermektedirler. Bitkiler tarafından kullanılabilen azot formları NH₄ ve NO₃ tır. NH₄ ve NO₃ bitki bünyesine asimilasyonla (NO₃→NH₄→NH₂-R, R:amino asitin kalan kısmı) alınır.

II.1.5.4. Ekilmiş sulak alanlarda fosfor giderimi

Sulak alanlarda fosforun en temel giderimi; adsorpsiyon, filtrasyon, fiziksel çökelme (yerçekimiyle), kimyasal çökelme (kompleks oluşumuyla) ve bitki bünyesine alınma yolları ileler.

II.1.5.5. Ekilmiş sulak alanlarda patojen bakteriler

Patojenlerin giderimi suyun sıcaklığına, kimyasına ve güneş ışığına (ultraviyole) bağlı olarak gelişir. Bu faktörlere bağlı olarak doğal yollarla ölüm, bakteri yiyen mikroorganizmaların (zooplankton) bünyesine geçmesiyle ve çökelmeyle (partiküllere temasla) giderim de önemli bir yer tutar.

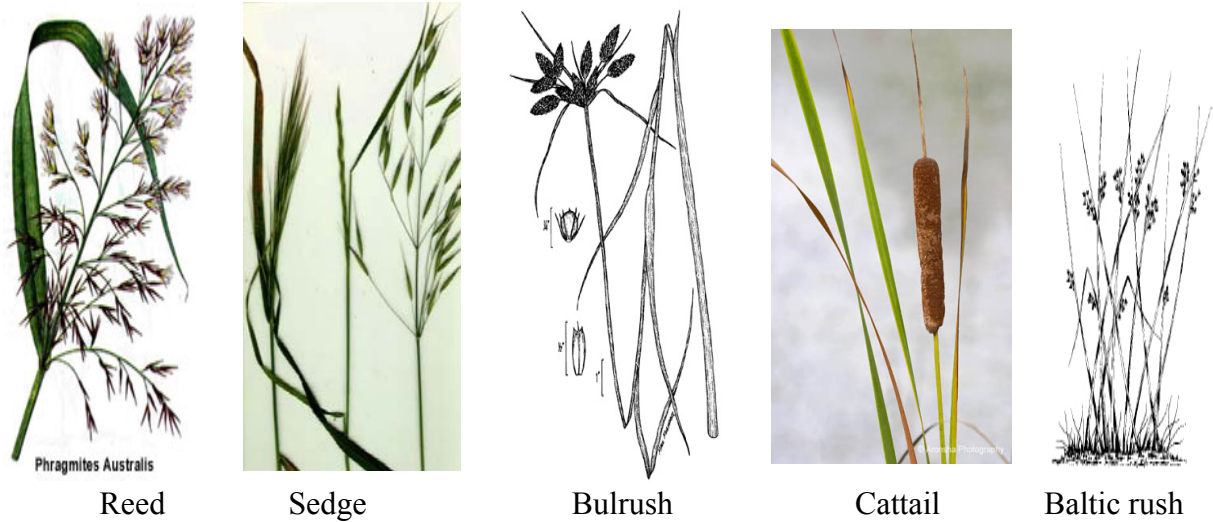
Bir sulak alan sistemindeki patojen mikroorganizmalar genelde parazitler, bakteriler ve virüslerdir. Tüm patojenlerin izlenmesi pratik olmadığından *Fekal koliform* gibi indikatör organizmalar izlenir. *Faecal streptococci* ve *MS-2* arıtma sistemlerinin giderim performansını ölçmede kullanılmaktadır. Doğal sulak alanlar patojenlerin yaşamaları için çok uygun bir ortam olduğundan tam olarak giderilmeleri için dezenfeksiyona ihtiyaç duyulur. Ekilmiş sulak alanlarla patojen giderimi %80 ile %90 arasında değişmektedir.

II.1.5.6. Ekilmiş sulak alanlarda toksinler

Sulak alanlar toksinler için mükemmel bir tamponlayıcıdır. Hidrokarbon, fenol, benzen, toluen ve ham yağların ekilmiş sulak alanlarda çok yüksek verimlerle giderildiği kaydedilmiştir(White ve ark., 1996).

II.2. Ekilmiş Sulak Alanlarda Kullanılan Su Bitkileri

Ekilmiş sulak alanlarda yaygın olarak kamışsı yapıda bitkiler kullanılır. Kullanılacak bitkiler seçilirken başta verimlilik olmak üzere, o bölgede kolayca yetişen mahalli bitkilerden seçilmelidir. Seçilen bitki türü, hızla büyümeli, nütrientler (N ve P) yönünden zengin atıklara dayanmalı ve sulak ortamda yaşayabilmelidir. Ekilmiş sulak alanlarda arıtım amacıyla kullanılan bazı bitkiler Şekil II.7’de verilmiştir. Saçak köklü, suyu ve sulak ortamı seven Cannas, Canna Generalis, Sedges, Juncus ve Typha tipi bitkiler tercih ediliyor. Bu bitkilerden hasır sazı (cattails), sivri saz (bulrushes), japon hasır sazı (rushes) ve kamış (sedges) genelde Amerikada, iyi biline ve en yaygın kullanılan ekilmiş sulak alana bitkisi olan – *Phragmites Australis*-su sazı (reeds) ise Avrupada kullanılmaktadır(Pipeline, 1998). Viranşehir ve Korkusuz ve ark.(2001)’nın, yaptıkları çalışmada su kamışları-kargı (reed)’yı, Paşaköy arıtma tesisinde ve Ayaz ve ark.(2003)’nın yaptıkları çalışmasında Japon şemsiyesini kullandıklarını görmekteyiz.



Şekil II.7. Yapay sulak alanlarda kullanılan su bitkilerinden bazıları.

Ekilmiş sulak alanlarda kullanılan bu bitkiler;

- (i) Mikroorganizmalara oksijen sağlarlar
- (ii) Zeminin hidrolik geçirgenliğini stabilize ederler

Bitkiler, oksitlenmiş mikrozonlar oluştururlar. Aksi halde, anoksik ve anaerobik şartlar oluşacaktır. Bitkiler, ayrıca organik maddeleri stabilize ederler ve nitrifikasyon-denitrifikasyon hızını artırırılar.

Kök ve kök gövdeler, zemini delerken toprağı gevşetirler ve geçirgenliği artırırılar.

Kamış yatakları, aynı zamanda büyüme mevsimlerinde evapotranspirasyonu da artırırılar (1.5-1.8 m²/m³/yıl veya 10-15 mm/gün). Tropik iklimlerde bu miktar, daha yüksektir ve yataktan çıkan su da, bununla ters orantılı olarak azalır.

Tropik iklimlerde bazen, amaç bu olmamakla beraber, sıfır debi görülebilir. Orta Avrupa'nın iklim şartlarında, 8 m²/kişi eşdeğer nüfusa göre projelendirilen kamış yataklarından hiç su çıkmamaktadır(Arceivala, 2002).

II.3. Ekilmiş Sulak Alanlarda Kullanılan Bitkilerinin Hasattan Sonra Kullanımı

Kamış türü bitkiler doğanın insanlara sunduğı bedava ürünlerdendir. Genellikle ekilmiş sulak alan çalışmalarında kullanılan bu bitkiler ekonomik olarak değerlendirilme kapasitesi düşük olan yada bu konularda pek fazla araştırmalar yapılmamış bitkilerdir. Ülkemizde genellikle hayvan yemi olarak değerlendirilmesi düşünölen bu bitkiler son zamanlarda Avrupa'ya ihraç edilerek, çeşitli alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada kullanılan, *Miscanthus X Giganteus* bitkisi alternatif kullanım alanları ve ekonomik değeri olan bitkilerdendir. Farklı kullanım amaçlı özel olarak üretimi olan *Miscanthus X Giganteus* bitkisi yetiştiriciliğinde, doğal su kaynaklarının kullanılması yerine, küçük yerleşim yerlerinin atıksuyu kullanılarak yetiştirilebileceğı ve hem atıksu arıtımı hem de ekonomik değeri olan bir bitkinin yetiştirilmesi düşüncesi ile bu tez çalışmasına ışık tutmuştur. *Miscanthus X Giganteus* bitkisinin alternatif kullanım alanları Bölüm II.4.2'de daha detaylı anlatılacaktır.

II.3.1. Enerji bitkileri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma üzerine yapılan çalışmalarda hasat edilen kısımdan iki türlü faydalanılmaktadır. Bunları a) Endüstriyel amaç ve b) Enerji olarak ikiye ayırmak mümkündür(Acaroğlu,1996). Tablo II.3’de bu bitkilerden elde edilen ürünlerden bazıları gösterilmiştir.

Tablo II.3. Endüstri ve enerji bitkilerinin üretimi ile elde edilen ürünlerden bazıları (Acaroğlu,1996)

Endüstri bitkilerinin tarımı ile şunlar elde edilmektedir	Enerji bitkilerinin tarımı ile şunlar elde edilmektedir
<ol style="list-style-type: none"> 1. Nişasta 2. Şeker Maddesi 3. Lif 4. Besin özü 5. Renk ve Tanen maddesi 6. Farmakoloji 7. Sıvı ve katı yağ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Etanol 2. Motor yakıtı 3. Isı Enerjisi 4. Elektrik 5. Biogaz 6. Hidrojen

Bu amaçla günümüzde tarımı yapılan veya üretim programlarına alınan enerji bitkilerinden bazıları Tablo II.4’de verilmiştir.

Tablo II.4. Günümüzde tarımı yapılan veya üretim programlarına alınan enerji bitkilerinden bazıları (Acaroğlu, 1996)

Kültür Bitkileri	Geleneksel Olmayan Bitkiler	Hızlı Büyüyen Odunsu Bitkiler	Miscanthus sinensis Formları (C ₄)
<i>Avena sativa</i> (yulaf) <i>Brassica napus</i> (kolza) <i>Helianthus annuus</i> (ayçiçeği) <i>Helianthus tuberosus</i> (yerelması) <i>Hordeum vulgare</i> (arpa) <i>Linum usitatissimum</i> (lif keteni)	<i>Arundo donax</i> (kargı kamışı) <i>Avena sempervirens</i> (yulaf, yaprağını dökmeyen) <i>Campanula lactiflora</i> (geniş yapraklı çan çiçeği) <i>Carex pendula</i> (sarkık ayakotu) <i>Centaurea macrocephala</i> (iri başlı peygamber çiçeği) <i>Chenopodium quinoa</i> (Peru çeltiği, küçük prinç) <i>Cirsium arvense</i> (peygamber diken) <i>Cynara cardunculus</i> (yabani enginar) <i>Helianthus giganteus</i> (çok yıllık ayçiçeği)	<i>Populus</i> (kavak çeşitleri) <i>Salix</i> (Söğüt çeşitleri)	<i>Miscanthus sinensis</i> “China” <i>Miscanthus sinensis</i> “Cornet” <i>Miscanthus sinensis</i> “Flammenmeer” <i>Miscanthus sinensis</i> “Giganteus” <i>Miscanthus sinensis</i> “Giraffe” <i>Miscanthus sinensis</i> “Goliath” <i>Miscanthus sinensis</i> “Gracillimus” <i>Miscanthus sinensis</i> “Kaskade” <i>Miscanthus sinensis</i> “Malepartus”

Tablo II.4. Devamı

Kültür Bitkileri	Geleneksel Olmayan Bitkiler	Hızlı Büyüyen Odunsu Bitkiler	<i>Miscanthus sinensis</i> Formları (C ₄)
<i>Secale cereale</i> (çavdar) <i>Sorghum bicolor</i> (şeker darı / lif darı) <i>Triticum aestivum</i> (buğday) <i>Triticum spelta</i> (kavuzlu buğday) <i>Zea mays</i> (Mısır) v.b...	<i>Hibiscus cannabinus</i> (Kenaf) <i>Phragmites australis</i> (saz kamışı) <i>Phyllostachys</i> (Hint kamışı çeşitleri) <i>Polygonum cuspidatum</i> (çoban değneği) <i>Sidalcea-Hybriden</i> (çayır ebeğömeçi-hibridleri) <i>Spartina pectinata</i> (kaynana otu) <i>Thalictrum aquilegifolium</i> (sedef otu)		<i>Miscanthus sinensis</i> "Morninglight" <i>Miscanthus sinensis</i> "Neue Hybriden" <i>Miscanthus sinensis</i> "Poseidon" <i>Miscanthus sinensis</i> "Pünktchen" <i>Miscanthus sinensis</i> "Roland" <i>Miscanthus sinensis</i> "Silberfeder"

Bir bölümü enerji üretimi için kullanılabilen, biyolojik kökenli, fakat fosil olmayan organik madde kütlelerine kısaca biomas adı verilmektedir. Gelişmekte olan bir çok ülkede biomas, ekonomiye destek sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

1970'li yıllara kadar bitkilerde bir tek fotosentez mekanizmasının olduğu biliniyordu. 1970'li yıllarda bazı bitkilerde (mısır, şeker kamışı, sorgum, *miscanthus* v.b...) fotosentez mekanizmasının, diğer bitkilerden farklı olduğu belirlenmiştir. Bu bitkilere C₄ bitkileri denilmektedir. C₄ bitkileri diğer kültür bitkilerine göre fotosentezde CO₂'yi daha iyi değerlendirebilmekte ve kullanabilmektedir. C₃ ve C₄ bitkilerinin bazı karakteristik özellikleri Tablo II.5'te verilmiştir.

Tablo II.5. C₃ ve C₄ bitkilerinin bazı karakteristikleri (Acaroğlu,1996)

Özellikler	C ₃ Bitkileri	C ₄ Bitkileri
Önemli temsilcileri	Buğday, Arpa, Çavdar, Şeker pancarı, Yulaf,	Saz Kamışı, <i>Miscanthus</i> , Mısır
Transpirasyon katsayısı kg.H ₂ O/kg.kuru madde	450-900	220-350
Fotosentezde ışığa doyumluk	orta	ortadan yükseğe kadar
Optimum CO ₂ Bağlanması	15-20 °C	30-40 °C
Fotorespirasyon	CO ₂ fiksajının % 15-30'u kadar	CO ₂ kaybı yok
Özümleme noktası	40-100 ppm CO ₂	0-10 ppm CO ₂
Fotosentetik verim (g/m ² .gün)	20-30	40-50
Yıllık üretim (t/ha.yıl)	10-30	60-80
Maximum artış oranı gr Kuru Madde /m ² yaprak . gün	50-200	400-500

II.4. *Miscanthus* Hakkında

Güneydoğu Asya'dan yayılmış çok yıllık bitki olup, Türkiye'nin doğal florasında bulunmamakla birlikte, 1993 yılında deneme amaçlı yetiştirilmiştir. *Miscanthus* daha çok humus içeren topraklarda, yeterli su ve güneş ışığının olduğu yerlerde verimli olarak yetiştirilmekte ve bambu kamışına benzer gövde uzunluğu 3-4 metreyi bulmaktadır. Özel olarak biyokütle yetiştirmek amacıyla üretilen bitkilerden birisi olan *Miscanthus*, dikiminden birkaç yıl sonra, her yıl hasat edilerek biyokütle elde edilir. Bitki %44 selüloz, %24 hemiselüloz, %17 lignin, %15 diğer maddelerden oluşmuştur. Yakıldığında geriye %1,5 gibi küçük bir oranda kül bırakır.

Bitki verimi, kuru madde olarak hektar başına 11-25 ton arasında olmakla birlikte, bazı yerlerde 44 tona kadar verim elde edilmiştir. *Miscanthus* verim açısından en yüksek değerine 3. veya 4. mevsimde ulaşır ve ortalama 15 yıl üretim yapılabilir.

Miscanthus sinensis çoğunlukla “fil otu” veya “*Elefantengras*” olarak adlandırılmaktadır. Bu tanımlama Afrika'dan gelen ve dünyada yaygın olan “*pennisetum purpureum*” ile karıştırmalara yol açabilir. *Elefantengras* Afrika ovalarında bulunmakta ve yem bitkisi olarak kullanılmaktadır. Bu bitkinin boyu Afrika şartlarında 7 metreye kadar çıkmaktadır. Bu bitki, yem özelliğinin yanında kulübe çatılarından, bina duvarları ve çitlerin yapımına kadar bir çok alanda kullanılabilir.

Buna karşın *Miscanthus* türleri *Süßgras* (tatlı, yeşil ot) familyasına ait olmaktadır ve bunların anavatanları Güneydoğu Asya'dır. Sayısı 6'yı bulan Güneydoğu Asya orijinli çeşidiyle *Miscanthus sinensis* ve *Miscanthus sacchariflorus* süs bitkisi olarak da kullanılmaktadır. *Miscanthus sinensis* Almandada “**Japon ipek otu**” ve *Miscanthus sacchariflorus* “**Gümüş çiçeği otu**” olarak adlandırılmaktadır. *Miscanthus sinensis* için diğer adlardan biri de “*Stilblütengras*” ya da grekçeden tercüme edilmiş haliyle “**Çin Kamışı**” dır(Acaroğlu, 1996).

1935 yılında özel bir filiz (klon) doğrudan Japonya'dan Danimarka'ya ithal edilmiş ve buradan Almanya, İsviçre v.b... Avrupa ülkelerine yayılmıştır.

Bunun yanında “*Giganteus*” eki, “*Miscanthus*”un bir varyetesidir ve bir alt çeşidi değildir. Bunu bize *Miscanthus*'un latinedeki adının eksiz (takısız) olması göstermektedir(Acaroğlu,1996).

Şimdiye kadar yapılan araştırmalarda “*Miscanthus*”un 40'ın üzerinde varyetesinden bahsedilmektedir. Bunların genelde Almanya ve ABD'de süs bitkisi olarak üretimi yapılmaktadır. *Miscanthus* varyeteleri boy ve diğer karakteristik özelliklerine göre Tablo II. 6'da sınıflandırılmışlardır.

Tablo II.6. *Miscanthus* varyetelerine toplu bakış (Acaroğlu,1996)

Varyete	Boy,Büyüme yüksekliği	Karakteristikler
Giganteus *	çok yüksek	Tüm alt varyeteleri yüksek büyüyor, yaprakları yeşil, çok uzun; çiçekler gümüş tüylü yaprak şeklinde tek damarlı
Gracillumus	alçak, boysuz	filiz (sürgün) gibi büyüme
Graziella	yarı yüksek	gümüşbeyazı çiçekler, büyüdükçe gevşek çiçek durumu; Gracillumus tipinde
Undine *	orta yüksek	Graziella ile eşformda
Sirene	yüksek	çiçekler bakır kırmızısı, bol çiçekli Gracillumus tipinde
Silberspinne *		Bol çiçekli, dar yapraklı, Gracillumus tipinde
Kl.Silberspinne	boysuz	İnce yapraklı, yaşlandıkça adeta küresel büyüme, bol çiçekli, Silberspinne formunda
Krater	yarı yüksek	Bariz büyüme, geç çiçeklenme, Kl. Silberspinne formunda
Nippon	alçak, boysuz	esmer çiçek, esmer yaprak, sonbaharda bakır rengine dönüşüyor
Rotsilber		bol çiçekli, Gümüş kırmızısı çiçekler
Sioux	çok boysuz	Kırmızısı esmer yaprak, sonbaharda rengi kıpkırmızı oluyor
Malepartus		kırmızı renkte çiçekler, çiçek durumu deve kuşu tüyüne benzer kıvrıkcık yağlı yeşil, kırmızı saplı
China *	boysuz	ensiz yaprak, yağlı yeşil, sonbaharları kırmızı demet rengine, çok uzun saplı çiçek durumu
Samurai	yarı boylu	kuvvetli, dinç varyete, yapraklar koyu kırmızı, sonbaharda tamamıyla yaprak rengi kırmızıya dönüşüyor
Feuergold		yaprakların rengi sonbaharda ateş sarısı
Juli		çiçeklenme zamanı Temmuz, sonbaharda altın sarısı rengine dönüşüyor
Wetterfahne		yetiştirme formu Juli gibi, sap sonbaharda kıpkırmızı renkte, çiçeklenme başlangıcı Ağustos
Silberturm *		güçlü gelişme, bölünmeye yönelim pek az
Poseidon *		gelişme diğer varyetelerden daha fazla, yapraklar açık yeşil, geniş ve yağlı parlaklıkta, büyük çiçekler

Tablo II.6. (Devamı)

Varyete	Boy,Büyüme yüksekliği	Karakteristikler
Büyük Fontane *	çok yüksek	geniş yapraklı büyüme, çok uzun yapraklar, Eylül sonunda büyük kırmızı çiçekler
Goliath *		Eylül sonunda kırmızı çiçekler
Malepartus		kırmızı renkte çiçekler, çiçek durumu deve kuşu tüyüne benzer kıvrırcık yağlı yeşil, kırmızı saplı
China *	boysuz	ensiz yaprak, yağlı yeşil, sonbaharları kırmızı demet renginde, çok uzun saplı çiçek durumu
Samurai	yarı boylu	kuvvetli, dinç varyete, yapraklar koyu kırmızı, sonbaharda tamamıyla yaprak rengi kırmızıya dönüşüyor
Feuergold		yaprakların rengi sonbaharda ateş sarısı
Juli		çiçeklenme zamanı Temmuz, sonbaharda altın sarısı rengine dönüşüyor
Wetterfahne		yetiştirme formu Juli gibi, sap sonbaharda kıpkırmızı renkte, çiçeklenme başlangıcı Ağustos
Silberturm *		güçlü gelişme, bölünmeye yönelim pek az
Poseidon *		gelişme diğer varyetelerden daha fazla, yapraklar açık yeşil, geniş ve yağlı parlaklıkta, büyük çiçekler
Büyük Fontane *	çok yüksek	geniş yapraklı büyüme, çok uzun yapraklar, Eylül sonunda büyük kırmızı çiçekler
Goliath *		Eylül sonunda kırmızı çiçekler
Kl. Silberfeder		kolay bölünerek gelişme, çiçek durumu beyaz geniş yapraklar, ilkbahara kadar dayanıklı
Vorläufer	alçak, boysuz	geniş yapılı, açık yeşilimsi yapraklar, Sonbaharda altın sarısı rengine dönüyor
Cornet *		Silberfeder formunda
Kaskade *		Uzun, çiçek başlangıcı pembe, dikey sarkıyor, çiçek durumu farklı yüksekliklerde; bol
Roland *	çok yüksek	çiçek durumu büyük ve gümüş beyazı renginde
Indianer		yaprakları kırmızı renkli
Flammenmeer		Sonbaharda etkili bir kıpkırmızı renkte
Positano		geç çiçeklenme zamanı, kıpkırmızı çiçek açıyor
Flamingo		çiçek durumu pemb gül gibi
Spatgrün *	boysuz	Aralık'a kadar yapraklar temiz yeşil renkte
Steppenbrand		Nazik, ince sap, yumuşak yaprak, sonbaharda alev renginde
Bronceturm		beyaz renginde yapraklar, sıcak bölgelerde çok iyi büyüme, gelişme
Ferrer Osten	yarı boylu	erken çiçeklenme; beyaz tepe taç çiçek salkımı ile kırmızı çiçekler
Aethiopien	boysuz	Sonbaharda kırmızı renkte
Afrika	boysuz	zayıf büyüme, koyu kırmızı ve döküntülü yapraklar
Pünktchen *		yeşil yapraklı, sağlam güz çiçeklenmesi
Morninglicht *		çok dar yapraklı
Kl. Fontane	yarı boylu	çok kuvvetli, sonbahara kadar geçen sürede bir çok çiçek şekli oluşuyor
Gewitterwolke		çok bol çiçek, adeta bulut şeklinde
Roter Pfeil		çok stabil, sonbaharda yaprak rengi parlak kırmızı
Zwergelefant	çok boysuz	geniş yapraklı, açık yeşil yapraklar; büyük, gül rengi çiçekler
Sarabanden +		biraz kına renginde, görünümü Silberspinne varyetesine benzer
Cabaret +		yeşil ve beyaz şeridleriyle geniş yapraklar

* F. Almanya FAL'de yetiştirilen ve araştırılan materyaller

+ ABD'de yetiştirilen varyetelerdir

II.4.1. *Miscanthus X Giganteus*

Bitkilerin koordinasyonunda 3. bölüm, bitkilerin bol olduğu tohumlu (*spermatophyta*) ve 2. büyük sınıf olan tek çeneklileri (*monocotyledonae*) içine almaktadır. Pek çok diğer familyanın yanında saf buğdaygiller 8.000 ile 9.000'e kadar olan çeşidiyle sıralanmaktadır. Bunlar 8 alt familyada, yabancı cins ve buğdaysı olmaktadır hem de diğer bölgelerde de yerli florada bulunmaktadır. 8. alt familyada *Miscanthus* (Landschilf), şeker kamışı (*saccharum*), Sorgum ve Mısır (*Zea*) cinsleri bulunmaktadır. Bundan sonraki koordinasyonda *Miscanthus sinensis* “*Giganteus*” gelmektedir. Bitkinin sistematüğini şu şekilde sıralayabiliriz;

Organizasyon tipi	: Embiryolu bitkiler
Bölüm, Şube	: Tohumlu bitkiler
Alt şube	: Kapalı tohumlular
Sınıf	: Çenekliler
Alt sınıf	: <i>Liliideae</i> (Zambakgiller)
Üst takım	: <i>Commelinane</i>
Takım	: <i>Graminales</i>
Familya	: <i>Gramineae</i> (Buğdaygiller)
Alt familya	: <i>Andropogonoideae</i> (İdris otu, sakal otu)
Cins	: <i>Miscanthus</i>
Tür	: <i>Miscanthus sinensis</i>
Varyete	: <i>Miscanthus sinensis</i> “ <i>Giganteus</i> ”

Miscanthus sinensis ile ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalarda kurutulmuş bataklık toprağı veya yeraltı su seviyesi yüksek olan topraklarda uygun bir toprak isteğinin sağlanamadığı görülmüştür. Çünkü bitki bir taraftan oksijensiz kalmakta diğer taraftan da toprak patojenine karşı yüksek hassasiyet göstermektedir. Bitkiler kolayca kök salabilecekleri, bol humus içeren toprakları ve yeter derecede sulu yerleri tercih ederler, bol ışık ve ısıya ihtiyaç duyarlar. Özellikle Mısır yetiştirmeye uygun lokasyonlar, Mısırın C₄ karakterinden dolayı “*Miscanthus*”un yetiştirilmesinde de elverişlidir. Bitkinin büyümesi süresince pH sınırı 6,3 - 8,0 gibi geniş bir değere sahiptir. Bitkinin dikim zamanı Mayıs başıdır. Dikim derinliğı 3-6 cm dir. Bitki sıklığı ise 1 bitki/m² olmaktadır. Bunun yanında 2 bitki/m² de olabilmektedir. Bu sık dikimin yararı ise yabani otların bastırılmasıdır.

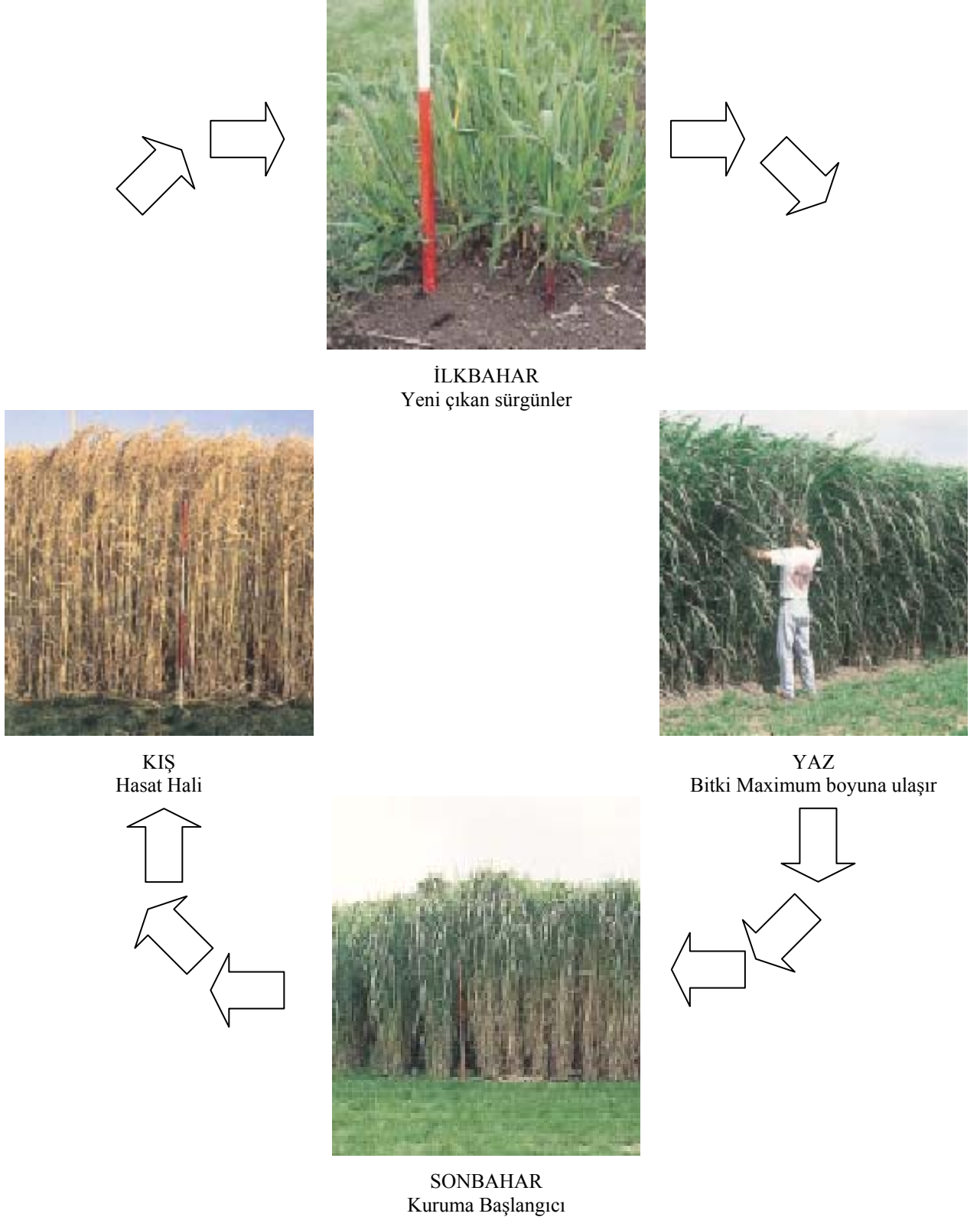
Bitkinin filizlenmesi için toprak sıcaklığının minimum 10 °C olması gerekir. Bitkinin büyümesi için daha yüksek sıcaklıklara gereksinim vardır. *Miscanthus* bitkisi maksimum boyuna Kasım başından ortasına kadar olan zamanda ulaşır. Büyüme, sıcaklığın - 5 °C'ın altına düştüğü zaman durur. 0 °C ile - 3 °C arasındaki sıcaklıkta bitki büyümesi durmamakta fakat yavaşlamaktadır.

Karmaşık olmayan bir gelişim / büyüme süreci vardır (Şekil II.8). Bitki her yıl Nisan ayı süresince yeni sürgün verir. Bu sürgünler Ağustos ayında 10 mm'den 1 – 2 m yüksekliğe ulaşır. Temmuzun sonunda yapraklar kurumaya başlar ve Sonbahar boyunca kuruma ivmeli olarak artar. Sonbahar sonlarında bitki artık hasat edilmeye hazır hale gelmiştir. İkinci dönem bitkilerinde yüksekliğin 2,5 – 3,5 m'ye ulaştığı gözlenmiştir. *Miscanthus*'un gelişimi Şekil II.8'de gösterilmiştir (Defra, 2001).

II.4.2. Hasat sonrası “*Miscanthus*”un alternatif kullanım alanları

Miscanthus 1935'te Avrupa'da tanınmaya başlamıştır ve süs bitkisi olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda şimdiye kadar *Miscanthus sinensis*'in 5 türü (çeşidi) olduğu belirtmiş ve diğer *Miscanthus sinensis* çeşitlerinin yabancı varyeteler olan “*Giganteus*”, “*Gracillimus*”, “*Vittasus*”, “*Zebrinus*” dan çoğaldığını ve diğer 58 varyetenin Almanya ve ABD'de süs bitkisi olarak kullanıldığını belirtilmiştir. Ancak son zamanlarda daha çok bazı Avrupa ülkelerindeki araştırma sonuçları onun ticari alanda kullanılabileceğini göstermektedir. *Miscanthus*'un ilk kullanım amacı enerji üretimi ve kağıt hamuru üretimidir (Acaroğlu, 1996).

Miscanthus sinensis farklı kullanım olanakları mevcuttur. Termal olarak yakılmasından, selüloz üretimi için hammadde olarak kullanılmasına, çatı yapımından sunta yapımına, ev eşyası (mobilya) yapımından otomobil iç aksesuarları (örn: kapı içleri, koltuk, göğüslük v.b...) yapımına, izolasyon maddesi yapımından şarap v.b... şişelerinin paketlenmesine, sıvılaştırarak hidrojen eldesinden yakıt olarak kullanılmasına, gazlaştırarak yanar gaz eldesinden, *Miscanthus*'un öğütülerek tozunun toz türbinlerde yararlanılmasına kadar bir çok kullanım alanı mevcuttur.



Şekil II.8. “*Miscanthus*”un yıllık gelişim döngüsü.

(Defra, 2001)

Yapılan bir çalışmada fosil kökenli enerjilerin kullanılması ve bu kaynakların tükenebilir olması nedeniyle dünyanın ekolojik ve ekonomik dengelerinin bozulduğunu ve doğanın gücü olan yenilenebilir enerji kaynaklarından daha verimli yararlanılması gerektiğini, bununla ilgili olarak doğada mevcut C₄ bitkilerinden ve özellikle *Miscanthus*’tan katı yakacak, otomobil parçaları üretimi, paketleme ve ambalajlama maddesi üretimi, ev yapımında kullanılması, elektrik, ısı ve yakıt eldesi ile ilgili yöntemleri ana hatlarıyla ortaya koyulmuştur (Acaroğlu,1996).

II.4.2.1. Enerji elde etmede *Miscanthus* kullanımı

Miscanthus’un hasatının kullanım amaçlarından biri enerji elde etmede yakıt olarak kullanılmasıdır. *Miscanthus*’un enerji üretiminde kullanılması ile ilgili araştırılmış alternatifler, kömür ile birlikte yakılma ve bazı çiftliklerin ısıtılmasında tek başına yakılması ile ilgilidir.

Şayet *Miscanthus* enerji üretimi için yakıt olarak kullanılacaksa , fiziksel ve kimyasal özelliklerini bilmek önemlidir. Bu amaçla *Miscanthus*’un fiziksel ve kimyasal karakterlerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan bazı çalışmalar 1994, 1995’de BTG tarafından gerçekleştirilmiş (Tablo II.7’de Örnek1,2), diğer bir çalışma MIDKRAFT laboratuvarı tarafından Danimarka’da yapılmıştır(Tablo II.7’de Örnek3,4). Bu çalışma sonuçları ve *Miscanthus*la ilgili literatürdeki bilgiler Tablo II.7’ de verilmiştir. Tablodan bütün örneklerin ana özelliklerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. *Miscanthus*’un düşük ısı değeri kuru halde yaklaşık 17 MJ/kg ile % 2,7 kül değerindedir. Nem oranı arttıkça ısıl gücün azaldığı tablodan da (Tablo II.7) görülmektedir. Kömürle birleştirilerek bu tür enerji bitkilerinin kullanımı, tek başına kömür kullanımındaki olumsuzluklar (kömür tüketiminin fazla olması) ve enerji üretiminde daha az kömürle aynı ısıl gücün sağlanması düşünüldüğünde, geniş bir ilgi uyandırmaktadır. *Miscanthus* kömür ile birlikte kullanıldığında CO₂, NO_x ve SO_x konsantrasyonlarında azalma gözlenmektedir. Günümüzde bir yakma reaktöründe kömüre eş olarak değerlendirilmektedir(Jones, 2001).

Tablo II.7. *Miscanthus* 'un fiziksel ve kimyasal özellikleri (Jones,2001)

Parametre	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4
Toplam Kalori Değeri kcal/kg				
Kuru halde	4553	4440		
Islak halde	4010	4015		
Net Kalori Değeri kcal/kg				
Kuru halde			4247	4213
Islak halde	3673	3704	3718	3522
Nem içeriği (%, ıslak hal)	11,9	9,6	11,9	16,4
Sabit Karbon (%)	11,2	17,8		
Uçucu içerik (%)	86,3	79,5		
Kül İçeriği (%)	2,6	2,7	2,7	3,2
Kimyasal Bileşimi (%, kuru halde)				
C	49,5	45,1		
H	7,47	6,92		
O	39,3	44,78		
S	0,17	<0,01	0,19	0,10
N	0,61	0,41		
CL	0,49	0,03		0,19
Ağır Metaller (mg/kg , kuru halde)				
Pb	3,9	0,9		
Cd	<0,8	<0,8		
Cu	2,1	3,0		
Hg	<0,02	<0,05		
Cr	2,1	<1		
Zn	48	45		
Ni	2,0	0,8		
As	<1	<3		
Kül Bileşimi (% Ağırlık)				
SO ₃	0,6	1,15	5,5	5,3
P ₂ O ₅	10,81	1,99	3,0	3,9
SiO ₂	37,88	75,73	45,3	48,1
Fe ₂ O ₃	2,03	1,82	1,6	1,7
Al ₂ O ₃	1,36	1,37	2,6	4,5
CaO	14,43	2,35	9,8	7,2
MgO	6,44	2,37	4,1	3,6
Na ₂ O	0,66	0,77	0,72	1,2
K ₂ O	23,38	6,49	22,4	20,5
TiO ₂	0,33	0,13	<0,1	0,16
Mn ₃ O ₄	0,87	0,13		

Örnek1,2

IEA kuruluşu tarafından yapılan çalışma örnekleri

Örnek 3,4

MIDKRAFT laboratuvaru tarafından yapılan çalışma örnekleri

Isıtma / ısınma sistemlerinde enerji üretimi için bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Araştırmalar, zirai ısınma sistemlerinde ısınma için yakıt olarak kullanılması ile ilgili yatırımların yapıldığını göstermektedir. Farklı hasat yöntemleri ile elde edilen ürünün yakıt özellikleri Tablo II.8.'de verilmiştir.

Tablo II.8. *Miscanthus*'un yakıt özellikleri (Jones,2001)

Hasat Metodu	1	2	3	4	5	6
Isıl Değer (üst), kcal /kg	4015	3991	4135	4015	4111	4087
Isıl Değer (gerçek), kcal /kg	3705	3681	3824	3705	3800	3776
% Nem İçeriği	5,4	5,7	9,6	5,4	10,0	12,1
% Kül (kuru halde)	1,9	2,6	2,5	2,0	2,0	2,6
% Uçucu Bileşen (kuru halde)	80,1	81,0	79,5	80,0	80,8	69,7
% Sülfür (kuru halde)	0,11	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11
% Sabit Karbon (hesaplanan)	18,5	17,5	16,3	18,5	15,5	16,0
% Hidrojen	5,3	5,3	5,4	5,3	5,4	5,4

Miscanthus ile ilgili yapılan bütün yakılma deneylerinde çıkan kül oranı yaklaşık % 2,5 bulunmuştur. Bu değer samanın yakılması ile elde edilen kül oranından düşüktür.

Miscanthus'un direkt olarak katı yakacak biçiminde kullanılması durumunda, birim enerji fiyatı, primer enerji girdi çıktı oranı ve çevresel CO₂ azaltımı yönünden en uygun kaynak olacağı, akademik araştırma ile saptanmıştır. Üst ısıl değeri de 3945 kcal/kg olup, düşük kaliteli linyitlerden yüksek bulunmaktadır. *Miscanthus*'un brüt yakacak verimi birinci yıl için 19 GJ/da.yıl kadar olmasına karşın, ikinci yıl 35 GJ/da.yıl düzeyine çıkabilmektedir. Bu açıdan ikinci yetiştirme yılında *Miscanthus* yetiştiriciliği 850 kep/da'a ulaşabilmektedir(<http://www.tusiad.org.tr/turkish/rapor/..>).

II.4.2.2. Selüloz-Kağıt üretiminde *Miscanthus* kullanımı

Kağıt hamuru için uygun bir hammadde olan *Miscanthus* gibi zengin köklü ve selülozik bitkilerin kullanımı son yıllarda artmaktadır. Şu an Avrupa'daki lifli selüloz açığı (yaklaşık yıllık 3000000 ton civarındadır) bize kağıt hamuru üretimi için zengin bitkisel kökleri ve selülozik bitkilerden *Miscanthus*'un kullanım potansiyeli olduğunu gözle görülebilir ölçüde göstermektedir.

Günümüzde kağıt hamuru üretiminde *Miscanthus*'un %1'lik bir kullanım alanı vardır. Avrupa'da gelişmiş ülkelerde kağıt hamuru üretiminde ağaçlardan faydalanmak yerine bu tür saman, bambu gibi lifli bitkiler kullanılmaya başlamıştır. Avrupa'da *Miscanthus*'tan kağıt hamuru üretimi için bir çok yatırım yapılmıştır.

Tablo II.9'daki değerler göz önüne alındığında Avrupa'da yetiştirilen *Miscanthus* kağıt hamuru üretiminde sert ağaçların yerini alabilir. Sert ağaçlardan elde edilen kağıt hamuru ile *Miscanthus*'tan elde edilen kağıt hamurunun aynı şartlarda işlem gördüğünde aynı ürün özelliklerini göstermektedir.

Tablo II.9. Kraft yöntemi ile *Miscanthus*'tan kağıt hamuru'nun teknik özellikleri

Dövme Derecesi (°SR)	18
Yoğunluk (g /cm ³)	0,63
Yırtılma Göstergesi (mN* m ² /g)	1,45
Patlama Göstergesi (Kpa* m ² /g)	32,5
Gerilme (%)	1,8

Acaroğlu (1996), *Miscanthus sinensis* “*Giganteus*” tan selüloz eldesi üzerine yapılan araştırmaları, bununla ilgili olarak ekonomik ve teknik değerleri ortaya koymaya çalışmıştır.

Yetersiz orman olan ülkelerde, bu çeşit bitkilerin kağıt üretiminde kullanılması alternatif bir yoldur ve bu konu üzerinde yapılan çalışmalar *Miscanthus*'un verimli olduğunu göstermektedir.

Yaşar (2002), farklı *Miscanthus* çeşitleri üzerinde, selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarlarının karşılaştırılması üzerine değerleri ortaya koymuştur.

II.4.2.3.Yapı Malzemelerinde *Miscanthus* Kullanımı

Miscanthus 'un yapı malzemelerinde fiber (mukavemet artırıcı /güçlendirici eleman) olarak kullanımı ilgi uyandırmaktadır. Avrupa Birliğinin desteklediği 1992 yılında gerçekleştirilen bir projede *Miscanthus* 'un yapı malzemesinde özellikle panel levhalar ve yapı tuğlaları kullanımı için araştırılmıştır. Buna ek olarak *Miscanthus* 'un yapı malzemelerinde endüstriyel ve ticari olarak daha yeni daha iyi çözümler elde etmek amacıyla araştırma gerçekleştirilmiştir(Jones, 2001).

Harvey ve Hutchens(1995)'in bulguları *Miscanthus*'un fiberli yapısı özellikle MDF levhaların üretiminde uygun olduğunu göstermiştir (Jones, 2001).

Hafif yapı malzemesi olan LNS üretiminde *Miscanthus* 'un kullanımı da söz konusudur. *Miscanthus* LNS malzemesinin alt ve üstünde bulunan tabakaların arasında öz olarak kullanılması araştırılmaktadır. *Miscanthus* 'un kullanılma sebebi bir çok bitkinin sapından daha uzun ve mukavemetli saplara sahip olmasıdır. Buna rağmen bu konu ile ilgili araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Yine yapı malzemesi olarak kullanılması ile ilgili yapılan bir çalışmada, öğütülmüş ve donatı şeklinde bitkisel fiberin kullanılması çalışmasında *Miscanthus* kullanılmış, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bitkisel fiber *Miscanthus* 'un fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo II.10 'da verilmiştir (Alatlı, 2003).

Tablo II.10. *Miscanthus* fiber'in fiziksel ve mekanik özellikleri (Alatlı, 2003)

Özellikler	Yoğunluk Kg/m ³	Su Emme Oranı %	Kopma Anındaki Birim Uzama %	Gerilme Dayanımı Mpa
<i>Miscanthus</i>	70	110.0	4.3	95 – 118

Kök biokütlesinin fazla ve sağlam şekilde çoğalması, *Miscanthus*'un daha farklı amaçlarda ülkemizde yapı sektöründe kullanılmasının araştırılacağını göstermektedir. Şekil II.9'da donatı şeklinde kullanılan *Miscanthus* görülmektedir.

**Şekil II.9.** Donatı şeklinde *Miscanthus*

II.4.2.4. Bioremediasyon ve *Miscanthus* kullanımı

Bakır, çinko ve arsenik nedeniyle kirlenmiş değişik toprak yapılarında ve maden artıklarında *Miscanthus*'un ağır metal toplama özelliği ve bu tür yerlerde büyüme özelliği üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Tablo II.11' de değişik toprak yapılarında *Miscanthus*'un üzerine aldığı ağır metallerin miktarı gösterilmektedir. elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; Kirlenmemiş topraklarda *Miscanthus*'un üzerine aldığı ağır metal oranı, kirlenmiş topraktakinden biraz daha azdır. Fakat maden artıklarında aynı oranda giderim gerçekleştirememiştir. Sonuç olarak bu tür enerji bitkilerinin arazi ıslahı gerektiren yerlerde kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Tablo II.11. *Miscanthus*'un ağır metal (uptake) alması ($\mu\text{g/g}$)
(Wilkins ve Redstone, 1996)

Toprak	1.yıl (1993 – 1994)				2.yıl (1994 – 1995)				
	Ağustos	Ekim	Ocak	Şubat	Mayıs	Temmuz	Ekim	Aralık	Ocak
Kirlenmemiş Toprak									
Cu 17	11	17	18	15	15	20	30	22	24
Zn 108	8	16	20	17	12	25	24	40	24
As 35	19	18	24	18	10	15	21	23	24
Kirlenmiş Toprak									
Cu 188	13	10	21	15	8	12	20	27	23
Zn 292	93	35	51	36	22	25	22	20	24
As 309	58	45	56	40	31	36	28	26	30
Maden Atığı									
Cu 924	12	15	20	10	12	26	29	34	29
Zn 165	41	56	50	18	10	18	27	32	30
As 2339	18	22	20	8	7	28	32	24	22

II.4.2.5. Kompost yapımında *Miscanthus* Kullanımı

Miscanthus'un şu anda zirai olarak üretilmiş gübre bileşeni, bitki büyüme besini olarak kullanımı üzerinde araştırmalar yapılmaktadır(Harvey ve Hutchens,1995 ;Molenaar ve ark.,1996).

Miscanthus iki farklı şekilde kompost yapılmaktadır. Bunlardan ilki organik gübre, bitki büyütücü ve arazi ıslah edici üretmek için işlenmiş çığ maddelerle kompost edilmesidir. İkincisi de *Miscanthus* 'un belediye katı atıkları, arıtma çamuru ve hayvansal atıklardan ayrılan ıslak organik atıkların biyolojik olarak birleştirilmesi yoluyla kompost edilmesidir.

II.4.2.6. Fermente ürünlerde *Miscanthus* kullanımı

Miscanthus yüksek selüloz ve lignin içeriğinden dolayı mayalanabilir pentoz şeker çözeltisi üretimi için ham madde olarak kullanılabilceği değerlendirilmiştir.

Papatheofanous ve ark. (1996)'nın bulgularına göre iki aşamalı kimyasal arıtmadan sonra orijinal pentosanların %86'sı fermante edilebilir şeker çözeltisine hidrolize edilmiştir (Jones,2001).

Yine aynı eserde, yenilenebilir enerji kaynaklarından biyoteknolojik dönüşümler yoluyla nişasta, selüloz, lignin, protein, şeker, yağ ve yakıt eldesi hakkında bilgi vermişlerdir (Acaroğlu,1996).

II.4.2.7. Diğer alanlarda *Miscanthus* kullanımı

Miscanthus ile ilgili yapılan tartışma, rapor, yayın ve araştırmalar sonucunda son yıllarda hasattan sonra kullanım amaçları ekonomik olarak bir ilgi uyandırmaktadır ve ticari olarak düşünülmektedir. Bunun yanında paketleme malzemesi olarak, döşeme (yer) malzemesi olarak ve süs bitkisi olarak kullanım alanları da mevcuttur (Molenaar ve ark., 1996 ; Harvey ve Hutchens, 1995).

II.4.2.8. *Miscanthus*'un atıksu arıtımında kullanılması

Kyambadde ve ark. (2004), Kampala/Uganda'da tropikal bir iklimde ekilmiş sulak alan uygulamasını denemişler ve bu çalışmalarında, *Cyperus Papyrus* ile *Miscanthus* bitkisinin arıtma verimini incelemişlerdir. Aynı ortam şartlarında karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlar, Amonyak-N giderimi ve Toplam Fosfor giderim verimlerini izlemişlerdir. Tropikal iklimde yapılan bu çalışmada *Cyperus Papyrus*'un %75,3 Amonyak-N'u ve %83,2 Toplam Fosfor giderdiğini, *Miscanthus*'un %61,5 Amonyak-N'u ve %48,4 Toplam Fosfor giderdiğini gözlemlemiştir. Yine çalışmalarında *Cyperus Papyrus*'un köklerine yapışan bakteri sayısının, *Miscanthus*'un köklerine yapışan bakterilerden fazla olduğunu gözlemlemiştir. Sonuç olarak *Cyperus Papyrus*'un atıksu arıtımında *Miscanthus*'dan daha elverişli olduğunu savunmuşlardır.

Ülkemizde alternatif enerji üretimi üzerine çalışılan, üretimi denenmiş olan, TÜSİAD tarafından üretiminin teşvik edildiği ve desteklendiği *Miscanthus* bitkisinin, aynı zamanda küçük yerleşim yerlerinin atıksu arıtımı için değerlendirilebileceği düşüncesi araştırılmaya değer bulunmuştur.

II.5. Sulak Alanlarda Kirletici Giderim Mekanizmaları

II.5.1. Ekilmiş sulak alanlarda organik madde giderim mekanizması

Ekilmiş sulak alan sistemlerinde karbon bileşenleri birbirinden fazlasıyla etkilenirler. Sulak alanlarda karbon döngüsü etkindir ve bu yolla ekosisteme karbon sağlanır. Gerçekleşen birçok proseste enerji dışarıdan karbon alımı ve ayrışma proseslerinde oluşan karbonla sağlanır. Arıtım için kullanılan sulakalanlar verilen atıksu ile fazlaca karbonla beslenir. Evsel atıksulardaki organik karbon için en çok kullanılan ölçüm metodu BOİ'dir. Sulakalan sisteminde ayrışabilir karbon hemen harcanır. Ancak; aynı zamanda çeşitli sulakalan ayrışma prosesleri de karbon üretirler. Karbon alımı ve üretim arasındaki denge dışarıya verilen karbon miktarını belirler. Sulakalan sisteminde çevrilen karbon miktarı atıksu ile verilen karbon miktarından fazladır. Bu oluşum da atıksuda karbon arıtımını sağlar. Sulakalan sisteminde fotosentez için bitkilere CO₂ gereklidir. Birçok mikroorganizma solunum ürünü olarak CO₂ bırakır. Birçok ara proses, metan gibi CO₂'nin de mikrobiyal yollarla üretilmesine olanak verir. Bütün gazlar suda belirli miktarlarda çözündüklerinden sistemden atmosfere veya atmosferden sisteme sürekli bir karbon transferi söz konusudur(Kadlec ve Brix, 1995).

II.5.1.1. Ekilmiş sulak alanlarda inorganik karbon

Sulak alanlarda oluşan yüzlerce karbonlu bileşik vardır ve bunlardan ancak küçük bir kısmı inorganiktir. Çözünmüş inorganik karbon, karbondioksit, karbonat ve bikarbonat içerir. Sulu çözeltisinde, başlıca karbonat türleri atmosferik karbondioksite bağlıdır. Bu durum da çözeltinin pH ve sıcaklığı ile ilgilidir.

Aynı sulak alan sisteminde CO₂'in üretimi ve harcanmasıyla sudaki kimyasal denge de göz önüne alınır. Birçok katyon sudaki karbonatın çökmesine sebep olur. En önemlisi CaCO₃'ün kimyasal çökmesidir(Gleason, 1972). Analitik yöntemler, toplam alkalinite ve fenolftalein alkalinitesini belirlememizi sağlar. Böylece karbonat, bikarbonat ve hidroksil alkalinitesi hesaplanabilir. Sulak alan sistemlerinde karbonatı çökeltten bazı katyonlar ve çökelekler aşağıda verilmiştir Kalsit : CaCO₃ Aragonit : CaCO₃ Magnezit : MgCaCO₃ Dolomit : CaMg(CO₃) (Kadlec ve Knight, 1996).

II.5.1.2. Ekilmiş sulak alanlarda organik karbon

Sulak alandaki biyokütlenin; büyüme, ölüm, ayrışma fazları karbon dönüşümünde biyokütle ile karbon ihtivasi arasında kuvvetli bir ilişki sağlar. Sulak alan bitkilerinde kuru ağırlığın ortalama % 40' ı karbondur. Sulak alanda büyüme, ölüm ve kısmi ayrışmada atmosferik karbon kullanılır ve böylece gazlar, çözünmüş organikler ve katı maddeler oluşur. Gaz olarak metan ve (CO₂) ortaya çıkar. Hümik madde diye adlandırılan çözünebilir, büyük organik moleküller suya verilir. Ayrışma sonucu arta kalan organik çökelektir ve bu da selüloz ve lignin yapısındadır. Sulak alan toprağında bulunan organikler fülvik madde, hümik madde ve hümin olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma; asitte çözünebilir, bazda çözünebilir ve çözünemeyen olarak yapılır. Sulak alandaki içsel karbon çevrimi geniştir. Ayrışmadaki son ürünler (atık) sulak alan sistemine geri döner(Mitsch ve Gosselink, 1993).

Suya geri dönen net BOİ₅ ; toprakta ve atıkta olan birçok karışık proses sonucu ortaya çıkar. Çözülebilir ve partikül halde olan karbonlu bileşiklerin üretiminin katıların ayrışması sonucu olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla su yüzeyinde BOİ₅'e rastlanmaz. Kuvvetli bir atıksuda büyük miktarlarda besi maddesi vardır. Bu da biyokimyasal çevrimi stimüle eder, dolayısıyla böyle sulak alanlar ötrofikdir ve sonuçta yüksek değerlerde BOİ₅ değerleri verir(Burgoon , 1993).

Ayrışma reaksiyonları kabaca aşağıdaki gibi verilebilir(Mitsch ve Gosselink, 1993; Burgoon, 1993). Bunlar sulak alan sistemlerinde değişik şekillerde cereyan etmektedirler. Aerobik bölgelerde aerobik solunum (II.5.1), anaerobik bölgelerde fermantasyon (II.5.2) (II.5.3) ve diğer anaerobik reaksiyonları(II.5.4) (II.5.5), nitratın bulunduğu ortamlarda anoksik reaksiyonlar meydana gelir(II.5.6) (II.5.7).



Anaerobik bölgelerde fermantasyon



Anaerobik bölgelerde metanojenesis



Anaerobik bölgelerde sülfat indirgenmesi

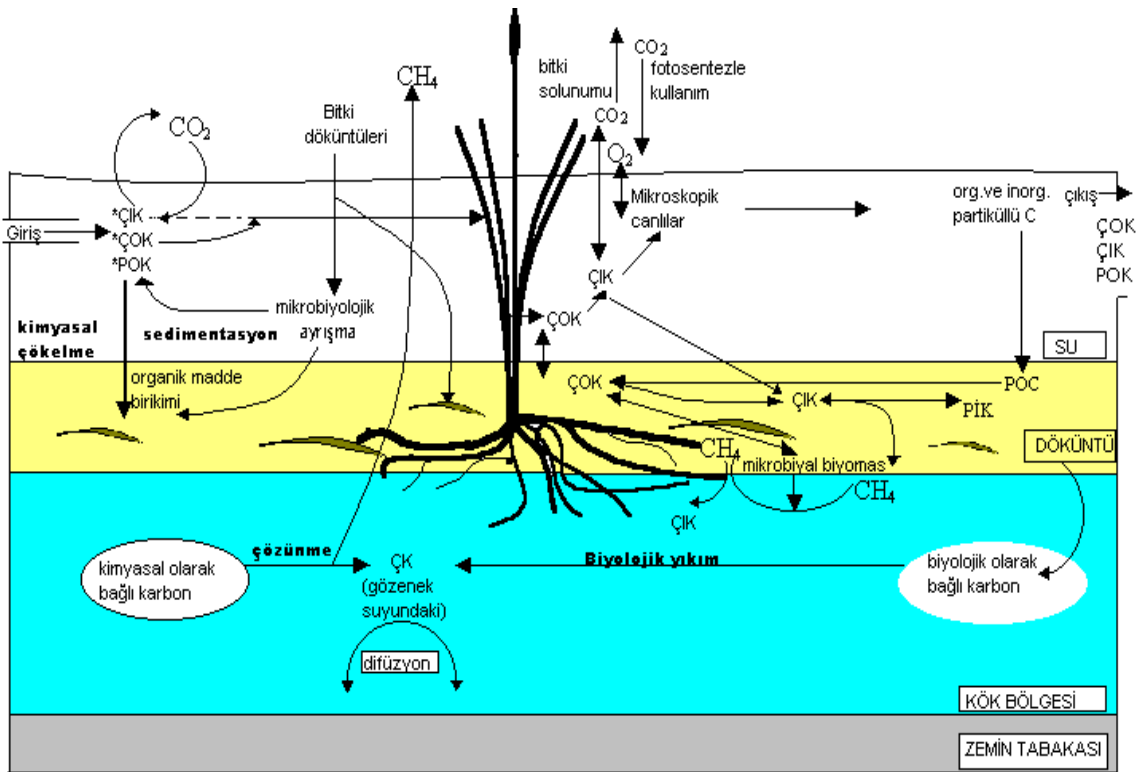


II.5.1.3. Ekilmiş sulak alanlarda karbon çevrimi

Sulak alanlarda karbon hızlı bir şekilde ayrışmaktadır. Bu sistemde bitkiler fotosentez yaptıklarından CO₂'e ihtiyaç duyarlar. Birçok organizma solunum yoluyla CO₂ bırakır ve çeşitli ara yollarla CH₄ gibi CO₂'in de mikrobiyolojik yollarla üretilmesine sebep olur. Bütün gazlar suda belirli miktarlarda çözündüklerinden sistemden atmosfere veya atmosferden sisteme karbon transferi sağlanır. Karbonun suda bulunma şekilleri aşağıdaki gibidir:

- Toplam karbon çözünmüş ve askıdaki formlar
- Partikül karbon : organik ve inorganik formlar
- Çözünmüş karbon : organik ve inorganik formlar
- İnorganik karbon : çözünmüş ve askıda formlar
- Çözünmüş ve inorganik karbon : CO_2 , CO_3 , HCO_3
- Toplam organik karbon : çözünmüş ve askıda formlar
- Çözünmüş organik karbon

Sulak alanlardaki büyüme, ölüm ve kısmi ayrışmada atmosferik karbon kullanılmaktadır. Bu sistemlerdeki karbon çevrimi Şekil II.10'de verilmektedir.



(ÇİK: çözünmüş inorganik karbon, ÇOK: çözünmüş organik karbon, POK: partiküler organik karbon)

Aerobik bölgedeki respirasyon; $C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ (karbonhidratlar) = $6CO_2 + 6H_2O$

Anaerobik bölgedeki fermantasyon; $C_6H_{12}O_6$ (karbonhidratlar) = $2CH_3CHOHCOOH$ (laktik asit)

yada $2CH_3CH_2OH$ (etanol) + $2CO_2$

Anaerobik bölgedeki metan oluşumu; $4H_2 + CO_2 = CH_4 + 2H_2O$, CH_3COO^- (asetat) + $4H_2 = 2CH_4 + H_2O + OH^-$

Anaerobik bölgedeki sülfat indirgemesi; $2CH_3CHOHCOO^- + SO_4^{2-} + H^+ = 2CH_3COO^-$ (asetat) + $2CO_2 + 2H_2O + HS^-$

Şekil II.10. Sulak alanlarda karbon çevrimi(WPCF, 1990)

II.5.2. Ekilmiş sulak alanlarda azot giderim mekanizması

II.5.2.1. Ekilmiş sulak alanlarda azot giderimi

Azot giderimi, akuatik arıtma sistemlerinde mikrobiyel denitrifikasyon ve bitki hasadı yolu ile olabilir. Nitrifikasyonla üretilen nitrat, denitrifikasyon ve bitki aracılığı ile giderilmektedir. Nitrifikasyonu takip eden denitrifikasyonun başlıca azot giderim mekanizması olduğu yapılan araştırmalarda sonuç olarak ortaya çıkarılmıştır.

Azot (N) bileşikleri, ötrofikasyondaki rolleri, alıcı sulardaki oksijen içeriğine etkileri ve suda yaşayan omurgalı ve omurgasız türlere olan toksik etkileri nedeni ile atıksuyun içeriğindeki temel bileşikler arasındadır. Bu bileşikler, sırası geldiğinde vahşi hayatın üretimini kısıkırtan bitki büyümesinde oynadıkları faydalı rol ile de dikkate değerdir.

Sulak alanlar, biyosferdeki atmosferik gazlara, global olarak farkedilir miktarda CH_4 , CO_2 , H_2S ve N_2O katmaktadır. Sulak alanlarda, özellikle ticari olanlarda (pirinç çeltikleri) atmosferden azot gazının fiksasyonu da büyük ölçülerde gerçekleşmektedir. Sulak alanlardaki anoksik koşullar atmosferik metan ve H_2S akışına katkıda bulunurlar ve denitrifikasyona da neden olurlar.

Sulak alan sistemlerinde NH_3-N , NO_2-N , NO_3-N , N_2O , çözünmüş elementel azot, amin, üre, aminoasit, pürin, pirimidin bulunmaktadır. Amonyak azotu bitkiler tarafından besi maddesi olarak kullanılarak ve kimyasal olarak indirgenerek azot çevriminde roller oynamaktadır. NH_3-N düşük konsantrasyonlarda su ortamındaki yaşama toksik etkide bulunmaktadır. NO_3-N bitki gelişimi için önemli bir besi maddesidir. Organik azot amonifikasyonla amonyak azotuna dönüşür. Organik azot ise biyokütlenin ayrışması ile oluşur. Amonyak, nitrifikasyon, absorblama, bitkinin kendi bünyesine alması ve amonyak uçması ile kaybolmaktadır. Nitrat, nitrifikasyon sonucu oluşmaktadır. Denitrifikasyon ve bitki bünyesine geçişle harcanmaktadır.

Sulak alan sistemlerinde organik azotun amonifikasyonu sonucu oluşan azot, nitrifikasyon işleminden geçer ve toplam azot denitrifikasyon sonucu giderilebilir. Amonifikasyon için optimum sıcaklık aralığı 40-60°C, pH aralığı ise 6.5-8.5 olarak bulunmuştur (Reddy ve Patrick, 1984). Doğal alanlardaki amonifikasyon hızının ölçümlerinde 3-35 mg N/m².gün (Zak, 1991) ve Minnesota alanında 4.3-5.9 g/m².yıl olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Florida'daki organik topraklarda azot mineralizasyon hızı 41-125 g/m².yıl (Reddy, 1985) ve 22 g/m².yıl (Messer ve Brezonik, 1977) olarak bulunmuştur.

Nitrifikasyon prosesi sulak alan sistemlerinde amonyağın ototrofik bakterilerce indirgenerek nitrat oluşumunun sağlanması şeklinde olmaktadır. Bu proses nitrosomonas ve nitrobakterler tarafından gerçekleştirilmektedir (Kadlec ve Knight, 1996). Denitrifikasyon ise heterotrofik mikroorganizmalar tarafından oluşmakta olup, proses hızı ortamdaki organik karbon tarafından tespit edilebilmektedir (Reddy, 1985).

II.5.2.1.1. Ekilmiş sulak alanlarda Azot Formları

Azot elementinin atomik ağırlığı 14.01 g/mol'dür ve dış elektron kabuğunda 5 elektron bulunan bir atomik yapıya sahiptir. Dış kabuğunda 3 elektron pozisyonu mevcut olduğundan azot +5 ile -3 arasında değişen oksidasyon durumları içeren değişken stabilitelede bileşikler oluşturabilir. Bu bileşikler tüm biyolojik yaşama gerekli birçok çeşit inorganik ve organik azot formlarını kapsar.

Sulak alanlarda azotun en önemli inorganik formları amonyak (NH₄⁺), nitrit (NO₂⁻), nitrat (NO₃⁻), nitroz oksit (N₂O) ve çözünmüş element haldeki azot ya da diazot gazı (N₂)'dir. Azot sulak alanlarda üre, aminoasitler, aminler, pürinler ve pirimidinleri de kapsayan bir çok organik formda da bulunabilir. Azotun bu formlarının kimyasının temel kavramı, sulak alan arıtma sistemlerinin dizaynı için çok önemlidir.

II.5.2.1.2. Ekilmiş sulak alanlarda inorganik azot

Amonyak azotu, su sıcaklığına ya da pH' a bağlı olarak ya üç ya da dört hidrojen atomuna sahip tek bir kimyasal indirgenmiş azot atomundan oluşur.



NH_3 iyonlaşmamış amonyak, NH_4^+ ise iyonlaşmış amonyaktır (amonyum iyonu). Toplam amonyak iyonlaşmamış ve iyonlaşmış amonyağın toplamına eşittir. Çoğu sulakalan sistemlerinde iyonlaşmış amonyak baskındır ve burada amonyum azotu olarak gösterilmiştir. 25 °C' lik ve pH 7'lik ortalama bir çevresel durum için, iyonlaşmamış amonyak, mevcut toplam amonyağın sadece % 0.6' sıdır. 9.5' luk bir pH ve 30 °C' lik sıcaklıkta, iyonlaşmamış formun, mevcut toplam amonyakta yüzdesi % 72' ye yükselir. Düşük pH ve sıcaklık derecelerinde, bu yüzde belirgin olarak düşer. Yüksek pH ve sıcaklık durumlarında, iyonlaşmamış amonyağın buharlaşması lagünlerden (Reed ve Brown, 1995) ve sulak alanlardan amonyak kaybı ile sonuçlanır. Sulak alanlarda ve diğer yüzeysel sularda amonyak azotu üç nedenle önemlidir:

1. Bir çok sulak alan bitki türleri ve ototrofik bakteri türleri için amonyak, azotun nütrient olarak tercih edilen formudur.
2. Amonyak kimyasal olarak indirgenebilir ve bu nedenle, doğal sularda, belirgin oksijen tüketimine neden olarak hemen yükseltgenir (yükseltgenen 1 gram amonyakta yaklaşık 4.3 gram oksijen tüketilir).
3. İyonlaşmamış amonyak düşük konsantrasyonlarda sudaki yaşamın bir çok formlarına toksik etki yapar (genellikle 0.2 mg/L' den büyük konsantrasyonlarda). Amonyagın birçok atıksuda bulunan azotun temel formu olması ve sulak alanların ve diğer alıcı suların çevresel durumunu bozmaktaki potansiyel rolü nedeni ile bir çok sulak alan sisteminin projelendirilmesi prosesini, amonyak konsantrasyonu azaltmak üzerine yürütülür.

II.5.2.1.2.1. Ekilmiş sulak alanlarda nitrit

Nitrit (NO_2), azotun amonyak (-3) ve nitrat (+5) arasındaki orta yükseltgenme halidir (oksidasyon durumu +3). Bu orta enerjik durumu nedeni ile, bir çok sulak alanda nitrit kimyasal olarak kararlı değildir ve çok düşük konsantrasyonlarda bulunur. Sulakalanlarda nitritin belirlenebilen düzeyleri genellikle tamamlanmamış azot asimilasyonunu ve antropojenik azot kaynağının varlığını belirtir.

II.5.2.1.2.2. Ekilmiş sulak alanlarda nitrat

Nitrat sulak alanlarda bulunan azotun en çok yükseltgenmiş formudur (oksidasyon +5). Bu oksidasyon durumu nedeni ile, nitrat kimyasal olarak kararlıdır ve bir çok enerji tüketen biyolojik azot taşınım prosesleri oluşmadıkça değişmeden kalacaktır.

Nitrat, bitki büyümesi ile gerekli bir nütrient olarak da işlev yapar ve dahası yüzeysel sularda nitrat ötrofikasyona neden olur. Nitrat ve nitrit su kalitesi kontrolünde de önemlidir, çünkü kirlenmiş yüzeylelerden ya da yeraltı suyu kaynaklarından elde edilen içme sularında da bulunması halinde yeni doğanlara zehirli etkisi vardır (methyoglobinemia olarak bilinen öldürücü durumu oluşturur).

II.5.2.1.2.3. Ekilmiş sulak alanlarda gaz ve atmosferik azot formları

Gaz azot, diazot (N_2), nitroz oksit (N_2O), nitrik oksit (NO_2 ve N_2O) ve amonyak (NH_3) olarak bulunur. Normal çevresel koşullar altında; diazot, atmosferdeki tek belirgin gaz bileşendir ve hacimsel olarak havanın yaklaşık %78'ini oluşturur. Nitroz oksit, mikrobiyal denitrifikasyonun bir ara ürünüdür ve asetilen blokaj tekniği yoluyla sulakalanlarda bu prosesin belirlenmesinde kullanılabilir (Reddy ve Patrick, 1984).

Atmosferik azot, bulut damlacıkları ve böylece yağmurla birlikte çözülmüş formları da kapsar. Nitrit oksit ve amonyak suda çözünebilir ve su ile çözünebilen iyonize formlar (nitrat, NO_3 ve amonyum, NH_4^+) oluşturmak üzere reaksiyon verebilir. Amonyak buharlaşması ve fosil yakıt yanması gaz formları atmosfere gönderir, yağış bunları tekrar yeryüzüne döndürür.

Oksijen gibi, diazot gazı ve nitroz oksit, yüzey suları da atmosferdeki kısmi basınçlarıyla orantılı olarak çözülmüş formda bulunabilirler. Bununla birlikte, çözülmüş azot gazının çözülmüş oksijene benzemeyen yanı, çözülmüş azot gazının bolluğuyla karşılaştırıldığında çok düşük bir biyolojik aktivitesi olması ve tipik olarak konsantrasyonların sadece sıcaklık değişimlerine tepki olarak değişmesidir. Diazot gazı doygunluk konsantrasyonları 0°C ' de 19 ml/L civarında ve 25°C 'de 12 ml/L arasında değişir (Hutchinson, 1975).

II.5.2.1.3. Ekilmiş sulak alanlarda organik azot

Organik azot; amino asitler, üre ve ürik asit ve pürin ve pirimidinleri de içeren çeşitli bileşiklerden oluşmuştur. Bir su örneğindeki organik azot miktar fonksiyonel olarak $\text{NH}_4\text{-N}$ azotu konsantrasyonu, organik ve amonyak azotunun bir ölçütü olan toplam Kjeldahl azotundan (TKN) çıkarılarak bulunur.

II.5.2.1.3.1. Ekilmiş sulak alanlarda aminoasitler

Aminoasitler yaşamın bütün formları için gerekli olan kompleks organik bileşikler grubu olan proteinlerin ana bileşenleridir. Aminoasitler bir çok düzgün karbon zincirli ve aromatik organik bileşiklerin bağlantı atomuna bağlı bir amin grubu ($-\text{NH}_2$) ve bir asit grubu, proteinleri oluşturan peptid zincirlerinin oluşumunda çok önemlidir. Canlı organizmalarda bulunan binlerce proteinleri oluşturmak için sadece 20 değişik aminoasit kombine olur. Azot, aslında amino asitler, protein içeriğine bağlı olarak, bitki ve hayvanların genellikle % 1 ila 7' sini oluşturur.

II.5.2.1.3.2. Ekilmiş sulak alanlarda üre ve ürik asit

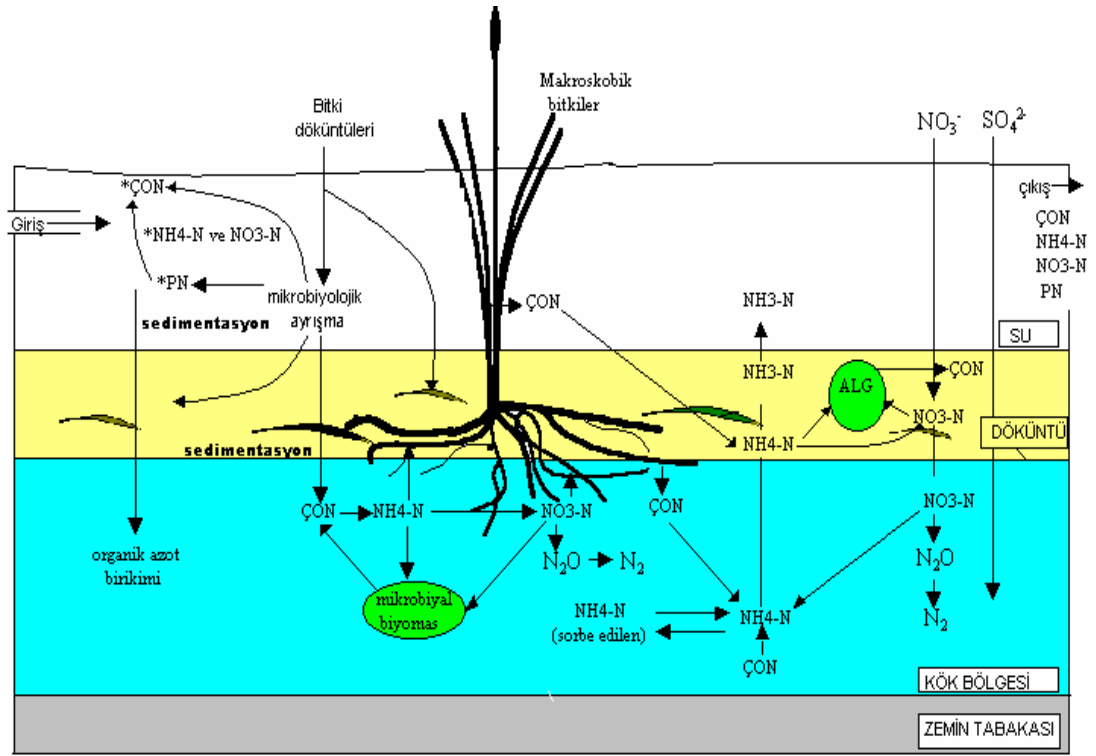
Üre (CNH_4O) ve ürik asit ($\text{C}_4\text{N}_4\text{H}_4\text{O}_3$), sulakalan sistemlerinde organik azotun en basit formlarıdır. Üre, memeliler tarafından, aminoasitlerin, enerji üretimi için kullanılması sonucu, amonyağın atılması için fiziksel bir mekanizma olarak üretilir. Amonyak toksik olduğu için, karbon dioksit ilavesi ile, daha az toksik bir forma, üreye dönüştürülmelidir. Aynı amaçla, haşere ve kuşlar tarafından ürik asit üretilmektedir. Azotun bu organik formları, sulak alan arıtımında önemlidir; çünkü bunlar, amonyağın serbest kalması ile sonuçlanacak şekilde mikrobiyal ya da kimyasal olarak kolayca hidrolize olurlar.

II.5.2.1.3.3. Ekilmiş sulak alanlarda pirimidinler ve pürinler

Pirimidinler ve pürinler, azotun aromatik halkada iki ya da daha fazla karbon atomunun yer aldığı heterosiklik organik bileşiklerdir. Pirimidinler, tek bir heterosiklik halkadan ibarettir ve pürinler iki birbirine bağlı halkadan oluşur. Bu bileşikler, canlı organizmalarda DNA' yı oluşturan ana yapı taşları nükleotidleri oluşturacak amino asitlerden sentezlenir.

Azot çevrimini incelemek için üç farklı karşılaştırma yapılabilir(Kadlec ve Knight, 1996):

1. Sürekli su altında olanlara karşılık periyodik olarak su altında olan sulak alanlar. (Alanın mevsimsel kurumasının, nütrient giderimi üstünde önemli etkisi vardır).
2. Hiç buzlanmayanlara karşılık; düşük sıcaklıklar, fiziki donma çatlama ve tuzların donma konsantrasyonu vs. nedeni ile azot döngüsünün kesikli olduğu periyodik olarak karla kaplı ya da donmuş sulak alanlar.
3. Köklü olanlara karşılık yüzen sulak alanlar. (Köklü sulakalanlarda baskın bitkiler (ör. *Phragmites*, *Typha*) sedimente kök salmışlardır ve sediment de azot döngüsünde baş rolü oynar) (Şekil II.11).



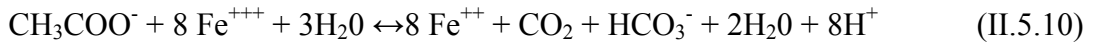
(ÇON: çözülmüş organik azot, PN: partiküler azot)

Şekil II.11. Sulak alanlarda azot çevrimi(WPCF, 1990)

Anaerobik bölgelerde nitrat indirgenmesi:



Anaerobik bölgelerde demir indirgenmesi:



Bağlı yüzdeler Burgoon (1993) tarafından karbon kaynağı asetat kullanılarak ve yüzeyaltı akışlı sulak alan sisteminde incelenmiştir. Çıkan sonuçlar fiziksel ya da kimyasal koşullar olsun her yolun önemli olabileceğini göstermiştir.

Yüzey akışlı sistemler de, bitkiler yoğun bir yüzen biyokütle oluşturur ve azot döngüsü (ve diğer nütrientler) bitki örtüsünden suya aktarılır ve geri döner. Bu tür alanlar tipik olarak büyük tropik alanlardır ve örnekleri Afrika'nın papirüs bataklıklarını kapsar. Sulak alan toprakları mineral ya da organik olabilir ve azot çevriminin oldukça farklı şekillerini gösterebilirler(Kadlec ve Knight, 1996). Şekil II.8 bu durumun şematik bir sunumudur ve alan yapısını azot çevrimindeki önemli özellikleri ile birlikte sunar. Fotosentezin büyük çoğunluğu havada gerçekleşir; fakat solunum ve dekompozisyon suda ya da sedimentlerdedir. Bu nedenle anoksik ortama doğru bir eğilim vardır. Ototrofik azot tutucuları genellikle suların yüzeyinde, bitki gövdeleri, kökler gibi substratlara tutunmuşlardır. Yüzücü bitkiler genellikle sulak alanların iki katman kök oluşturan bileşenleridir: Birincisi su yüzeyinin hemen altındadır ve diğeri sedimentlerin içerisinde. Bu sulak alanlarda tüm kök dokusu yüzücü örtü ile birleşiktir.

Bir çok azotlu kimyasal türler, bir reaksiyon serisi ile birbiriyle bağlantılıdır. Azot, sulakalanlarda bir çok değişik formda özelleşmiştir ve suya karışıp emilmiştir. SYS sistemi, farklı azot reaksiyonları gösteren dikey bölgelere tabakalar halinde ayrılmıştır ve daha sonraki tamamlayıcı faktör, münferit bitki köklerinin etrafındaki mikroçevreler, hacimsel çevrelerine göre değişebilirler (Reddy ve D'Angelo, 1994).

II.5.3. Ekilmiş sulak alanlarda fosfor giderim mekanizması

Fosfor, bitkinin gelişimi için gerekli bir nütrient ve sınırlayıcı bir faktördür. Bu sebeple eser miktarlarda bile karışımı su ekosistemi üzerinde önemli etkiler yapar. C:N:P' nin biyokütlerdeki oranı 106:16:1' dir. Bu oran biyokütleyi oluşturan nütrientlerin bir ölçütüdür. Atıksularda çoğunlukla bu orana rastlanmaz. Dolayısıyla, bir atıksuyun ortama verilmesi halinde nütrientler arasında bir oransızlık olur. Çoğunlukla atıksularda fosfor fazlalığı görülür.

Fosforca zengin atıksuyun alıcı ortama verilmesiyle sulak alan ekosistemleri değiştirilebilir. İster doğal, ister yapay olsun bir sulak alana yeni bir su ve fosfor kaynağı sağlandığında sistem buna cevap verir. Fosfor girişı çok fazla ise arıtma suretiyle bu girişin ekosistemin kaldırılabilceği bir seviyeye düşürülmesi sağlanmalıdır. Fosfor giderilmesi arıtma teknolojileri açısından zor bir teknolojidir.

Konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında, sulakalanda arıtım genel olarak çok alan gerektiren bir teknolojidir. Fosfor gideriminde kullanılan sulakalanlarda araziye olan ihtiyaç diğer bütün sulakalan sistemlerine göre çok fazladır. Fosforun doğal kaynağı yüzeysel su girişimleri ve atmosferdir. Çıkışlar ise dışarı akım ve yeraltı sularına sızmayla olabilir. Yeraltı sularından girişim ve buharlaşarak atmosfere karışım daha azdır. Fosforun bitkilerin bünyesine alınma yoluyla giderimi henüz tam olarak aydınlatılamamıştır. Yüzen akuatik bitkilerin hasatı daha kolaydır ve TP, %20'den daha büyük bir oranda Su Sümbülü (*Water hyacinth*) ile giderilebilmektedir(Fisher ve Reddy, 1987).

II.5.3.1. Ekilmiş sulak alanlarda fosforun su ortamındaki kimyası

Sulak alan içerisindeki temel fosfor bileşikleri: çözünmüş, katı mineral ve katı organik fosfor şekindedir. Bir sulak alan içerisindeki fosfor formları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1-Suda çözünmüş (sıvı halde)

2-Filtreden geçirilmiş (0.45 µm) örnekler üzerinde uygulanan prosesler:

-Ortofosfat (P₀₄-P): Bu fosforun ortak formudur.

3-Suda çözünmüş veya askıda (su ile birlikte askıdaki katılar) fosfor:

-Toplam reaktif fosfor (TRF) Toplam hidrolize olabilir asit fosfor (THAF)

-Toplam fosfor (TP)

-Toplam organik fosfor (TOF)

4-Zemin parçacıklarının yüzeyine tutunmuş fosfor:

-Tutunmuş fosfor nemli zemin numunelerin çıkarılan yumuşak parçalarının kullanılmasıyla uzaklaştırılır.

-Çıkarılan tipik parçalar su veya bikarbonat ihtiva ederler. Herhangi bir çözünmüş form için analiz yapılabilir.

5-Biyokütle yapısına dahil fosfor:

-Parçalanmış biyokütle numuneleri halindeki P_{0_4-P} ' nin analizi ile toplam fosfor elde edilir.

-Parçalanma, tekrar çözünmeyi takip eden kuru veya ıslak kül şeklinde olabilir.

6-Zemin parçacıklarının yapısına dahil fosfor:

-Kati haldeki fosforun dahili yapısal formu ıslak zemin numunelerinden çıkarılan sert parçalar kullanılarak ortadan kaldırılır. Tipik çıkarılmış parçalar aşağıdakileri ihtiva etmektedirler.

-Sodyum hidroksit (0.1 M) çıkarılmış parçadaki ÇRF demir ve alüminyum bağ teşkili fosfordan oluşur. Çıkarılmış parçadaki toplam fosfor (TF-ÇRF) hümik ve fulvik asit ihtiva eden organik fosfordan oluşur. Hidroklorik asit (0.5 M) çıkarılmış parçalardaki ÇRF kalsiyum bağ teşkili fosfordan oluşur. Parçalanmış biyokütle numuneleri halindeki P_{0_4-P} 'nin analiziyle toplam fosfor elde edilir. Parçalanma tekrar çözünmeyi takip eden kuru veya ıslak kül şeklinde olabilir.

Sulak alanlarda; tüm fosfor formlarının birbirine dönüşümü için uygun bir ortam sağlanabilir. Çözülmüş fosfor, bitkiler tarafından alınarak hücre fosforuna çevrilir veya sulak alan toprağı ve çökelen maddelerce tutulur. Eğer organik kısım oksitlenirse, organik fosfor; çözülmüş fosfor olarak serbest kalır. Sulak alan ortamındaki temel fosforlu bileşikler çözülmüş P, partiküler P ve partiküler organik P'dir.

pH'a bağılı olarak temel inorganik türlerin kimyasal ayrışma reaksiyonları:



şeklindedir.

Reddy ve D'Angelo(1994)'e göre sulakalan toprağındaki başlıca oluşumlar şöyledir;

- 1) Asidik toprakta P; Al ve Fe. ile. birleşir.
- 2) Alkali toprakta. P; Ca ve Mg ile birleşir
- 3) Düşük redoks potansiyelinin olduğu koşullar Fe minerallerinin çözümüne yol açar ve çözültideki fosfor,. bileşiklerinden serbest kalır. Eğer serbest sülfid böyle bir ortamda bulunuyorsa, demirsülfid oluşur ve Fe' nin fosfor ile mineralizasyonuna engel olur.

Fosforun gaz fazlı bileşiğı PH₃ (fosfin), sulakalan ortamında önemli bir yeri olan bileşiktir(Gassman ve Glindemann, 1993). Fosfin, suda çözünebilir, fakat yüksek bir buhar basıncına sahiptir.

II.5.3.2. Ekilmiş sulak alanlarda fosforun bitkilerdeki kimyası

Fosfor; tüm canlı organizmaların yapısında bulunur. Dolayısıyla her türlü sulak alan canlısının yapısında mevcuttur. Çeşitli bitkilerin kuru yaprak ağırlığıının %0.1-0.4'ü fosfordur. Bir sulak alanda, nütrient miktarı artarsa organizmalardaki fosfor konsantrasyonu da artar. Ölü bitki hücrelerinin fosfor içeriğı canlı hücrelerinkinden azdır.

Genel olarak, bir sulak alan giderdiği fosfor miktarı bitkilerin tek bir büyüme mevsiminde ortamdaki aldıkları fosfor miktarından çok azdır. Tüm sulak alan canlıları; büyüme, ölüm ve kısmi ayrışmadan oluşan bir çevrim içinde bulunurlar. Sulak alanlardaki canlı organizmalar, büyümeleri için fosfora ihtiyaç duyarlar. Fosforun en hızlı bünyeye alımı bakteri, mantar gibi mikroskobik, canlılarca gerçekleştirilir. Çünkü bu organizmalar çok hızlı büyür ve çoğalırlar. Öte yandan, mikrofitler fosforu daha yavaş kullanırlar. Fosforun bir kısmı, suyun içinde bulunan bitki kökleri tarafından alınır. Büyük bir kısmı ise toprak altında bulunan kökleri tarafından alınır. Bu da fosforun toprağın içinde aşağıya doğru hareket ettiğini ortaya çıkarır. Fosforun bir besin oluşu sebebiyle bu elementin ortama ilavesi bitkinin büyümesini hızlandırır. Fosfor, sadece bitkilerin üremesi için değil, onların daha fazla büyümesi için kullanılır. Bu, sonuçta daha fazla artığın ortaya çıkmasına yol açar. Biyokütadaki fosfor miktarındaki artış, hızlı ancak kararsız bir süreçtir. Dolayısıyla bitkinin fosforu bünyesine alması kalıcı bir giderme değildir.

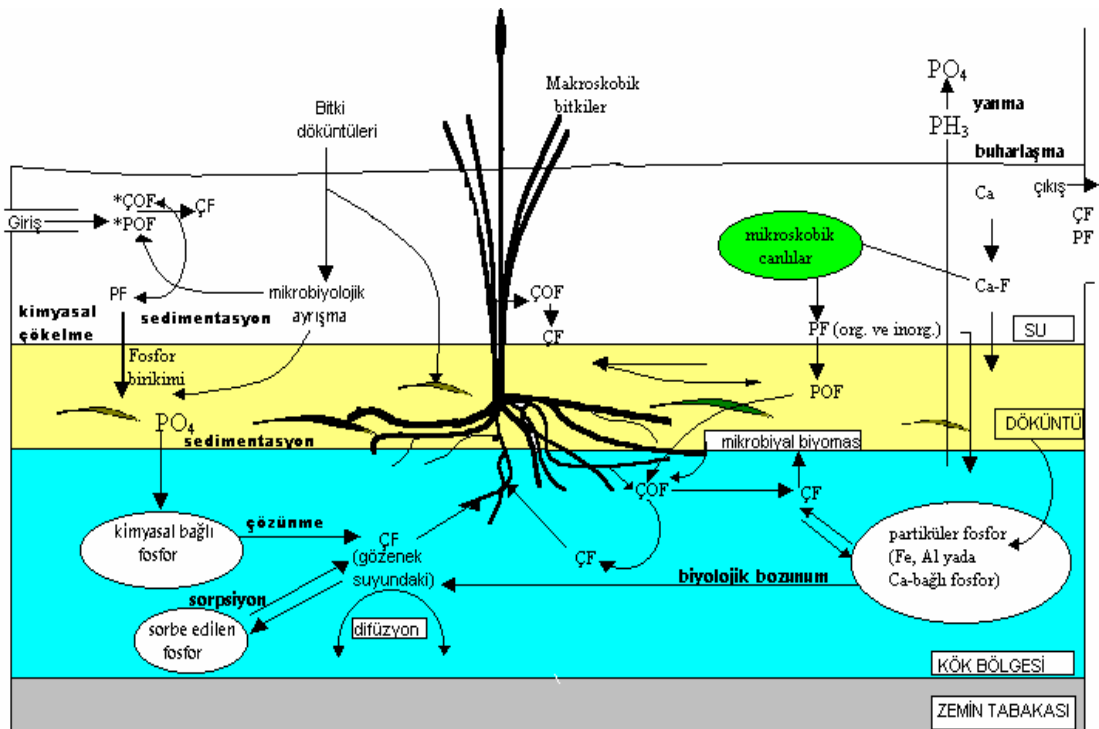
Fosfor gideriminde 2 önemli fiziksel süreç vardır:

- 1) Partikül halindeki fosforun çökmesi
- 2) Çözünmüş fosforun adsorplanması

Sisteme giren fosfor, kullanılmaya hazır ve hazır olmayan formlarda olabilir. Eğer fosfor, planktonun yapısında ise bunlar ayrılarak çözünmüş fosforu oluşturabilir. Partiküller organizmaya tutunmuş şekilde bulunuyorsa tekrar ortama geri dönebilir. Fakat partiküller, çözünemeyen fosfor veya organofosforlu bileşikler içeriyorsa, çökme süreciyle kalıcı olarak fosfor giderilebilir. Tüm sulak alan toprağı, fosforu adsorplama kapasitesine sahiptir, fakat bu kapasite oldukça değişkendir. Yüzeysel sulak alanlardaki ortam önemli miktarlarda fosforu tutacak şekilde dizayn edilebilir. Sulak alan sistemlerinde çözünmüş fosfor bitkiler tarafından alınır. Ayrıca sulak alan toprağı ve çökelen maddelerce tutulur. Fosfor, asidik ortamda Al ve Fe ile, alkali ortamda Ca ve Mg ile birleşmektedir. En hızlı fosfor alımı bakteri, mantar ve alg gibi mikroskobik canlılarca gerçekleşmektedir. Çünkü bu organizmalar çok yüksek oranda büyür ve çoğalırlar. Diğer taraftan makrofitler fosforu çok daha yavaş alır ve kullanırlar. Fosfor, biyotik ve abiyotik

prosesler neticesinde sulak alanlarda giderilmektedir. Biyotik prosesler, kök bünyesindeki mikroskobik canlılar ve vejetasyon ile alınma, bitki atıklarındaki ve topraktaki organik fosforun mineralizasyonu ve abiyotik prosesler; sedimentasyonu, birikimi, adsorbsiyonu, toprak ve su kolonu arasındaki etkileşimleri kapsamaktadır (Kadlec ve Knight, 1996).

Herskowitz (1986) tarafından bitki hasadı ile yüzeysel akışlı bir sulak alanda toplam fosforun ortalama %2.5'inin giderildiği belirtilmektedir. Yüzücü su bitkilerin hasadı daha kolay olup, toplam fosforun %20'nin üzerinde su mercimeği ile giderimi söz konusudur (Fisher ve Reddy, 1987). Sulak alanlarda çözülmüş fosfor bitkiler tarafından alınır, hücre fosforuna çevrilir veya sulak alan toprağı ve çökelen maddelerce tutulur. Eğer organik kısım oksitlenirse organik fosfor, çözülmüş fosfor olarak serbest kalır. Sulak alan sistemlerindeki temel fosforlu bileşikler; çözülmüş fosfor, partiküler fosfor ve partiküler organik fosfordur. Sulak alanlardaki fosfor depolama transferi ve çevrimi aşağıdaki Şekil II.12'de verilmiştir.



(ÇOF: çözülmüş organik fosfor, POF: partiküler fosfor, ÇF: çözülmüş fosfor, PH_3 : fosfin, PO_4 -P: ortofosfat)

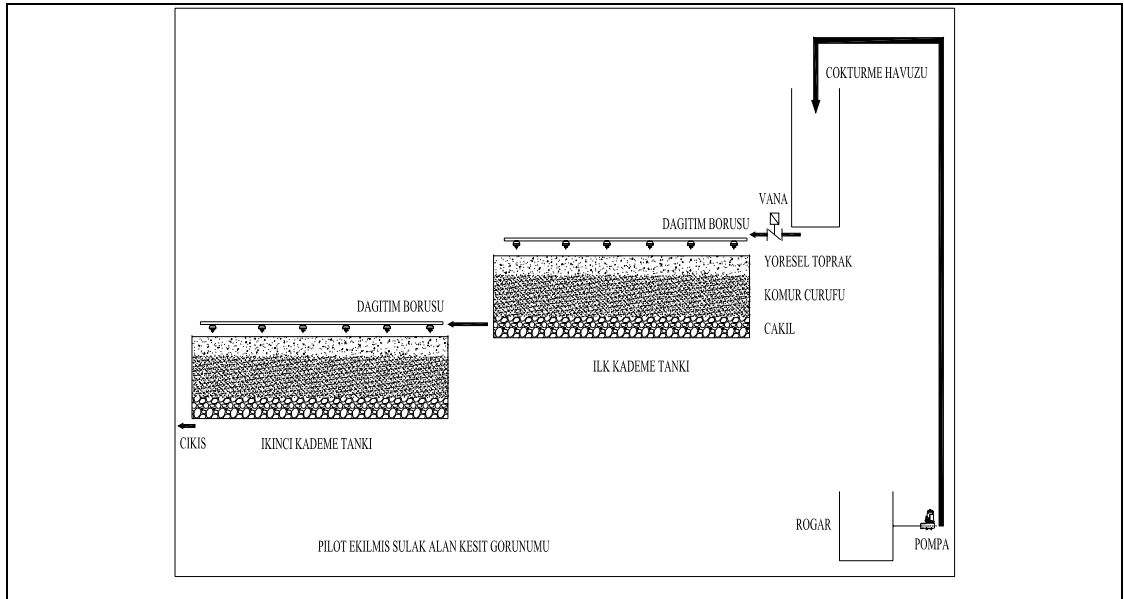
Şekil II.12. Sulak alanlarda fosfor çevrimi (WPCF, 1990)

III. MATERYAL VE METOD

III.1. Pilot Ölçekli Ekilmiş Sulak Alan Sisteminin Planlanması

Öncelikli olarak ekilmiş sulak alan sistemi model ölçekte projelendirilmiştir. Bu projelendirme günlük kullanılabilir atıksu miktarı göz önüne alınarak yapılmıştır. Sonra sistemlerin kurulacağı alan tespit edilmiştir. Kampus atıksuyunun rahatlıkla alınabileceği, sistemin her zaman gözetim altında bulundurulabileceği ve ulaşım kolaylığı olan bir alan seçilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü sınırları içerisinde Teknik Eğitim Fakültesinin arka tarafında, atıksu rögarına 50 metre mesafede bulunan bu alan aynı zamanda bölge iklim şartlarını engelsiz yansıtabilecek bir alan olduğu için tercih edilmiştir.

Pilot ölçekli ekilmiş sulak alan sistemi için tasarım parametreleri geliştirilmiş ve Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi arkasına 1 adet pilot tesis inşa edilmiştir. Tesis yüzeyaltı dikey akışlı ve iki kademeli olarak inşa edilmiştir. Sistemlerin tasarım parametreleri ve işletme özellikleri Bölüm III.2.'de daha detaylı anlatılacaktır (Şekil III.1).



Şekil III.1. Ekilmiş sulak alan sisteminin şematik görünümü

Şekil III.1’de görüldüğü gibi atıksu rögarından motorla atıksu çekilmesi, 200 L’lik tanktan 20 saatte sisteme suyun salınması planlanmış ve sistem Nisan 2005 tarihinde kurulmaya başlamıştır. Sistemin yeni ekim yapılmış hali ve atık su verilmeye başlaması Resim III.1’de gösterilmiştir.



Resim III.1. Sistemin ilk ekimi ve atık su verilmesi

III.2. Ekilmiş Sulak Alan Sistemin Kurulması

İlk aşamada kurulacak ekilmiş sulak alan sistemlerinin tasarım parametreleri ve gerekli ekipmanları belirlenmiştir (Tablo III.1). Yaklaşık 5 ay süren bir çalışma ile sistemlerin kurulma çalışmaları, bölgeye en yakın yerleşim yeri olan Bosna Hersek Mahallesi katı yakıtlı ısınma sistemine sahip binalarından 2005 yılı kış döneminde yakılmış olan kömürlerin bir araçla toplanması ile başlamıştır.

Aynı dönem içerisinde Konya sanayisinde 240 cm boyunda, 60 cm eninde ve 60 cm derinlikte %3 taban eğimi olacak şekilde 2 adet sac malzemeden tank yaptırılmıştır. İçerisine konulacak zemin malzemeleri de düşünülerek 5 mm'lik sac tercih edilmiş ve belirli aralıklarla yanal kısımlarda eğilmeleri önlemek için kemerler konulmuştur.

Tablo III.1. Ekilmiş sulak alan sistemlerinin tasarım parametreleri ve işletme özellikleri

Tasarım Parametreleri ve İşletme Özellikleri	Yüzey altı dikey akışlı ekilmiş sulak alan uygulaması
Yüzey Alanı (en*boy) (m ²) (iki adet)	1,44 (0,6*2,4)
Debi(L/saat)	5-10
Hidrolik Yüzey Yük (L/m ² .saat)	3,47-6,95
Hidrolik Bekletme Süresi (gün)	1,5
Dolgu Malzemesi: 7-25 mm çakıl (cm)	15
Kömür curufu: 0-3 mm elenmiş (cm)	30
Yöresel toprak (cm)	15
Bitki Türü	<i>Miscanthus Sinensis Giganteus</i>
Taban Eğimi (%)	3
Bitki ekimi adet/ m ²	40

Sistem yerleştirildikten sonra sac malzemeden yapılan tankların iç yüzeyi kalın naylon ile geçirimsizliği sağlanmıştır. Daha sonra tabandan yukarı doğru 15 cm yükseklikte 7-25 mm boyutlarında yıkanmış çakıl malzeme (Resim III.2) tabana döşenmiştir. Bölgeden toplanan kömür curufu, 0-3 mm çapındaki elekte elenerek (Resim III.3) çakıl malzemenin üzerine 30 cm yüksekliğinde serilmiştir.

Ekilmiş sulak alan sisteminin kurulmasından sonraki görüntüleri belli bir kompozisyon içerisinde tez çalışmasının sonunda, EK-1 kısmında daha detaylı verilmiştir.



Resim III.2. Yıkanmış 7-25 mm çakıl malzeme



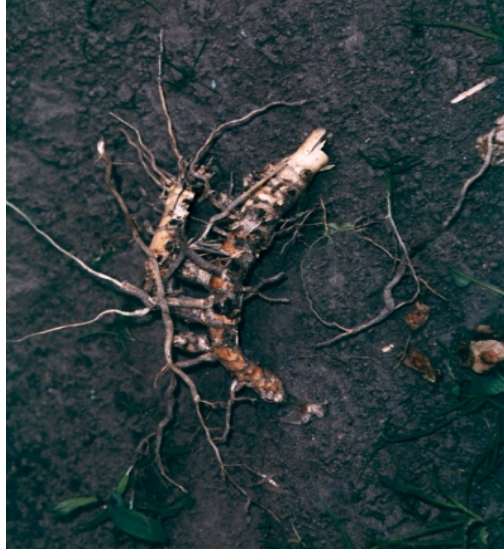
Resim III.3. Sistem kurulumunda kömür eleme

Kampus alanı içerisinde çiftlikte küçük bir alanda bulunan *Miscanthus* çoğaltılmak için kökleri makasla parçalanmış ve bitki çoğaltma tüplerine Haziran 2005 ayında ekim yapılmıştır. Karmaşık bir kök yapısına sahip olan *Miscanthus* bitkisinin kökleri topraktan kürek yardımı ile çıkartılmış ve bağ makası ile bu kütle halindeki kök küçük parçacıklara ayrılmıştır. Resim III.4 ve Resim III.5’de bitkinin kök yapısı ve makasla parçalanmış hali gösterilmiştir.

Parçalanan kökler yöresel toprakla doldurulan çoğaltma tüplerine 10 cm derinlik kalacak şekilde ekilmiş, ve bir süre S.Ü.Ziraat Fakültesi seralarında bekletilmiştir.



Resim III.4. *Miscanthus* bitkisinin kök yapısı



Resim III.5. *Miscanthus* bitkisinin kök yapısından elde edilen rhizome kök

Resim III.6'da tüplere ekimi gösterilen bitkiler başarı ile çoğaltılmış ve tank içerisinde serili bulunan kömür curufunun üzerine 15 cm yüksekliği sağlamak üzere yöresel toprağa ekimi yapılmıştır.



Resim III.6. *Miscanthus* köklerinin tüp ekimi

2005 yılında ekilmiş olan *Miscanthus* bitkisi ilk denemede kök yapısının gelişmesi ve bulunduğu alana uyumu için şebeke suyu ile yetiştirilmeye başlamış olup ilk yıl için sistemin aksaklıkları gözlenmiştir. 2006 Nisan ayına kadar sistemin çalıştırılması konusundaki aksaklıklar çözülmüş bu tarihten sonra sistem atıksu ile kararlı konumda çalışmaya başlamıştır(Resim III.7).



Resim III.7. Sisteme atıksu verilmesi

Bu çalışmada farklı hidrolik yüklemeler de denemiş olup, sistemin hava ile temasının sağlanması için bir günde 20 saat sistem atıksuya maruz bırakılmıştır. Sistem atıksuyla sürekli temas halinde bulundurulmak şartı ile 5 L/saat ve 10 L/saat hidrolik yükleme arasında atıksuya maruz bırakılmıştır.

Sisteme atık su küçük manuel ayarlı damlatma sistemleri ile verilmiştir. Bu damlatma sistemleri farklı hidrolik yüklemelerin kontrol edilmesini sağlamakla birlikte, çöktürme sistemi olarak kullandığımız tankın giriş yapısında tortunun birikmesi ile sürekli tıkanma ve günlük temizlenme problemi ile karşılaşmıştır (Resim III.8). Küçük ölçekli planlanan sistemlerde atıksuyun bütün alana homojen olarak dağıtılması düşünüldüğünde, damlatma sistemleri iyi bir tercih olmasına karşılık, daha büyük planlı sistemlerde suyun homojen dağıtımını Şekil II.5’de ki gibi dağıtma sistemleri daha iyi olacaktır.



Resim III.8. Damlatma sistemi

III.3. Atıksu

Kurulan ekilmiş sulak alan sistemlerinin giriş suyu olarak Kampus alanı rögarından çekilen atıksu kullanılmıştır. Daha önceden Yılmaz ve ark.(2005) tarafından yapılan çalışmaya göre Kampus atıksu karakterizasyonu Tablo III.2’de verilmiştir.

Tablo III.2. S.Ü. Kampüs atıksuyu karakterizasyonu (Yılmaz ve ark., 2005)

<i>Parametre</i>	<i>Min.-Max. Değer</i>	<i>Ortalama</i>
Bulanıklık (NTU)	30-690	123.6
AKM (mg/L)	12-286	162.8
Ç. Oksijen (mg/L)	0.6-7	3.7
KOİ (mg/L)	80-1440	524
Nitrat-N (mg/L)	0.01-1.4	0.35
Amonyak-N (mg/L)	2.9-50.8	10.61
T. Fosfor (mg/L)	0.25-15	7.19
Alüminyum, Al (mg/L)	0.01-0.83	0.14
Krom, Cr (mg/L)	0.002-1.17	0.08
Kurşun, Pb (mg/L)	0.002-0.16	0.02

Ancak sistem girişine verilen atıksuda kontrol amaçlı yapılan atıksu analizlerine göre; 30-690 NTU ölçülmüş olan Bulanıklılık değeri 135,5 NTU ölçülmüş, 80-1440 mg/L ölçülmüş olan KOİ değeri 379 mg/L ölçülmüş, 0,01-1,4 mg/L ölçülmüş olan Nitrat-N 0,40 mg/L ölçülmüş, 2,9-50,8 mg/L ölçülmüş olan Amonyak-N değeri 10,48 mg/L ölçülmüş, 0,25-15 mg/L ölçülmüş olan Fosfor değeri 0,950 mg/L ölçülmüştür. Tablo III.2 ile kıyaslandığında bütün parametrelerin aralık değerler içinde olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada Tablo III.2’deki tüm atıksu kompozisyonunun arıtımı incelenmemiş, sadece KOİ, bulanıklık, organik madde ve nütrient giderimi üzerinde durulmuştur.

Tablo III.3. S.Ü. Kampüs atıksuyu kompozisyonu

<i>Parametre</i>	<i>Değer</i>
Bulanıklık (NTU)	135,5
KOİ (mg/L)	379
Nitrat-N (mg/L)	0,40
Amonyak-N (mg/L)	10,48
Fosfor (mg/L)	0,950

Pilot ölçekli ekilmiş sulak alan uygulamasının önüne ön çökeltme ünitesi olarak kullanılmak üzere 200 litrelik varil yerleştirilmiştir. Pilot ölçekli ekilmiş sulak alan sistemine damlatma sistemi ile atıksu beslemesi yapılmıştır. Bu damlatma sistemleri atıksu geçişinden dolayı tıkanmalara yol açtığı için sistem kendi içerisinde farklı hidrolik salınımlar göstermiştir. Deney çalışmaları süresince her gün bu damlatma sistemleri kontrol edilmiş, sistemin sürekliliği sağlanmıştır(Resim III.8).

Sistem kontrollerinde ölçüme dayanmayan hidrolik beslemeler oluşurken, günlük yapılan kontroller içinde, damlatma sistemleri kontrol edilerek, atıksu debisinin 5 L/saat ve 10 L/saat arasında değişmesine müsaade edilmiştir. 15 Mayıs 2006 tarihinde alınan ilk numune ile birlikte, atıksu çıkış debisi kontrol edilmeye başlamıştır. Pilot ölçekli ekilmiş sulak alan uygulaması manuel bir sisteme dayandığı için atıksu çıkış debileri, damlatma sistemi problemlerinden dolayı bir düzen içinde takip edilememiştir. Ancak elde edilen çıkış debileri ortalaması 7 L/saat olarak hesaplanmıştır.

Bu süreç içerisinde, Bölüm II.4.1' de tarif edilen bitki büyümesi süreci, ilk 4 hafta içerisinde filizlenme ve bitkinin kendini göstereceği bitki büyüklüğüne ulaşmıştır. Ancak bundan sonraki süreçte ileride tarif edileceği gibi bitki büyümesinde bazı farklılıklar gözlenmiştir.

Ekilmiş sulak alan sistemlerinin çıkış suyundan haftada ortalama 3 kez numune alınmıştır. Numuneler hergün düzenli olarak aynı saatte alınmış, alınan numunelerde KOİ, Bulanıklık, NH_3 , P ve Nitrat analizleri yapılmıştır.

III.4. Analiz Metodları

Deneysel çalışmalar boyunca KOI, Bulanıklık, Nitrat-N, Amonyak-N ve Fosfor ölçümleri yapılmıştır.

KOI , evsel ve endüstriyel atık suların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan bir parametredir. KOI suda organik maddelerin kimyasal olarak ayrışmasında tüketilen oksijen miktarının bir ölçüsüdür. Sulara fazla miktarda organik atık verilmesi, erimiş oksijenin fazla miktarda tüketilmesi sonucunu doğurur. Bu nedenle suların kirlilik derecesi yüksek oldukça, yani fazla miktarda organik maddenin bu sulara atılması halinde, KOI değeri de yüksek olacaktır. KOI ne kadar yüksek ise o suların fazlaca organik maddeler tarafından kirlendiğini belirler.

Canlı tabiat için azot gibi fosfor da çok önemlidir. Bir çok yüksek enerjili organik molekül içinde fosfor bulunur ve metabolizmada çok önemli rol oynar. Fosfor sularda sadece fosfat halinde bulunur. Sulardaki fosfat atık sulardan geldiği gibi, topraktan da gelebilir. Bu nedenle fosforu da organik ve inorganik diye ikiye ayırmak adet haline gelmiştir. İnorganik fosfor bitki tarafından yüksek enerjili organik fosfor bileşikleri haline, organik fosfor bileşikleri de aerobik bakteriler tarafından inorganik fosfora dönüştürülür.

Fosfatlar eskiden beri göllerin kirlenmesinden sorumlu tutulmuşlardır. Fosfatların yeterince bulunduğu yerlerde ötrofikasyon görülür. Bundan dolayı toplam fosfat tayini önemlidir ve söz konusu su için önemli bir kriterdir. Toplam fosforu tayin etmek için, numune önce nitrik asitle kaynatılır. Soğutulan numune üzerine yeterince amonyum molibdat konur. Bu esnada sarı renkli amonyum fosfomolibdat bileşiği meydana gelir $[(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3]$, Meydana gelen renk, fosfat derişimiyle orantılıdır. Rengin şiddeti amonyak tayininde olduğu gibi kolorimetrik. veya spektrofotometrik metotla ölçülebilir ve bundan da fosfat derişimi hesaplanır.

Azot canlı tabiat için çok önemli bir elementtir. Çünkü, canlı yapısında bulunan bütün amino asitler ve aminler azotlu organik bileşiklerdir. Ayrıca biyolojik metabolizma esnasında da bir ara ürünü olarak amonyak açığa çıkar. Bundan dolayı bir suda organik azot ve amonyak bulunması, o suyun kısa bir zaman önce atık sularla kirlenmiş olduğu anlamına gelir. Organik azot olsun, amonyak olsun Kjeldahl metoduyla tayin edilir. Bu metotta numune bağlı azotu amonyuma dönüştürmek için, sıcak derişik sülfürik asitle parçalanır. Oluşan çözelti soğutulur, seyreltilir ve bazik yapılır. Açığa çıkan amonyak ayarlı bir asitle tayin edilir.

III.4.1. KOİ

KOİ analizleri Standart Metotlardaki (Standart Metodlar,1998) 5220.C’de belirtilen Closed Reflux, titrimetrik yöntemeye göre yapılmıştır.

2,5 ml numune üzerine 1,5 ml standart potasyum dikromat çözeltisi (0,0167 M) ve 3,5 ml sülfürik asit reaktifi eklenmiştir. Bu işlemler şahit içinde tekrarlanmıştır. Bunlar 148 °C’deki termostatta 2 saat süre ile kaynatılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0,1 M standart demir amonyum sülfat titrantı (FAS) ile titrasyon yapılmıştır. Öncelikle şahit için sarfiyat “A” okunmuştur. Ardından numune için sarfiyat “B” okunmuştur. Günlük olarak FAS çözeltisinin molaritesi kontrol edilmiştir. Bunun için 2,5 ml saf su 1,5 ml standart potasyum dikromat çözeltisi ve 3,5 ml sülfürik asit reaktifi eklenmiş ve kaynatmadan titrasyon yapıp, sarfiyat okunmuştur.

$$\text{FAS Molarite} = (1,5 / \text{ml Sarfiyat}) \times 0,1 \dots\dots\dots(\text{III.4.1})$$

$$\text{KOİ (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 8000 \times \text{FAS Molarite}}{\text{Numune Hacmi (ml)}} \dots\dots\dots(\text{III.4.2})$$

III.4.2. Bulanıklık

Pilot ölçekli ekilmiş sulak alan sistemi çıkış suyu 375 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunmuş, $y = 0,0031 x$ denklemiyle Bulanıklık değerleri hesaplanmıştır.

III.4.3. Amonyak

Bir suda bulunan organik azot aerobik bakteriler vasıtasıyla önce nitrite (NO_2^-) daha sonra da, nitrata (NO_3^-) yükseltgenir. Kirlenme uzunca bir zaman önce olmuşsa, organik azot bütünüyle nitrata yükseltgenmiştir. Buna göre, bir su numunesinde yüksek oranda nitrat ve düşük oranda amonyak bulunması kirlenmenin çok önceden olduğuna bir işaret sayılır. Nitrat ve amonyak ayrı ayrı tayin edilebilir, Nitrat sülfürik asitli ortamda demir(II) sülfatla, amonyak da Nessler ayıracıyla [K_2HgI_4 potasyum tetraiyodo merkürat (II)] tayin edilir. Nessler ayıracıyla amonyak arasında düşük derişimlerde sarı renkli bir kompleks meydana gelir, Tayin, Nessler tüpleri kullanılarak kolorimetrik olarak yapılabildiği gibi, spektrofotometrik olarak da yapılır.

Laboratuar çalışmalarında Nessler yöntemi ile (Standart Metodlar, 1998) Amonyak tayini yapılmış olup, 425 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunarak, $y = 0,0334 x$ denklemiyle Amonyak değerleri hesaplanmıştır.

III.4.4. Nitrat

Laboratuar çalışmalarında Brusin Sülfat metoduyla (Standart Metodlar, 1998) Nitrat Analizi yapılmış olup, 410 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunarak, $y = 0,5068 x$ denklemiyle Nitrat değerleri hesaplanmıştır.

III.4.5. Fosfor

Ön oksidasyon ($\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ karışımıyla) sonrası kalay klorür metoduyla Fosfor ölçümü yapılmıştır(Standart Metodlar, 1998).

200 μg 'dan fazla fosfor içermeyen, renksiz ve bulanıksız 100 ml örnek üzerine 0,05 ml bir damla fenol fitaleyn eklendi. Hızlı karıştırmadan sonra 4 ml molibdat reaktif 1 eklendi ve 10-12 dakika aralığında, 690 nm dalga boyunda spektrofotometrede saf suya karşı örnekler okunarak, $y = 0,4348 x$ denklemiyle Fosfor değerleri hesaplanmıştır.

III.5. Adsorpsiyon çalışmaları

Adsorpsiyon, akışkan fazda çözülmüş haldeki belirli bileşenlerin bir katı adsorbent yüzeyine tutunmasına dayanan ve faz yüzeyinde görülen yüze tutunma olayıdır. Katı örgüsü içinde bulunan iyonlar çekim kuvvetlerince dengelenmiştir. Ancak katı yüzeyindeki atomların dengelenmemiş kuvvetleri, çözeltideki maddeleri katı yüzeyine çekerler ve yüzey kuvvetleri dengelenmiş olur. Bu şekilde çözeltideki maddelerin katı yüzeyine adsorpsiyonu gerçekleşir.

Laboratuvar ortamında yapılan bu çalışmaların sonunda, öğütülmüş *Miscanthus* yaprağı yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözeltide kalan madde konsantrasyonları ile en genel kullanım gören Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermi incelenmiştir.

Freundlich, çözeltilerdeki maddelerin adsorpsiyonunu açıklamak için aşağıdaki eşitliği türetmiştir.

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(\text{ III.5.1})$$

- C_e : Denge de çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)
 q_e : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)
 K_F : Deneysel olarak hesaplanır. Adsorpsiyon kapasitesini ifade eder.
 n : Adsorpsiyon yoğunluğu.

Freundlich izoterm denkleminde eşitliğin her iki yanının da logaritması alınarak doğrusal hale getirilirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad \dots\dots\dots(III.5.2)$$

$\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye karşı değişimi grafiğe dökülmesi ile K_F ve n sabitleri bulunur. Grafikten elde edilen doğrunun y eksenini kesim noktası $\log K_F$ 'yi ve eğimi de $1/n$ 'i verir. $1/n$ heterojenite faktörüdür ve 0-1 aralığında değerler alır.

Langmuir izotermi, adsorban yüzeyinin enerji açısından benzer olduğu varsayımıyla, tek tabakalı homojen adsorpsiyonu açıklamak için kullanılmaktadır. Bu izotermi açıklayan bir çok kaynak vardır, kaynaklardaki terimsel ifadeler farklılık göstermelerine rağmen işaret ettikleri sonuç aynıdır.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \left(\frac{a_L}{K_L}\right)C_e \quad , \quad q_e = \frac{Q_{\max} a_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad , \quad q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad \dots\dots\dots(III.5.3)$$

- C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)
 q_e : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)
 K_L : Adsorbatın adsorptivitesine bağlı olan sabit (L/g).
 A_L : Adsorpsiyon enerjisine bağlı olan sabit (L/mg).

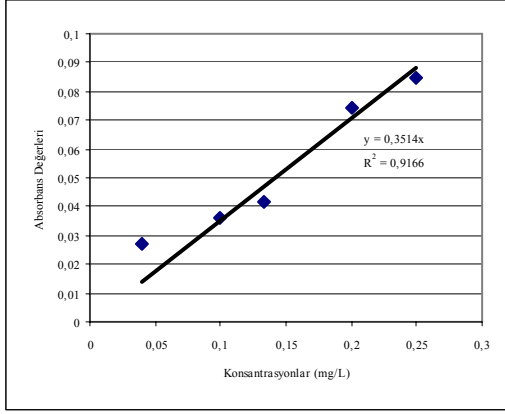
$Q_{max}(K_L/a_L)$ tek tabakalı adsorban kapasitesini göstermektedir (mg/L). C_e/q_e değerinin, C_e değerine göre değişimi grafiğe dökülmesi ile ortaya çıkan doğrunun eğimi ve kesim noktası sırasıyla a_L/K_L ve $1/K_L$ sabitlerinin değerini verecektir. Burada Q_{max} değeri adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesini verecektir.

Laboratuar ortamında öğütülen *Miscanthus* yaprağı, erlenlere konulmak üzere her metal için ayrı ayrı tartılmıştır. Pb için 0,5392 gram, Ni için 0,5070 gram, Zn için 0,5033 gram, Cu için 0,5192 gram, Cr için 0,5192 gram, Fe için 0,5404 gram, Al için 0,5062 gram ve karma numune için 0,5060 gram adsorban tartımı yapılmıştır. Karıştırma cihazı 230 rpm/min de, 23 °C Control Thermostat da ve 23 ° C Safety Thermostat da çalıştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan *Miscanthus* yaprağı, atıksuya maruz bırakılmadan yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir.

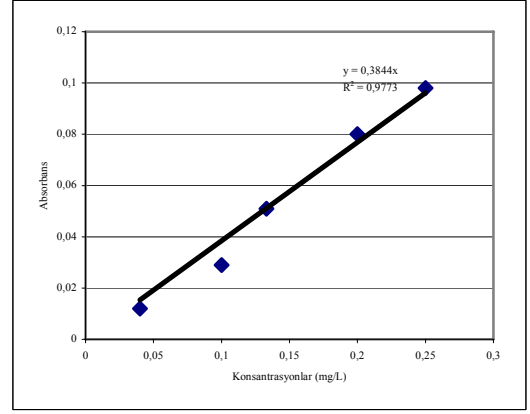
20 mg/L konsantrasyonunda hazırlanan 100 ml numunelere adsorban madde ilave edilerek, $t=30$ dk., $t=60$ dk., $t=120$ dk., $t=180$ dk. ve $t=240$ dk. alınan numunelerde kalan metal konsantrasyonları ölçülmüştür.

Daha sonra, diğer metallere oranla seçiciliğinin fazla olduğu düşünülen Al metali için farklı konsantrasyonlarda adsorpsiyon çalışması yapılmış, kalibrasyon eğrisi oluşturulmuş ve değerler ortaya konulmuştur. Aynı çalışma stok Al çözeltilisinden de hazırlanarak 535 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunan değerlere göre kalibrasyon eğrisi ve denklemi hesaplanmıştır.

1/8 , 1/10, 1/15, 1/20 ve 1/50 oranında stok Al çözeltilisinden seyreltme yapılarak, şahit numune üzerinden elde edilen değerler sonucunda, Şekil III.2'deki kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Aynı seyreltme işlemi, karma stok metal çözeltiliye de yapılarak, kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur(Şekil III.3). Kalibrasyon eğrilerinin oluşturulmasından sonra, öğütülmüş *Miscanthus* yaprağı yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözeltide kalan madde konsantrasyonları ile en genel kullanım gören Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermi açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil III.2. Çözeltide tek başına Al metali varlığında kalibrasyon eğrisi



Şekil III.3. Karma metal çözeltisinde Al kalibrasyon eğrisi

IV. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

IV.1. Arıtma Veriminin İncelenmesi

Ekilmiş sulak alan uygulaması, 1 aylık adaptasyon sürecinden sonra kararlı konumda çalışırken 12 Mayıs 2006 ile 15 Haziran 2006 tarihleri arasında 35 gün boyunca 200 L'lik varile rögardan çekilen atıksu ile beslenmiştir. Bu uygulamada farklı hidrolik yüklemelerde salınımlar sağlanmış, çıkış sularında KOİ, Bulanıklık, Amonyak, Nitrat ve Fosfor giderim verimi incelenmiştir.

IV.1.1. KOİ

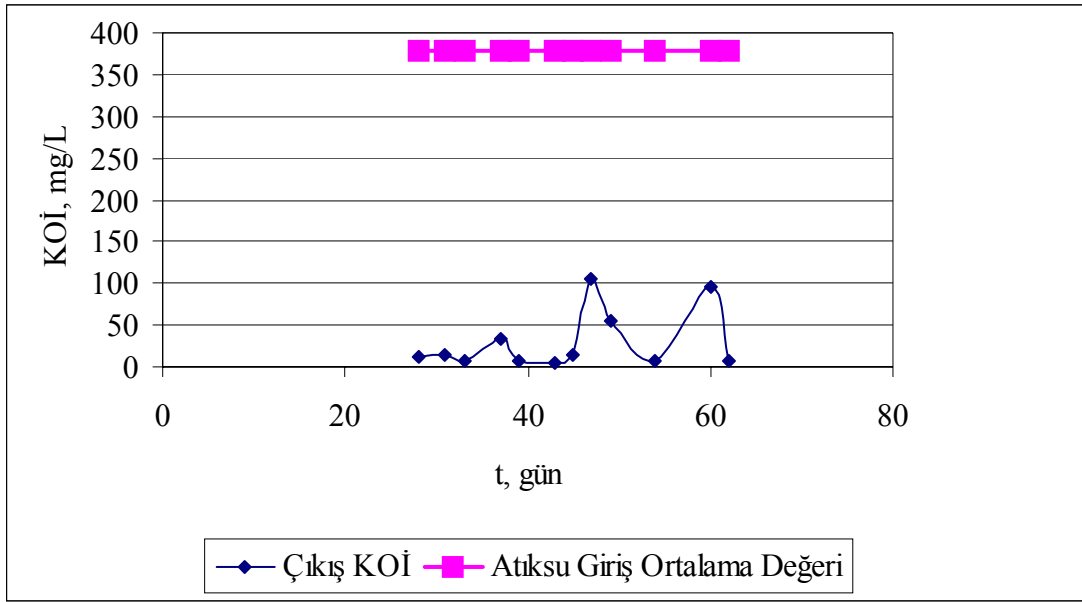
Evsel ve endüstriyel atıksuları için kirlilik derecelerini belirlemede en önemli parametrelerden biri KOİ zayıf dereceli kirli atıksularda 250 mg/L, orta dereceli kirli atıksularda 500 mg/L ve Kuvvetli dereceli kirli atıksularda 1000 mg/L değerlerindedir. Tablo IV.1.'de deneysel çalışmalar sonucunda 35 günde alınan toplam 12 numunenin elde edilen KOİ değerleri verilmiştir.

Tablo IV.1. KOİ ölçüm değerleri

Gün	28	31	33	37	39	43	45	47	49	54	60	62
KOİ	11	14	7	35	7	4	14	107	56	7	96	7

Tablo IV.1.'de 379 mg/L KOİ içeren atıksu ile besleme yapılan ekilmiş sulak alan çıkışından alınan numunelerde ölçülen KOİ değerleri görülmektedir. Çıkış KOİ değeri 4 -107 mg/L arasında değişim gösterirken ortalama çıkış KOİ değeri 30 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil IV.1.'de organik madde giderimini ifade etmek üzere takip edilen KOİ değişim eğrisi görülmektedir. Çıkış KOİ giderim verimleri % 71-99 arasında değişmiştir. Ortalama çıkış KOİ giderim verimi ise % 91 olarak hesaplanmıştır.



Şekil IV.1. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış KOI değerleri

Yılmaz ve ark.(2005) çalışmasında, 437 mg/L giriş KOI değerini, 78,7 mg/L olarak hesaplamıştır. Viranşehir uygulamasında giriş KOI değerleri 93 mg/L-302 mg/L arasında iken çıkış suyunda 37 mg/L hesaplanmıştır. Ayaz ve ark.(2003) çalışmalarında ise 635 mg/L ortalama KOI ile çalışan sistemde 75 mg/L çıkış KOI değerleri hesaplamışlardır. Daha önce yapılan literatür çalışmaların da elde edilen KOİ giderim performanslarının % 80-99 arasında olduğu düşünüldüğünde, *Miscanthus Sinensis* ile uygulanan bu pilot ölçekli ekilmiş sulak alan uygulamasında elde edilen giderim veriminin yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmektedir.

IV.1.2. Bulanıklık

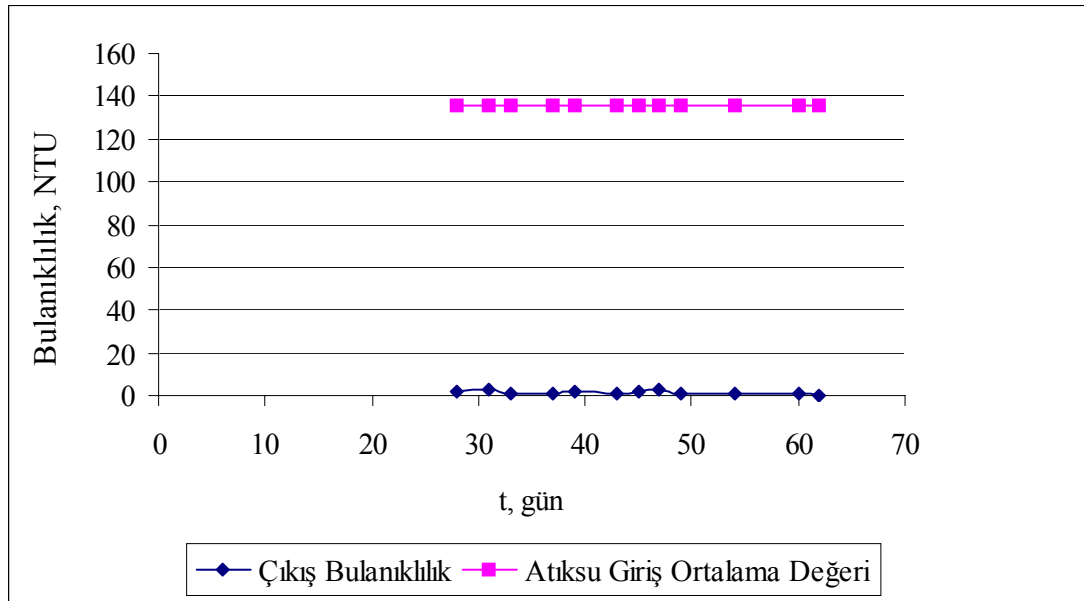
Bulanıklık, su ve atıksu içerisinden geçen ışığın engellenmesinden dolayıdır. Bu da su içerisinde gözle görülebilen ve gözle görülemeyecek küçüklükte koloidal organik ve inorganik maddelerin olduğunun göstergesidir. Özellikle deşarj edilen sularda bulanıklık olmamalıdır. Tablo IV.2.'de deneysel çalışmalar sonucunda 35 günde alınan toplam 12 numunenin elde edilen Bulanıklık değerleri verilmiştir.

Tablo IV.2. Bulanıklık ölçüm değerleri

Gün	28	31	33	37	39	43	45	47	49	54	60	62
Bulanıklık	1,6	2,6	1,3	1,0	1,6	1,3	2,1	2,9	1,3	0,6	0,6	0,3

Tablo IV.2.'de 135,5 NTU Bulanıklık içeren atıksu ile besleme yapılan ekilmiş sulak alan çıkışından alınan numunelerde ölçülen Bulanıklık değerleri görülmektedir. Çıkış Bulanıklık değeri 0,3-2,9 NTU arasında değişim gösterirken ortalama çıkış Bulanıklık değeri 2,9 NTU olarak hesaplanmıştır.

Şekil IV.2.'de Bulanıklık değişim eğrisi görülmektedir. Çıkış Bulanıklık giderim verimleri % 97-99 arasında değişmiştir. Ortalama çıkış Bulanıklık giderim verimi ise % 98 olarak hesaplanmıştır.

**Şekil IV.2.** Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış Bulanıklık değerleri

Yılmaz ve ark.(2005) çalışmasında, 118 NTU giriş Bulanıklık değerini, 23,6 NTU olarak hesaplamıştır. Diğer çalışmalardan da elde edilen sonuçlara bakıldığında bu çalışmada elde edilen giderim veriminin biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan zemin döşeme şeklinin bu performansı artırdığı düşünülmektedir.

IV.1.3. Amonyak Azotu

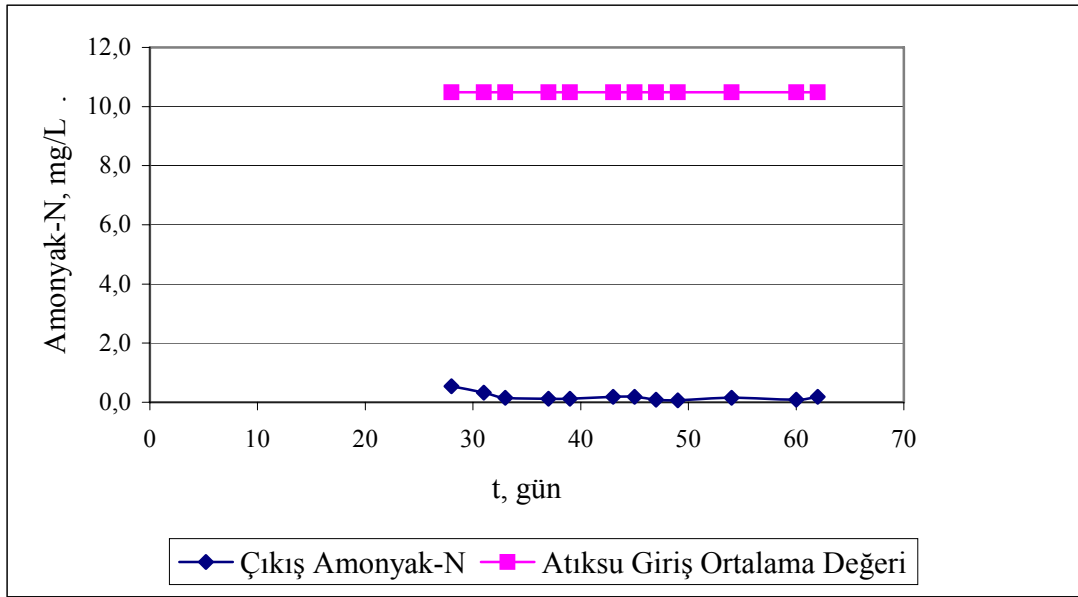
Azot türleri nutrient olarak arıtma ve doğal su alanlarında büyük önem taşır. Türlerin birbirlerine dönüşümü çerçevesinde oksijen ihtiyacı ve dengesi çok önemlidir. Bu oksijen ihtiyacı ekilmiş sulak alan sistemlerinde kullanılan bitkilerin kök yapısı, sistemin ara havalandırma süreleri düşünüldüğünde önem arz etmektedir. Kök yapısı uzun olan bitkilerin taban bölgeye oksijen transferini sağlamada avantajları olacaktır. Farklı oksidasyon seviyelerinde hemen tüm canlı hücrelerin yaşama ve üremeleri için gerekli bir besin maddesi olan azotun, önem taşıyan dört formu vardır. Amonyak Azotu, Nitrat Azotu, Nitrit Azotu ve Organik Azot, yüzeysel sularda ve kirletilmiş sularda ölçülmesi gereken azot türleridir. Tablo IV.3.'de deneysel çalışmalar sonucunda 35 günde alınan toplam 12 numunenin elde edilen Amonyak-N değerleri verilmiştir.

Tablo IV.3. Amonyak-N ölçüm değerleri

Gün	28	31	33	37	39	43	45	47	49	54	60	62
Amonyak-N	0,54	0,33	0,15	0,12	0,12	0,18	0,18	0,009	0,06	0,15	0,09	0,18

Tablo IV.3.'de 10,48 mg/L Amonyak-N içeren atıksu ile besleme yapılan ekilmiş sulak alan çıkışından alınan numunelerde ölçülen Amonyak-N değerleri görülmektedir. Çıkış Amonyak-N değeri 0,09-0,54 mg/L arasında değişim gösterirken ortalama çıkış Amonyak-N değeri 0,18 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil IV.3.'de Amonyak-N değişim eğrisi görülmektedir. Çıkış Amonyak-N giderim verimleri % 94-99 arasında değişmiştir. Ortalama çıkış Amonyak-N giderim verimi ise % 98 olarak hesaplanmıştır.



Şekil IV.3. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış Amonyak-N değerleri

Amonyak azotu bitkiler tarafından besin maddesi olarak kullanılarak ve kimyasal olarak indirgenerek azot çevriminde rol oynamaktadır. $\text{NH}_3\text{-N}$ düşük konsantrasyonlarda su ortamındaki yaşama toksik etkide bulunmaktadır. Amonyak, nitrifikasyon, absorblama, bitkinin kendi bünyesine alması ve amonyak uçuşması ile kaybolmaktadır. Bu cümleden hareketle ekilmiş sulak alan sisteminde bitki büyümesinin gerçekleştiğini ve sistemin nitrifikasyon aşamasında olduğunu düşünülebilir. Bitkinin ilk büyüme ve kökleşme sürecinde bünyesine Amonyak-N'ünü yüksek oranda adsorpladığı düşünülmektedir.

IV.1.4. Fosfor

Fosfor mikroorganizmaların büyümesi için gerekli temel elementlerden birisi olup, su ortamında birincil üretkenliği kısıtlayıcı bir nutrienttir. Ancak ekilmiş sulak alan sistemlerinde en önemli fosfor giderimi, fosfatların ekilmiş sulak alan dolgu malzemesi içinde adsorplanmasıdır.

Ekilmiş sulak alan yataklarında kullanılan zemin döşeme malzemeleri farklılık gösterdiğinden fosfor giderim verimleri farklılık göstermektedir. İşletme koşullarındaki farklılıklardan dolayı yüzeyaltı akışlı ekilmiş sulak alanlarda, fosfor giderimi, yüzey akışlı sistemlere göre daha fazladır. Bunun yanı sıra bitki ve köklerdeki mikroorganizmaların da metabolik faaliyeti sırasında fosfor tüketimi önemli bir fosfor giderim mekanizmasıdır.

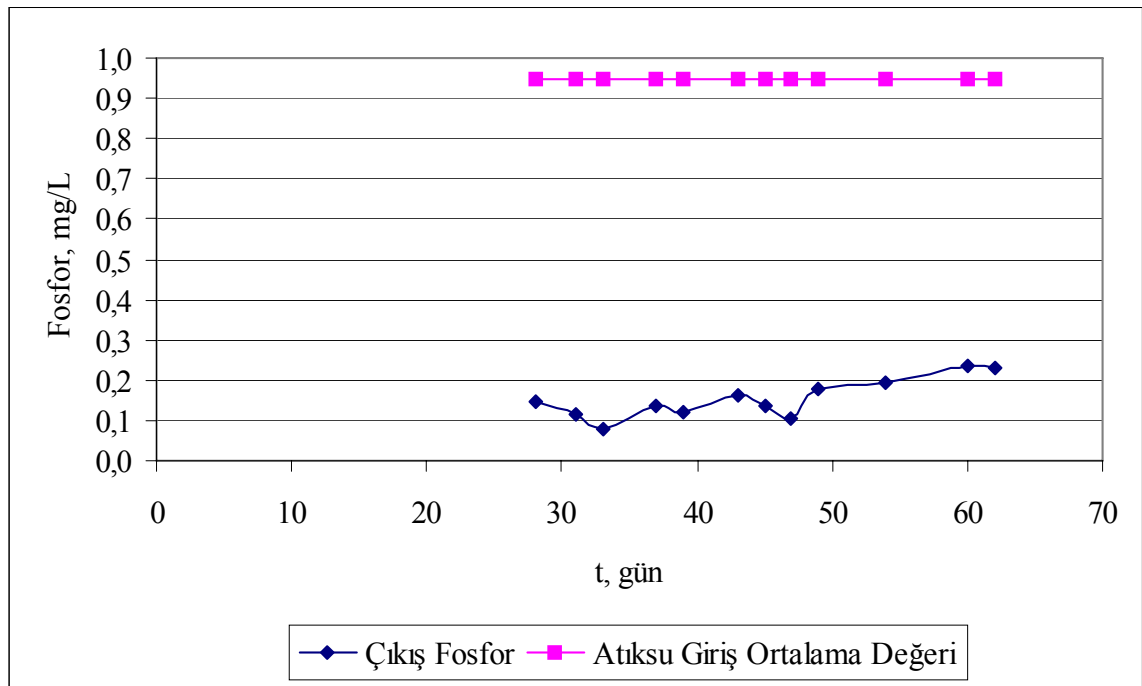
Tablo IV.4.'de deneysel çalışmalar sonucunda 35 günde alınan toplam 12 numunenin elde edilen Fosfor değerleri verilmiştir.

Tablo IV.4. Fosfor ölçüm değerleri

Gün	28	31	33	37	39	43	45	47	49	54	60	62
Fosfor	0,14	0,11	0,07	0,13	0,12	0,16	0,13	0,10	0,17	0,19	0,23	0,22

Tablo IV.4.'de 0,950 mg/L Fosfor içeren atıksu ile besleme yapılan ekilmiş sulak alan çıkışından alınan numunelerde ölçülen Fosfor değerleri görülmektedir. Çıkış Fosfor değeri 0,078-0,237 mg/L arasında değişim gösterirken ortalama çıkış Fosfor değeri 0,154 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil IV.4.'de Fosfor değişim eğrisi görülmektedir. Çıkış Fosfor giderim verimleri % 75-91 arasında değişmiştir. Ortalama çıkış Fosfor giderim verimi ise % 83 olarak hesaplanmıştır.



Şekil IV.4. Ekilmiş sulak alan giriş ve çıkış Fosfor değerleri

Literatür araştırmalarında da bahsedildiği üzere, daha homojen bir atıksu-bitki kök kontağı sağlayan yüzeyaltı akışlı ekilmiş sulak alan uygulaması olan bu çalışma, zemin döşeme malzemesi içinde adsorplanarak iyi bir verim bırakmıştır. Korkusuz ve ark.(2001)'nın da bahsettiği gibi, ekilmiş sulak alan sistemlerine atıksuyun kesikli verilmesinin- bu çalışmada günlük 20 saat atıksu verilmiştir- arıtma verimini artırdığı düşünülmektedir. Literatür kısmında da bahsedildiği gibi giderilen Fosfor'un çok küçük bir kısmının bitkiler tarafından giderildiği düşünüldüğünde, zemin döşemesinde kömür curufunda, çalışma sürecinde adsorplama kapasitesinin yüksek olduğu söylenebilir.

IV.1.5. Nitrat Azotu

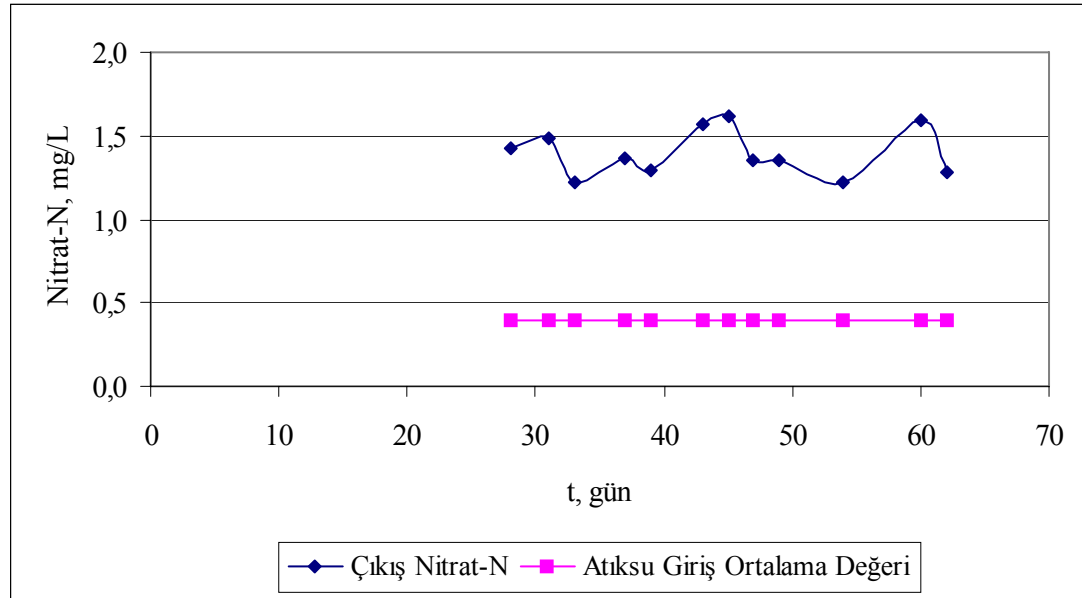
Tablo IV.5.'de deneysel çalışmalar sonucunda 35 günde alınan toplam 12 numunenin elde edilen Nitrat-N değerleri verilmiştir.

Tablo IV.5. Nitrat-N ölçüm değerleri

Gün	28	31	33	37	39	43	45	47	49	54	60	62
Nitrat-N	1,43	1,48	1,21	1,36	1,29	1,56	1,62	1,35	1,35	1,22	1,5	1,2

Tablo IV.5.'de 0,40 mg/L Nitrat-N içeren atıksu ile besleme yapılan ekilmiş sulak alan çıkışından alınan numunelerde ölçülen Nitrat-N değerleri görülmektedir. Çıkış Nitrat-N değeri 1,22-1,62 mg/L arasında değişim gösterirken ortalama çıkış Nitrat-N değeri 1,40 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil IV.5.'de Nitrat-N değişim eğrisi görülmektedir. Bölüm II.1.5.3 ve Bölüm II.2.2.'de bahsedildiği gibi Azot giderimi nitrifikasyon ve taban bölgesindeki denitrifikasyonla gerçekleşmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde, ekilmiş sulak alan sisteminin ilk 60 günlük analiz çalışması süresinde henüz denitrifikasyon bakterilerinin çok fazla gelişmemiş olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın süresi itibariyle bu aşama tamamlanamamıştır ve ileriki çalışmaların konusu olarak önerilmektedir.

**Şekil IV.5.** Nitrat-N' un zamana göre değişimi

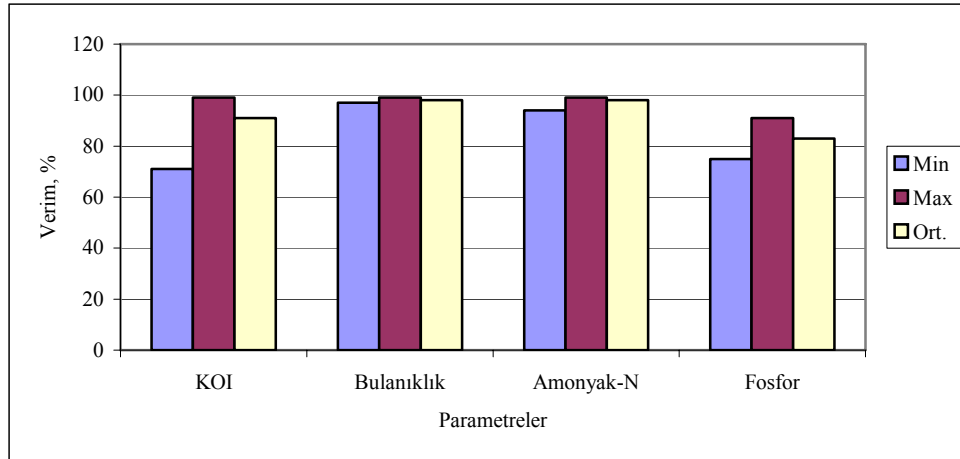
IV.1.6. *Miscanthus* ile ekilmiş sulak alan uygulaması giriş ve performans değerlendirmesi

Tablo IV.6'da ekilmiş sulak alan uygulaması giriş ve çıkış suyu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tabloda Bulanıklık, KOI, Nitrat ve Fosfor değerlerinin düştüğü ve Amonyak -N'un değerinin arttığı görülmektedir.

Tablo IV.6. Ekilmiş sulak alan performansı

Parametre	Giriş Değeri	Çıkış Aralık Değerleri	Çıkış Ortalama Değerleri	Verim Aralığı %	Verim Ortalaması %
KOI (mg/L)	379	3,7-106,6	30,4	71-99	91
Bulanıklık (NTU)	135,5	0,3-2,9	1,4	97-99	98
Amonyak-N (mg/L)	10,5	0,06-0,54	0,18	94-99	98
Fosfor (mg/L)	0,95	0,10-0,23	0,15	75-91	83
Nitrat-N (mg/L)	0,4	1,21-1,62	1,39		

Miscanthus bitkisi ile yapılan ekilmiş sulak alan uygulamasında arıtım performansları Şekil IV.6'da görülmektedir.



Şekil IV.6. Giderim verimlerinin karşılaştırılmalı gösterimi

Elde edilen bu değerler incelendiğinde, Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği'nin, Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılması maddesine göre; Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Kriterleri'ne göre çıkış suyu, II.Sınıf Sulama Suyu (İyi) olarak değerlendirilebilecektir (SKKY, 2004).

IV.2. Hasat edilen *Miscanthus*' un Ağır Metal Adsorpsiyonunda kullanılması

Yetiştirilen *Miscanthus* bitkisi hasat edildikten sonra, yaprak kısmı öğütülerek ağır metal gideriminde adsorban malzeme olarak kullanılabilmesi araştırılmıştır. Pb, Ni, Cr, Zn, Cu, Fe, Al ve bu metallerin karışımından elde edilen karma numunenin aynı konsantrasyonda kullanılarak bilinen miktardaki adsorban malzeme üzerine adsorplanarak giderimleri belirlenmiş ve izoterm analizleri yapılmıştır.

Tablo IV.7.'de deneysel çalışmalar sonucunda ayrı ayrı ölçülmüş ağır metaller için farklı zaman aralıkları için de numunede kalan metal konsantrasyonları verilmiştir. Şekil IV.7.'de kalan metal konsantrasyonlarının zamana göre değişimleri verilmektedir.

Tablo IV.7. Tek başına zamana karşı numunede kalan metal konsantrasyonları

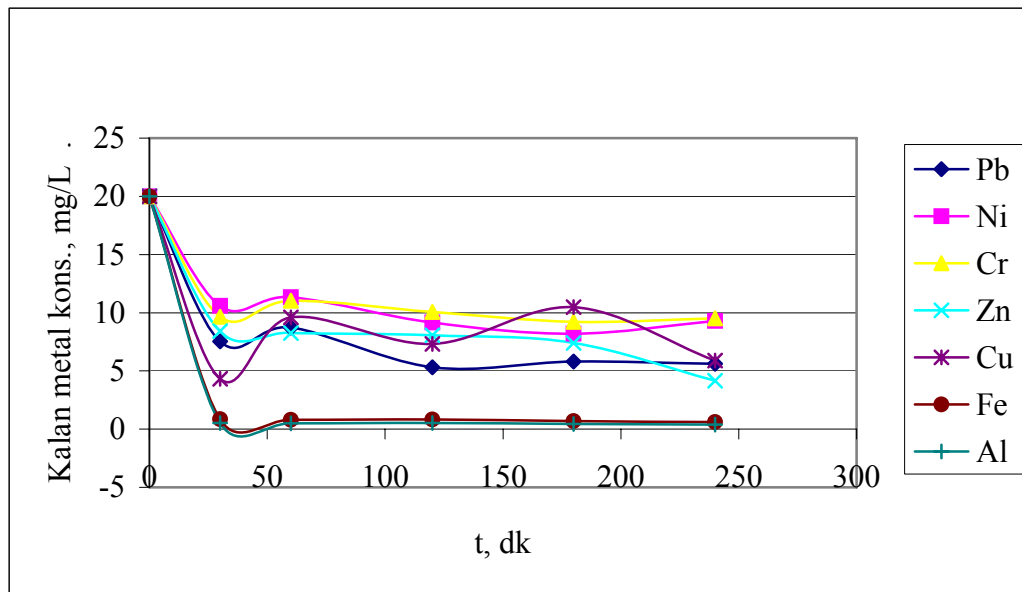
t, dk	Pb, mg/L	Ni, mg/L	Cr, mg/L	Zn, mg/L	Cu, mg/L	Fe, mg/L	Al, mg/L
0	20	20	20	20	20	20	20
30	7,55	10,58	9,65	8,42	4,32	0,864	0,523
60	8,73	11,32	11,03	8,25	9,59	0,813	0,495
120	5,31	9,15	10,08	8,05	7,32	0,839	0,517
180	5,82	8,21	9,22	7,41	10,47	0,684	0,450
240	5,62	9,3	9,51	4,15	5,9	0,606	0,387

Tablo IV.7.'de, 20 mg/L olan Pb konsantrasyonu 240. dakika sonunda 5,62 mg/L, 20 mg/L olan Ni konsantrasyonu 9,3 mg/L, 20 mg/L olan Cr konsantrasyonu 9,51 mg/L, 20 mg/L olan Zn konsantrasyonu 4,15 mg/L, 20 mg/L olan Cu

konsantrasyonu 5,9 mg/L , 20 mg/L olan Fe konsantrasyonu 240. dakika sonunda 0,606 mg/L ve 20 mg/L olan Al konsantrasyonu 0,387 mg/L ölçülmüştür.

Bu sonuçlar mg/L cinsinden olduğu için bize kıyaslama için yeterli sonucu vermeyecektir. Elde edilen sonuçlar ışığında seçicilik sıralamasını yapabilmek için, $q_{Pb}= 0,0128$ meq/g, $q_{Ni}= 0,0715$ meq/g, $q_{Cr}= 0,116$ meq/g, $q_{Zn}= 0,0951$ meq/g, $q_{Cu}= 0,0846$ meq/g, $q_{Fe}= 0,056$ meq/g ve $q_{Al}= 0,268$ meq/g hesaplanmıştır.

Elde edilen bu değerler sonucunda tek başına metal adsorpsiyonunda, $Pb < Fe < Ni < Cu < Zn < Cr < Al$ seçicilik sıralaması elde edilmiştir. *Miscanthus* bitkisinin tek başına metal adsorpsiyonunda Al metaline karşı daha seçici olduğu, en zayıf seçiciliğin ise Pb metaline karşı olduğu görülmüştür.



Şekil IV.7. Tek başına metallerin zamana göre değişimleri

Tablo IV.8.'de deneysel çalışmalar sonucunda ayrı ayrı ölçülmüş ağır metaller için farklı zaman aralıkları için de kalan konsantrasyonlar verilmiştir. Şekil IV.8.'de karma numune içinde kalan metal konsantrasyonlarının zamana göre değişimleri verilmektedir.

Tablo IV.8. Zamana karşı karma numunede kalan metal konsantrasyonları

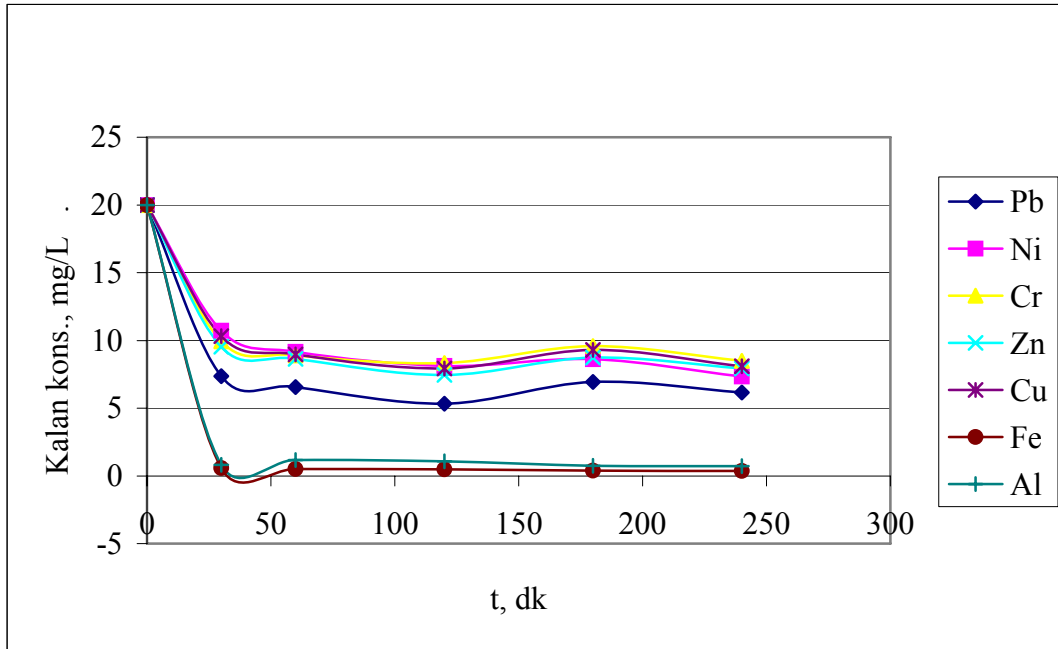
t, dk	Pb, mg/L	Ni, mg/L	Cr, mg/L	Zn, mg/L	Cu, mg/L	Fe, mg/L	Al, mg/L
0	20	20	20	20	20	20	20
30	7,36	10,71	9,95	9,54	10,33	0,581	0,813
60	6,55	9,15	8,89	8,64	8,96	0,500	1,170
120	5,32	8,11	8,34	7,45	7,94	0,488	1,073
180	6,94	8,62	9,58	8,73	9,31	0,395	0,747
240	6,17	7,33	8,51	7,92	8,1	0,372	0,715

Tablo IV.8’de, 20 mg/L olan Pb konsantrasyonu 240. dakika sonunda 6,17 mg/L, 20 mg/L olan Ni konsantrasyonu 240. dakika sonunda 7,33 mg/L, 20 mg/L olan Cr konsantrasyonu 240. dakika sonunda 8,51 mg/L, 20 mg/L olan Zn konsantrasyonu 240. dakika sonunda 9,92 mg/L ve 20 mg/L olan Cu konsantrasyonu 240. dakika sonunda 8,1 mg/L, 20 mg/L olan Fe konsantrasyonu 240. dakika sonunda 0,372 mg/L ve 20 mg/L olan Al konsantrasyonu 240. dakika sonunda 0,715 mg/L ölçülmüştür.

Bu sonuçlar ışığında seçicilik sıralamasını yapabilmek için, $q_{Pb}= 0,01318$ meq/g, $q_{Ni}= 0,0847$ meq/g, $q_{Cr}= 0,131$ meq/g, $q_{Zn}= 0,0721$ meq/g, $q_{Cu}= 0,0734$ meq/g, $q_{Fe}= 0,0889$ meq/g ve $q_{Al}= 0,388$ meq/g hesaplanmıştır.

Elde edilen bu değerler sonucunda karma numune metal adsorpsiyonunda, $Pb < Zn < Cu < Ni < Fe < Cr < Al$ seçicilik sıralaması elde edilmiştir. *Miscanthus* bitkisinin karma numunede metal adsorpsiyonunda Al metaline karşı daha seçici olduğu, en zayıf seçiciliğin ise Pb metaline karşı olduğu görülmüştür. Bu iki metal arasında diğer metallerin sıralanışı ise karma numunede bir miktar değişiklik göstermiştir. Metallerin iyon özellikleri ve yapıları itibarı ile karma ortamda yarışarak adsorplanmaları söz konusudur.

Ancak bu çalışma kapsamında çalışılan bütün metallerin, farklı kapasitelerde de olsa, bitkiden elde edilen adsorban üzerinde tutulabildiği ortaya konmuştur.



Şekil IV.8. Karma numunede metallerin zamana göre değişimleri

Elde edilen bu deney sonuçları ışığında *Miscanthus* bitkisinin Al metaline karşı daha duyarlı olduğu düşünülmüş ve bu metal gideriminin farklı konsantrasyonlarında giderim değerleri ortaya konulmuştur.

IV.2.1. Al adsorpsiyonu analizi

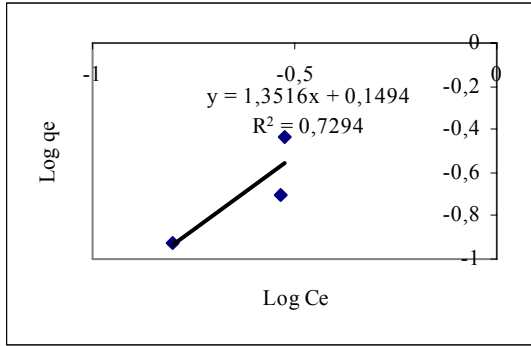
Genel olarak, adsorpsiyon izotermi, adsorplanan maddenin adsorplayıcı ile nasıl etkileştiğini gösterir ve bu sonuçlar adsorbanın kullanımının belirlenmesi için belirleyicidir. Bu amaçla, en genel kullanım gören izoterm olan, Freundlich ve Langmuir İzoterm eğrileri çıkartılmaya çalışılmıştır.

Şekil IV.9'de Al için $\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye karşı değişimi görülmektedir. $K_F=1,41$, $1/n = 1,3516$ ve $n = 0,73$ olarak hesaplanmıştır. Literatür çalışmalarında $1/n$ değeri 0-1 arasında olması gerekmektedir.

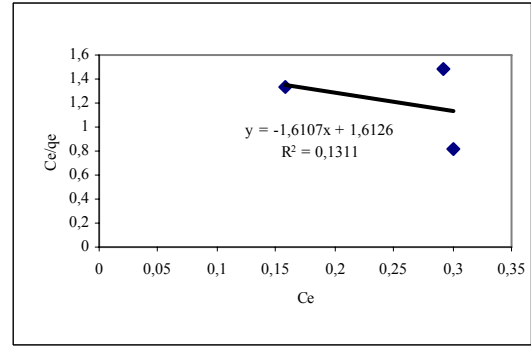
Şekil IV.10'de Al için C_e/q_e 'nin C_e 'ye karşı değişimi görülmektedir. $K_L = 0,6201$, $a_L = -0,9988$ ve $Q_{max} = -0,6201$ olarak hesaplanmıştır. Q_{max} adsorban tarafından çözeltide tutulabilecek max çözünen madde miktarını tanımlamaktadır.

Şekil IV.11'de Karma numunede Al için $\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye karşı değişimi görülmektedir. $K_F = 1,4983$, $1/n = 0,9236$ ve $n = 1,0827$ olarak hesaplanmıştır.

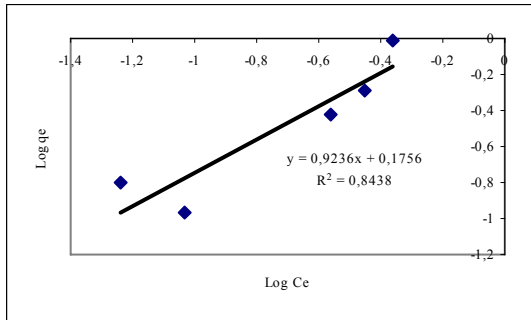
Şekil IV.12'de Karma numunede Al için C_e/q_e 'nin C_e 'ye karşı değişimi görülmektedir. $K_L = 1,5607$, $a_L = -0,1554$ ve $Q_{max} = -10,0431$ olarak hesaplanmıştır.



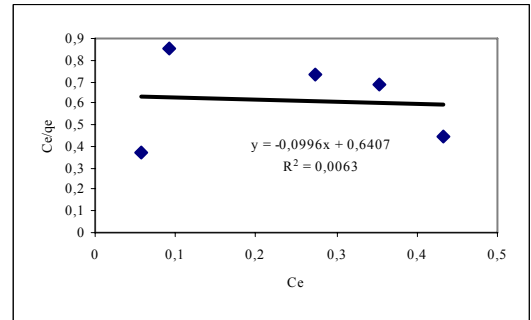
Şekil IV.9. Al Freundlich İzotermi



Şekil IV.10. Al Langmuir İzotermi



Şekil IV.11. Karma çözeltide Al Freundlich İzotermi



Şekil IV.12. Karma çözeltide Al Langmuir İzotermi

Genel olarak Şekil IV.9'da R^2 değerinin 0,7294 olduğu görülmektedir. Şekil IV.10'de ise R^2 değeri 0,1311 olarak görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında tek başına Al metali adsorpsiyonunda, *Miscanthus*'un fiziksel bağ kuvvetleri ile etkin bir bağlanma gerçekleştirdiği görülmektedir. Şekil IV.11'de R^2 değerinin 0,8438 olduğu görülmektedir. Şekil IV.12'de R^2 değerinin 0,00063 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında karma metal numunesinde Al adsorpsiyonunda, *Miscanthus*'un fiziksel bağ kuvvetleri ile etkin bir bağlanma gerçekleştirdiği görülmektedir. Hem tek başına Al adsorpsiyonunda, hemde karma numunede Al adsorpsiyonunda kimyasal bağ kuvvetleri ile bir bağlanmanın gerçekleşmediği görülmektedir.

Elde edilen izoterm eğrileri incelendiğinde, Al metalinin tek başına ve karma numunede Freundlich adsorpsiyon izotermine uygunluk sağladığı saptanmıştır.

Bölüm III.6'da bahsedildiği üzere, Freundlich İzotermine, $1/n$ değer, heterojenite faktörüdür ve 0-1 aralığında değer alır. Yüzey ne kadar heterojense, $1/n$ değeri o kadar sifira yakın olur. Bu izotermi doğruluğu, heterojen adsorpsiyon sistemlerinde Langmuir izotermine göre daha iyidir.

V. SONUÇLAR

Ekilmiş sulak alan sistemleri, özellikle küçük yerleşim yerleri için uygulanabilir bir arıtma yöntemidir. Mühendislik bilimi açısından düşünüldüğünde, ekilmiş sulak alanların maliyet, işletme giderleri yanında, bitkinin arıtma verimi ve hasat sonrası kullanılan bitkilerin ekonomik değerinin olabileceği araştırılmaya değer bulunmuştur.

Literatür çalışmasında, ekilmiş sulak alan sistemlerinin avantajları – dezavantajları, sınıflandırılması, uygulama alanları, kullanılan bitki türleri bilgilerine ulaşılmıştır. Alternatif olarak bu çalışmada kullanılan *Miscanthus* bitkisinin özelliklerine, farklı kullanım alanlarının olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Bu çalışma iki bölümden oluşturulmuştur. Birinci bölümde Kampus atıksuyu verilerek işletilen sistemin, arıtım verimi izlenmiş, ikinci bölümde hasat sonrasında öğütülmüş bitki yaprağının ağır metal gideriminde adsorban olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Birinci bölümde, sistemin manuel çalıştırılmasından kaynaklanan 5-10L/saat arasında ki hidrolik yükleme ile beslenen sistemin verimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- ◆ *Miscanthus* bitkisi Konya iklim şartlarında, ayakta kalabilmiş, atık su arıtımında ekilmiş sulak alanlarda başarı ile uygulanmıştır.
- ◆ Farklı hidrolik beslemeler içerisinde, sistem çıkışında 4 – 107 mg/L arasında KOI değerleri ölçülmüştür. Çıkış suyunda ortalama % 91 KOI giderim verimi hesaplanmıştır.
- ◆ 0,3 - 2,9 NTU arasında Bulanıklık değeri ölçülmüş, çıkış suyunda ortalama %98 Bulanıklık giderim verimi hesaplanmıştır.

- ◆ 0,09 - 0,54 mg/L arasında Amonyak-N değeri ölçülmüş, çıkış suyunda ortalama % 98 Amonyak-N giderim verimi hesaplanmıştır.
- ◆ 0,078 - 0,237 mg/L arasında Fosfor değeri ölçülmüş, çıkış suyunda ortalama % 83 giderim verimi hesaplanmıştır.
- ◆ 1,22 - 1,62 mg/L arasında Nitrat-N değeri ölçülmüştür. Bu değerler sistemin girişinde ki Nitrat-N değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerler incelendiğinde ilk deney sonuçlarının alınmaya başladığı 3 aylık sürenin sistemin nitrifikasyon aşamasından, denitrifikasyon aşamasına geçemediği kanısı oluşmuştur.

İkinci bölümde sistemde kullanılan *Miscanthus* bitkisinin, hasat sonrasında yaprak kısmı öğütülmüş ve ağır metal gideriminde adsorban olarak kullanılması düşünülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- ◆ Adsorpsiyon deneylerinde kullanılan *Miscanthus* bitkisinin, Pb, Ni, Cr, Zn, Cu, Fe ve Al ağır metallerini adsorpladığı anlaşılmıştır.
- ◆ Tek başına metal adsorpsiyonunda, Pb<Fe<Ni<Cu<Zn<Cr<Al seçicilik sıralaması ile ağır metal adsorpladığı anlaşılmıştır.
- ◆ Karma numune metal adsorpsiyonunda, Pb<Zn<Cu<Ni<Fe<Cr<Al seçicilik sıralaması ile ağır metal adsorpladığı anlaşılmıştır.
- ◆ Al metaline karşı daha duyarlı olduğu anlaşılmıştır.
- ◆ *Miscanthus* tarafından adsorplanabildiği görülen Al metalinin Freundlich izotermine uyduğu , Langmuir izotermine uymadığı gözlenmiştir.
- ◆ Hasat sonrası farklı kullanım alanları olan *Miscanthus* bitkisinin, ağır metal gideriminde adsorban madde olarak kullanılabileceği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

ÖNERİLER

Bu tez çalışması devamında, pilot ölçekli ekilmiş sulak alan uygulamasının daha uzun süreli arıtma verimi takip edilerek bölgemiz için gerekli tasarım parametreleri oluşturulmalıdır.

Kurulu ekilmiş sulak alan uygulamasının, daha sistematik bir biçimde çalıştırılarak arıtma verimi takip edilmelidir.

Farklı hidrolik yüklemelerde arıtma verimi incelenmelidir.

Atıksu arıtımı sağlanmış bitkinin hasat sonrası yapısal analizi yapılarak temiz suda yetişmiş bitkiye kıyasla ne tür değişikliklere uğradığı belirlenmelidir. Bu bitkiden de öğütme yoluyla adsorban madde elde edilerek adsorpsiyon denemeleri tekrarlanmalı ve metal adsorplama özelliklerinde değişim/gelişim olup olmadığı ortaya konmalıdır.

KAYNAKÇA

Acaroğlu,M. 1996 Biomastan Enerji Eldesi İçin Bir C₄ Enerji Bitkisi Üzerine Araştırma, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü, Bornova, İzmir.

Akça,L. Aksiyon - Haftalık Haber Dergisi Nisan 2002, Sayı: 385, İstanbul.

Alatlı,M. 2003 Miscanthus Bitkisinin Beton Üretiminde Bitkisel Fiber Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Arceivala, S.J. 2002 Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Hill Publishing Company Limited, New Delhi, Hindistan.

Ayaz,S.., Akça,L.,Tunçsiper,B.,Saygın,Ö. 2003 Eysel Atıksuların Arıtımı İçin İki Kademeli Bir Yapay Sulakalan Sistemi, SKKD Cilt 13 Sayı3 sh.18-22, İstanbul

Brix. H. 1994 Use of Wetlands in Water Pollution Control: Historical Development. Present Status and Future Perspectives, Journal of Water Science and Technology 30(8):209-220.

Burgoon, P.S. 1993 Oxidation of Carbon and Nitrogen in the Root Zone of Emergent Macrophytes Grown in Wetland Microcosms, Ph.D.Dissertation, University of Florida, Gainesville.

Defra 2001, Planting and Growing Miscanthus, London, UK.

EPA.1988 Design Manual-Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment., EPA/625/1-88/022, September 1988.

- EPA. 2000 Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters.,EPA/625/R-99/010, September 2000.
- Fisher, M.M. and K.R. Reddy. 1987 Water Hyacinth for Improving Eutrophic Lake Water:Water Quality and Mass Balance.pp.969-976.
- Gassman, G. And D.Glindemann. 1993 *Angew.Chem.*, 105:749. As Reported in *Chem.Eng.News*, May 17, 1993.p.31
- Gleason, P.J. 1972. The Origin, Sedimentation, and Stratigraphy of Calcitic Mud Located in the Southern Fresh-Water Everglades, Ph.D.Thesis, The Pennsylvania State University, University Park, USA.
- Harvey,J.and Hutchens,M.1995 Progress in commercial development of *Miscanthus* in England, In:Chartier, Ph.,Beenacker, A.A.C.M. and Grassi, G. (eds), *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry – Proceedings of 8th E.Conference*. 3-5 October, 1994, Vienna, Austria, Elsevier Science Ltd. Oxford, 1:pp 587-93.
- Herskowitz. J. 1986 Listowel Artificial Marsh Project Report. Ontario Ministry of the Environment, Water Resources Branch, Toronto, Canada.
- Hutchinson, G.E. 1975 *A Treatise on Limnology*. Volume 1, Part 1-Geography and Physics of Lakes, Part2-Chemistry of Lakes (pp.1051), Volume3-Limnology Botany (pp.500), New York: Wiley-Interscience.
- Jenssen, P.D., T.Maehlum and T.Krogstad 1994 Potential of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments, *Journal of Water Science and Technology* 28(10):149-157.
- Jones,M.B. 2001 *Miscanthus for Energh and Fibre*, James and James, UK.

Kadlec,R., Brix,H. 1995 Wetland Systems for Water Pollution Control, Water Science and Tecnology.Vol.32,No3.

Kadlec. H.R. ve Knight. R.L. 1996 Treatment Wetlands, Lewis Publisher, FL. USA

Kadlec,R.H.,Knight,R.L. 1996 Treatment Wetlands, CRC Press LLC, Boca Raton FL.

Korkusuz,E.A., Demirer,N.G, Bekliođlu,M. 2001 Atıksu Arıtımında Ekilmiş Sulakalanlar, Çevre Mühendisleri Odası, IV.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Mersin,Türkiye.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü resmi internet sitesi www.khgm.gov.tr/

Kyambadde,M., Kansiiime,F., Gumaelius,L., Dalhammar,G. 2004 A comparative study of Cypeyrus and Miscanthidium violaceum-based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate, Water Reseach 38, Uganda.

Magmedov, V.G. and Yakovleva, L.I. 1994 The Experience of the GIS on Using Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, European Water Pollution Control 4(2):22-25.

Messer, J.J. and P.L. Brezonik. 1977 Nitrogen Transformations in Everglades Agricultural Area Soils and Sediments, Report Presented to the Florida Sugar Cane League, Black Crow&Eidsness/CH2M HILL.

Mitchell. C. 1996 Pollutant Removal Mechanisms in Artificial wetlands, Course notes for the IWES 96, International Winter Environmental School, Gold Coast.

- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1993, *Wetlands*, New York: Van Nostrand Reinhold.
- Molenaar, J.A., Huisman, W. and Venturi, P. 1996 Energy consumption and costs of the production chains of *Miscanthus x giganteus*. In: Chartier, Biomass for Energy and the Environment-Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark, Elsevier Science Ltd., Oxford, 2: pp 867-72.
- Moshiri, G.A. 1993 *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Papatheofanous, M.G., Koukios, E.G., Marton, G. And Dencs, J. 1996 Characterization of *Miscanthus sinensis* potential as industrial and energy feedstock, Biomass for Energy and the Environment-Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: pp 504-8.
- Pipeline, 1998 *A Constructed Wetlands: A Natural Treatment Alternative*, Summer 1998, Vol 9, no 3.
- Qasim, S.R. 1999 *Wastewater Treatment Plants, Planning, Design and Operation*, Second Edition, The University of Texas at Arlington, USA.
- Reddy, K.R. 1985 Nutrient Transformations in Aquatic Macrophyte Filters Used for Water Purification, Proceedings Water Reuse III. American Water Works Association, Denver, CO. pp.660-678.
- Reddy, K.R. and E.M. D'Angelo 1994 Soil Processes Regulating Water Quality in Wetlands, pp.309-324, *Global Wetlands: Old World and New*. Amsterdam: Elsevier.

Reddy. K.R. ve Patrick. W.H. 1984 Nitrogen transformations and Loss in Flooded Soils and Sediments, CRC Crit. Rev.Envir.Control 13. 273-309.

Reed, S.C. ve Brown, D., 1995. Subsurface flow Wetlands-A Performance Evaluation, Water Environ.Res., 67(2), 244-248.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998, American Public Health Association (APHA), American Public Health Association, 20th ed., Washington, DC, USA.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği , Yayınlandığı Resmi Gazete :Tarih 31 Aralık
Cuma 2004 Sayı :25687

<http://www.cevreorman.gov.tr/yasa/yonetmelik.asp>

Tousignant, E. 1999 Constructed Wetlands Guidance Manual-Ontario Rural App.,
Guidance Manual for the Design, Construction and Operations of Constructed
Wetlands for rural Applications in Ontario, Canadap Program of the
Agricultural Adaptation Council, Ontario, Canada.

Türk Sanayicileri ve İşadamları internet sitesi

<http://www.tusiad.org.tr/turkish/rapor/enerji/html/sec10.html>

Uysal,İ. Kirli Suların Bitkilerle Temizlenmesi, Ekim-Kasım-Aralık 2002, Çevre ve
Ekoloji, Sayı 45.

Vymazal. J. 1995 Algae and Element Cycling in Wetlands Boca Raton, FL.
USA:CRC Press/Lewis Publishers.

Water Pollution Control Federation.1990 Natural Systems for Wastewater
Treatment.Manual of Practice FD-16,Chapter,9.Alexandria,VA

Wetlands International, The use of constructed wetlands for wastewater treatment, February 2003, Malaysia.

White. G.. Kuginis. L.. Beharrell. M.. Young. C. 1996 Urban stormwater management. in water, pp.48-52.

Wilkins,C. and Redstone,S. 1996 Biomass production for energy and industry in the far South west of England., Biomass for Energy and the Environment- Proceedings of the9th European Bioenergy Conference, 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1:pp 799-805.

Yaşar,S. Miscanthus (FİL ÇİMENİ) Giganteus, Miscanthus Goliath ve Miscanthus Silberfahne'de Selüloz, Hemiselüloz Ve Lignin Miktarlarının Karşılaştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, Yıl: 2002, ISSN: 1302-7085, Sayfa:27-40, ISPARTA

Yılmaz, Z., 2005 S.Ü.Müh.-Mim.Fak.Dergisi, S.Ü. Kampüs Atıksularının Karakterizasyonu Ve Su Mercimeği (Lemna Minor L). İle Arıtılabilirliği ,C.20, S.4

Yin,J. 2006 Four years of pollutant removal performance of two-stage inverse vertical subsurface flow constructed wetlands (IVSSFCW),

Zak, D.R. and D.F. Gridal 1991 Nitrogen Mineralization, Nitrification and Denitrification in Unpland and Wetland Ecosystems, Oecologia, 88:189-196.

EK-1

**PILOT ÖLÇEKLİ
EKİLMİŞ SULAK ALAN UYGULAMASININ
SİSTEM RESİMLERİ**



Resim Ek-1.1. *Miscanthus* bitkisi



Resim Ek-1.2. Tüplerde rhizome çoğaltma



Resim Ek-1.3. Atıksu çekilen rogar



Resim Ek-1.4. Atıksu taşıma hortumu



Resim Ek-1.5. Çöktürme ünitesi



Resim Ek-1.6. İlk deneme yılı tankların görüntüsü



Resim Ek-1.7. İkinci yıl ilk ekim ve sisteme atıksu verilmesi



Resim Ek-1.8. Damlama sistemi



Resim Ek-1.9. Tankların ilk dikimde genel görüntüsü



Resim Ek-1.10. Üçüncü hafta tankların görüntüsü



Resim Ek-1.11. 4 haftalık bitki



Resim Ek-1.12. 6 haftalık bitki



Resim Ek-1.13. 6 haftalık tankların genel görüntüsü



Resim Ek-1.14. 12 haftalık tankların görüntüsü (damlama sistemleri kontrolü)



Resim Ek-1.15. Son hafta bitki görüntüsü



Resim Ek-2.16. Yüzye oluşan tabaka görüntüsü



Resim Ek-1.17. Çalışmanın tamamlandığında görüntüsü-1



Resim Ek-1.18. Çalışmanın tamamlandığında görüntüsü-2

