

**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

**SAHİL BÖLGELERİNDE ATIKSULARIN YAPAY
SULAKALANLAR İLE ARITILMASI**

DOKTORA TEZİ

Selma Ç.AYAZ

M.Sc.Kimya Mühendisi

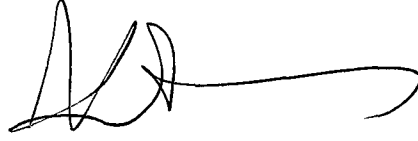
Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ajun KURTER

MART-1998

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

Selma AYZAZ tarafından hazırlanmış ve sunulmuş olan bu tez, Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



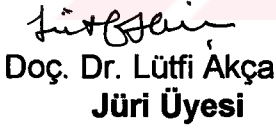
Prof. Dr. Ajun Kurter
Danışman



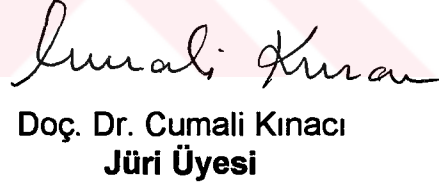
Prof. Dr. Ethem Gönenc
Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mehmet Karpuzcu
Jüri Üyesi



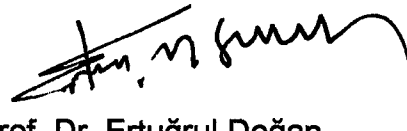
Doç. Dr. Lütfi Akça
Jüri Üyesi



Doç. Dr. Cumali Kınacı
Jüri Üyesi



Prof. Dr. Namık Çağatay
Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı Başkanı



Prof. Dr. Ertuğrul Doğan
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

" Sahil Bölgelerinde Atıksuların Yapay Sulakalanlar ile Arıtılması " konulu tez çalışmasını yöneten ve yönlendiren değerli hocam Prof.Dr. Ajun KURTER' e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde çok önemli bir yeri olan, çalışmayı teşvik eden ve yönlendiren, çalışmanın her aşamasında büyük desteklerini gördüğüm Çevre Araştırma Enstitüsü danışmanlarından sevgili hocam Prof. Dr. Ömer Saygın' a teşekkür ederim. Çalışmalarına değerli fikir ve önerileriyle katkıda bulunan ve tezin oluşmasında büyük desteği olan İ.T.Ü Çevre Müh.Bölümünden kıymetli hocam Doç.Dr. Lütfi Akça'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmasını gerçekleştirdiğim TÜBİTAK-ESÇAE Enstitüsü Md.Yard. Akın Geveci' ye ve Çevre Araştırma Enstitüsü elemanlarından teknisyen arkadaşlarım Özcan İnal Hasan Açar, Gülcan Enginsoy ve Hanife Sevimbike'ye ayrı ayrı teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında büyük destek ve sabrını esirgemeyen kıymetli eşim Mehmet ve oğlum İbrahim Ayaz' a ayrıca teşekkür ederim

M.Sc. Kimya Müh. Selma AYAZ

Mart1988

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZ	v
ABSTRACT	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
FOTOĞRAF LİSTESİ	xiv
BÖLÜM I. GİRİŞ	1
BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER	5
II.1. Evsel Atıksular	5
II.2. Ötrofikasyon	10
II.3. Sulakalan Sistemleri	11
II.3.1. Yapay Sulakalanlar	13
II.3.1.1. Yapay Sulakalanlarda Organik Madde Giderimi	16
II.3.1.2. Yapay Sulakalanlarda Azot Giderimi	20
II.3.1.3. Yapay Sulakalanlarda Fosfor Giderimi	23
II.3.1.4. Sulakalan Bitkilerindeki Oksijen Transferi	27
II.4. Yapay Sulakalanların Sınıflandırılması	27
II.4.1. Yüzeysel Akışlı Sistemler	27
II.4.2. Yüzeyaltı Akışlı Sistemler	28
II.4.3. Avrupa'da Yapay Sulakalanlar	31
BÖLÜM III. MATERYAL VE METOD	34
III.1. Çalışma Programı	34
III.2. Sulakalanlarda kullanılan Bitkiler	35

III.2.1. Canna(Kana Çiçeği)	35
III.2.2. Cyperus Türleri	36
III.2.3. Paspalum Paspalodes(Michx.) Scriberner	36
III.2.4. Lolium	36
III.3. Kullanılan Düzenekler	39
III.3.1. Bitkisel Filtre Sistemi : N,P Giderimi(kesikli sistem 1994-1996)	39
III.3.2. Geri Devirli, Laboratuvar Ölçekli Bitkisel Filtre Sistemi ile Organik Karbon Azot ve Fosfor Giderimi (kesikli sistem 1995)	44
III.3.3. Geri Devirli, Laboratuvar Ölçekli Arıtma Sistemi ile Organik Karbon, Azot ve Fosfor Giderimi(kesikli sistem 1996)	44
III.3.4. Geri Devirli, Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminde Organik Karbon, Azot ve Fosfor Giderimi(sürekli sistem 1996-1997)	49
III.3.5. Geri Devirli, Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminde Organik Karbon, Azot ve Fosfor Gideriminin Müstakil Bir Evde Uygulanması (sürekli sistem 1996-1997)	49 58
III.3.6. Bitki Hasatı, Çoğalması ve Bunlar Üzerinde Yapılan İşlemler	58
III.4. Analiz metodları	60
BÖLÜM IV.BULGULAR VE TARTIŞMA	62
IV.1. Bitkisel Filtre Sistemi : N,P Giderimi(kesikli sistem 1994-1996)	62
IV.2. Geri Devirli, Laboratuvar Ölçekli Bitkisel Filtre Sisteminde Organik Karbon, Azot ve Fosfor Giderimi(kesikli sistem 1995)	72
IV.3. Geri Devirli, Laboratuvar Ölçekli Arıtma Sisteminde Organik Karbon Azot ve Fosfor Giderimi(kesikli sistem 1996)	77
IV.4. Geri Devirli(Pilot Tesis Düzeyindeki)Arıtma Sisteminde Organik Karbon,100 Azot ve Fosfor Giderimi(sürekli sistem 1996-1997)	100
IV.5. Geri Devirli (Pilot Tesis Düzeyindeki) Arıtma Sisteminde Organik	116

Karbon, Azot ve Fosfor Gideriminin Müstakil Bir Evde Uygulaması(sür. sistem1997)	
IV.6. Bitki Hasadı, Çoğalması ve Elde Edilen Bulgular	117
SONUÇ	122
BÖLÜM V. ÖZET	125
BÖLÜM V. SUMMARY	128
BÖLÜM VI. KAYNAKLAR	131
BÖLÜM VII. EKLER	138
BÖLÜM VIII. ÖZGEÇMİŞ	147

ÖZ

SAHİL BÖLGERİNDE ATIK SULARIN YAPAY SULAKALANLAR İLE ARITILMASI

Bu çalışmada evlerden veya diğer faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların, yapay sulakalanlar ile, organik karbon, azot ve fosfor giderimine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Bu kapsamda çeşitli bitki ve dolgu malzemeleri kullanarak değişik sistemler geliştirilmiştir. Bunlar sırası ile bitkisel filtre sistemi ile N(0.5-2.6 g top-N/m².gün) ve P (0.1-0.5 g PO₄-P/m².gün) giderimi, geri devirli laboratuvar ölçekli bitkisel arıtma tesisi ile organik karbon (17.5-18 g/m².gün KOİ), N(2.5-3 g top-N/m².gün) ve P(0.097-0.16 g PO₄-P/m².gün) giderimi, geri devirli laboratuvar ölçekli arıtma tesisi ile organik karbon(%95 KOİ), N(%77-93 top-N) ve,P(%25-%60 PO₄-P) giderimi, geri devirli pilot tesis düzeyindeki arıtma tesisi ile organik karbon (%89 KOİ), N(%61 top-N),P (%39 PO₄-P) giderimi ve bu tesisin müstakil bir evde uygulanması ile ilgili olmuştur.

ABSTRACT

TREATMENT OF WASTEWATER BY CONSTRUCTED WETLAND IN COASTAL AREAS

In this study, removal of organic carbon, nitrogen and phosphorous from household and other sources has been investigated. For this purpose, various plants and filling materials were used to create different systems. These are; plant filtration system with N and P removal of 0.5-2.6 g top-N/m².day and 0.1-0.5 gPO₄-P/m².day, respectively ; Laboratory-scale recycled plant treatment system with removal of 17.5-18 g/m².day COD of organic carbon, 2.5-3 g top-N/m².day and 0.097-0.16 g PO₄-P/m².day of Phosphorous; Laboratory-scale recycled treatment system with removal of 95% COD, 77-93% top-N and 25% to 60% PO₄-P; recycled pilot plant-scala treatment system with removal of 89% COD organic carbon, 61% N and 39% PO₄-P. The utilization of the last systems was realized with a real system using a household as a case study.

TABLO LİSTESİ	SAYFA NO
Tablo 1. Çeşitli Aletlerdeki Su kullanım Oranları(Qasım, 1985)	5
Tablo 2. Evsel atıksuların tipik Kompozisyonu(Metcalf and Eddy 1991)	6
Tablo 3. Evsel Atıksu'da Önemli Kirleticilere Ait Birim Yükler (Orhon ve diğ.,1991)	7
Tablo 4. Evsel Nitelikli Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları(SKKY,1988)	8
Tablo 5. Evsel Atıksular İçin AT Alıcı Ortama Deşarj Standartları (ATS 1991)	9
Tablo 6. Hassas Bölgelerde Evsel Atıksular İçin AT Alıcı Ortama Deşarj Standartları (ATS 1991) (Konvansiyonel Parametrelere İlave Olarak)	9
Tablo 7. Doğal ve Yapay Sulakalan Sistemlerinin Kronolojik Gelişimi(Treatment Wetland)	12
Tablo 8. Yapay Sulaklanlarda Kullanılabilen Sulakalan ve Sucul Bitkiler(Knight,1997)	13
Tablo 9. Yüzeyaltı Akışlı Sulaklan Giriş bölgesindeki BOİ ₅ Yükleme Oranı(Reed,1990)	29
Tablo 10. Farklı Tipteki Yapay Sulakalanların Makrofitlerle olan Önemli İlişkisi (Brix, 1994)	30
Tablo 11. Atıksu Arıtımı İçin Kullanılan Bazı Sulakalan Bitkilerinin Sıcaklık, Tuzluluk ve pH Toleransları (Crites,1995)	31
Tablo 12. Avrupadaki 268 Adet Yapay Sulakalan Sistemlerinin Ortalama Verimi (Börner,1992)	32

Tablo 13. Danimarka'da 71 Adet Yatay Akışlı Yapay Sulakalanlarda Ait Ortalama Verim (Schierup ve diğ., 1990)	33
Tablo 14. Atıksu Karakterizasyonu	40
Tablo 15. Elek Analiz Sonuçları	49
Tablo 16. Aylara Göre Ortalama sıcaklık Değerleri	50
Tablo 17. Ham Atıksu karakterizasyonu	51
Tablo 18. Ölçülen Parametreler ve Analiz Metodları	60
Tablo 19.. 48 Saat'lik Bekleme Süresinden Sonra Su Fazındaki Değişimler	63
Tablo 20. Su Fazından Bitkiler Tarafından N,P,S Giderimi	64
Tablo 21. Bitkilerin Yaş ve Kuru Madde İçeriği	64
Tablo 22. Bitkilerdeki Elementler	65
Tablo 23. Arıtma Sistemindeki Atıksuyun Giriş-Çıkış Konsantrasyonları(Eylül 1995)	72
Tablo 24. Arıtma Verimleri	73
Tablo 25. Arıtılmış Atıksu Özellikleri	116
Tablo 26. Bitkilerin, Kuru, İnorganik Madde, Kül ve Toplam Biyomas İçeriği(1996)	118

Tablo 27. Bitkilerdeki Azot ve Fosfor Miktarları(1996)

119

Tablo 28. Bitkilerdeki Bazı Elementlerin Miktarları

120



ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil 1. Sulakalan Çevresindeki Karbon Depolama ve Karbon Transferleri	19
Şekil 2. Sulakalanlarda Azot Çevrimi	22
Şekil 3. Sulakalanlarda Fosfor Depolama ve Fosfor Transferi	25
Şekil 4. Sulakalanlarda Fosfor Çevrimi	26
Şekil 5. Çalışmanın Kronolojik Şeması	34
Şekil 6. Bitkisel Filtre Sistemi(kesikli sistem 1996) 'nin Şematik Görünüşü	40
Şekil 7. Geri Devirli Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sistemi(sürekli sistem 1996-1997)	53
Şekil 8. . Aylara Göre Sıcaklık ve Buharlaştırma(1996)	67
Şekil 9. Aylara Göre Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijen(1996)	68
Şekil 10.Aylara Göre Sıcaklık ve Bulanıklık(1996)	69
Şekil 11. Giriş Toplam Azot Yüküne Karşı giderilen Toplam Azot	70
Şekil 12. Giriş PO ₄ -P Yüküne Karşı Giderilen PO ₄ -P Arasındaki Bağını	71
Şekil 13. Arıtma Sisteminin Su Fazındaki Oksijen Konsantrasyonu (Paspalum Paspaloos ile)	74

Şekil 14. Arıtma Sisteminin Su fazındaki Askıda Katı Madde Konsantrasyonu (Paspalum 75 Paspalodes İle)	
Şekil 15. Arıtma Sisteminin Su fazındaki Nitrat Konsantrasyonu (Paspalum İle Paspalodes Karanlıkta)	76
Şekil 16. Giriş KOİ ile Giderilen KOİ Arasındaki	78
Şekil 17. Giriş TOK ile Giderilen TOK Arasındaki Bağını	81
Şekil 18. Giriş AKM ile Giderilen AKM Arasındaki Bağını	83
Şekil 19. Giriş TKN ile Giderilen TKN Arasındaki Bağını	85
Şekil 20. Giriş Toplam Azot Yüğü ile Giderilen Toplam Azot(ortalama)	87
Şekil 21. Giriş Toplam Azot Yüğü ile Giderilen Toplam Azot(aylık)	89
Şekil 22. Giriş PO ₄ -P Yüğü ile Giderilen PO ₄ -P (ortalama)	92
Şekil 23. Giriş PO ₄ -P Yüğü ile Giderilen PO ₄ -P(aylık)	94
Şekil 24. Aylara Göre Sıcaklık- Buharlaşıma	96
Şekil 25. Aylara Göre Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijen	98
Şekil 26. Aylara Göre KOİ,TOK ve AKM Konsantrasyonları	101
Şekil 27. Aylara Göre NH ₄ -N ve PO ₄ -P Konsantrasyonları	102

Şekil 28. Aylara Göre $\text{SO}_4\text{-S}$ ve Cl Konsantrasyonları	103
Şekil 29. Aylara Göre Bulanıklık ve AKM Çıkış Konsantrasyonları(Haziran 1996-şubat1997)	104
Şekil 30. Giriş KOI , TOK ve AKM Yüğü ile Giderilen KOI , TOK ve AKM (ortalama)	106
Şekil 31. Giriş KOI , TOK ve AKM Yüğü ile Giderilen KOI , TOK ve AKM(aylık)	107
Şekil 32. Giriş KOI Yüğü ile Çıkış KOI Konsantrasyonu	109
Şekil 33. Giriş TKN , top-N (ort. ve aylık) Yüğü ile Giderilen TKN , top-N (ort. ve aylık)	111
Şekil 34. Giriş $\text{PO}_4\text{-P}$ (ort. ve aylık) Yüğü ile Giderilen $\text{PO}_4\text{-P}$ (ort. ve aylık)	113
Şekil 35. Giriş top-N ve $\text{PO}_4\text{-P}$ Yüğü ile Çıkış top-N ve $\text{PO}_4\text{-P}$ Konsantrasyonu	114
Şekil 36. Giriş $\text{SO}_4\text{-S}$ ve Cl Yüğü ile Giderilen $\text{SO}_4\text{-S}$ ve Cl	115
Şekil 37. Aylara Göre Bitki Biyokütlesindeki Artışlar	121
Şekil 38. Zamana Karşı KOi , TOK , AKM Konsantrasyonu	139
Şekil 39. Zamana Karşı KOi , TOK , AKM Konsantrasyonu	140
Şekil 40. Zamana Karşı KOI , TOK ,AKM Konsantrasyonu	141
Şekil 41. Zamana Karşı $\text{NH}_4\text{-N}$, PO_4 , SO_4 , Cl Konsantrasyonu	142

Şekil 42. Zamana Karşı KOİ, TOK, AKM Konsantrasyonu	143
Şekil 43. Zamana Karşı KOİ, TOK, AKM Konsantrasyonu	144
Şekil 44. Zamana karşı NH ₄ -N, PO ₄ , SO ₄ , Cl Konsantrasyonu	145
Şekil 45. Zamana Karşı NH ₄ -N, PO ₄ , SO ₄ , Cl Konsantrasyonu	146



FOTOĞRAF LİSTESİ

SAYFA NO

Foto.1. Cyperus ve Canna'daki Kök Bölgesinin Görüntüleri	37
Foto.2. Paspalum Paspalodes ve Loliumdaki Kök Bölgesinin Görüntüleri	38
Foto 3. Bitkisel Filtre Sisteminden Görüntüler(kesikli sistem 1994)	41
Foto 4. Bitkisel Filtre Sistemindeki Canna ve Cyperus'tan Görüntüler (kesikli sistem 1994)	42
Foto 5. Bitkisel Filtre Sistemindeki Paspalum Paspalodes'den Görüntüler(kesikli sistem 1994)	43
Foto 6.Canna'dan Görüntüler	45
Foto 7. Cyperus 'tan Görüntüler	46
Foto 8. Paspalum Paspalodes'den Görüntüler	47
Foto 9. Sistemden Genel Görüntüler	48
Foto 10.Geri Devirli Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminin Cyperus ile Görüntüsü	54
Foto 11. Geri Devirli Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminin Boş ve Cyperus ile Beraber Görüntüsü	55
Foto 12. Geri Devirli Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminden Genel Görüntüler	56

Foto 13. Geri Devirli Pilot Tesis ve Laboratuvar Ölçekli Arıtma Sisteminden Genel Görüntüler	57
Foto 14. Geri Devirli Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminin Müstakil Bir Evde Uygulanması	59



BÖLÜM I. GİRİŞ

Deniz kirliliği endüstriyel atıksuların yanısıra evsel atıksuların da arıtılmadan denize verilmesi sonucunda ciddi boyutlara ulaşmıştır. Özellikle sanayi kollarının büyük bir kısmı bir çok avantajından dolayı denize yakın bölgelerde kurulduğundan sahiller diğer bölgelere nazaran daha kalabalık bir nüfus barındırmaktadır. Ayrıca turizm sektörünün önemli bir kısmı da denizle ilgili olduğundan özellikle yaz aylarında deniz kıyılarında büyük bir nüfus artışı olmaktadır. Bu bölgelerdeki nüfus artışından dolayı, evsel atıksuların yüksek debiler meydana getirmesi, denizler için önemli bir kirlilik potansiyeli oluşturmaktadırlar.

Denizler, difüzyon ve diğer sebeplerle kazandıkları oksijene eşdeğer miktardaki organik kirliliği tabi olarak özümseyebilmektedir. Ayrışmayan ve bozunmayan türdeki kirleticiler ise akıntılardan ileri gelen seyrelmeler sebebiyle belli bir seviyeye kadar, zararlı konsantrasyonların altında kalabilmektedir. Ancak günümüz koşullarındaki yoğun kirlilik boşaltımı ; denizlerin kendi kendini temizleme kapasitesinin yetersiz kalması olgusunu beraberinde getirmişti(Türkman, 1994).

Deniz ortamına boşaltılan organik kirlilik yükünün yüksek olması halinde oksijen konsantrasyonu balık yaşamı için sınır değerin altına düşebilmekte, bu durumda balık ölümleri veya göçleri olmaktadır. Çözünmüş oksijenin tamamının tükenmesi ve hala ayrışabilecek organik madde bulunması durumunda ise ortam anaerobikleşerek oksijensiz ayrışma başlamakta ve son ürün olarak metan (CH_4) , hidrojen sülfür (H_2S) ve amonyak(NH_3) gibi gazlar çıkmaktadır.

Atıksuların içerdiği kirleticiler maddelerin deniz ortamındaki bir diğer olumsuz etkisi ötrofikasyondur. Ötrofikasyon, alıcı ortamlarda doğal konsantrasyonlarda bulunan azot, fosfor ve diğer besin elementlerinin konsantrasyonlarında, genellikle arıtılmadan verilen evsel ve endüstriyel atıksular, tarımsal alanlardan gelen yüzeysel sular ve diğer girdilerden kaynaklanan artış neticesinde fitoplankton üremesinin aşırı düzeyde olması ile başlayan

ekolojik denge bozulmasıdır. Bu gibi durumlarda dipte oksijen konsantrasyonu düşer. Böylece anaerobik koşullarda yaşayan mikroorganizmalar, aerobik mikroorganizmaların aleyhine olarak gittikçe çoğalırlar. Suyun ışık geçirgenliğinde, kokusunda ve tür sayısında önemli değişimler olur (Miller ve diğ. 1978). Deterjanlar deniz suyunda içerdikleri fosfor nedeniyle ötrofikasyona yol açmaktadırlar. Ayrıca yüzme sırasında bünyeye alınmaları ve suda köpük oluşturmaları gibi mahzurları da vardır.

Diğer taraftan insan faaliyetleri nedeniyle ortaya çıkan kirlenme deniz suyunda bulanıklık oluşturarak birincil üretim bölgelerini daraltabilmektedir. Denize gelen kirletici maddeler suyun berraklığını azaltarak fotosentez için gerekli ışık miktarının azalmasına yol açmaktadır. Bu gibi durumlarda mavi yeşil algler hakim duruma geçmektedirler. Bu algler su yüzeyine yakın yerlerde kalabilmekte ve yüzücü maddeler oluşturarak suyun estetik değerini kaybetmesine yol açmaktadırlar.

Bu durumda üç tarafı denizlerle kaplı ve özellikle iç denizleri ötrofik olmaya yüz tutmuş ülkemizde sahil bölgelerinde atıksuların arıtılmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Evsel atıksuların ikinci kademe arıtımında biyolojik arıtma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtre, biyodisk, havalandırılmalı lagün ve stabilizasyon havuzları gibi klasik sistemler sayılabilir. Azot giderimi için çoğunlukla biyolojik nitrifikasyon denitrifikasyon, fosfor giderimi için kimyasal çöktürme ve biyolojik fosfor giderimi, azot ve fosforun birlikte giderilmesi için ise genellikle biyolojik arıtma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin genel özellikleri yatırım ve işletme maliyetlerinin oldukça yüksek olması, keza enerji tüketiminin bir çok sistemde çok fazla oluşudur.

Evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan yöntemlerden birisi de son yıllarda gelişmekte olan “ Yapay Sulakalan ” sistemleridir. Bu sistemlerin yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük olması, ekolojik ve estetik açıdan bir çok olumlu yanlarının bulunması, bu teknolojilerin önemli üstünlüklerindendir.

Türkiye' nin atıksu arıtma alanında büyük bir ihtiyacının bulunduğu ve bu alanda geri kalınmasının sebeplerinden en önemlisinin mali kaynak eksikliği olduğu bilinmektedir. Diğer taraftan son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde, konvansiyonel arıtma sistemlerine göre ilk yatırım maliyeti ve işletme masrafları oldukça düşük, estetik açıdan daha güzel gözüken sulakalan sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerde uygun koşullar sağlandığı takdirde düşük enerji sarfiyatı ve maliyeti ile organik madde, nutrient ve ağır metallerde yüksek giderimler elde edilebilmektedir.

Ayrıca bir tarım ülkesi olan Türkiye'nin önemli miktarda sulama suyuna ihtiyacı vardır. Atıksu toplama sistemi, arıtma tesisi gibi çevre alt yapısı yeterli olmayan, veya arıtma tesisi olduğu halde teknik nedenlerle veya yüksek enerji maliyeti nedeniyle çalıştırılmayan bir çok şehrimizde, evsel atıksuların kontrolsüz bir şekilde, hiç bir önlem alınmadan sulama amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Atıksular zararsız hale getirildikten sonra bilimsel ve teknik gereklere uygun şekilde, sulama suyu olarak kullanmak, atıksuyun alıcı ortama verdiği zararı önleyeceği gibi ekonomik bir değeri de olacaktır.

Ülkemizde dağınık yerleşim bölgeleri, su havzaları, kırsal yerleşim bölgelerinde fosseptik çukurları genelde sızdırmaz bir şekilde yapılmadığından, bu atıksular yeraltı sularına karışmaktadırlar. Bu tip yerlerin bahçelerinde açılan kuyulardan temin edilen sular halk sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle son yıllarda buralara kanalizasyon sistemleri inşa edilmektedir. Ancak kurulan bu sistemlere giren atıksu debisi az olduğu için kanallarda çökme meydana gelmekte ve bu durumda kanalların tıkanmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu durumda kanalizasyon sistemi çalıştırılmamaktadır. Kanalizasyon sisteminin kurulması da ayrı bir maliyet getirmektedir. Bu gibi durumlarda yerinde arıtımı sağlayan yapay sulakalan sistemi kullanılarak, arıtılan suyun bahçe sulamada değerlendirilmesi uygun ve çok cazip bir çözüm olabilir.

Doğal arıtma sistemi olarak adlandırılan bu arıtma sistemlerinin verimini etkileyen faktörlerden bir tanesi iklimdir. Orta ılıman iklim kuşağı içerisinde yer alan Türkiye'de bu

sistemlerin uygulanması için iklim şartları uygun gözükmektedir. Özellikle sahillerdeki yerleşimler ve turistik tesislerle çok güneş alan Güney ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri için bu sistemler ekonomik bir çözüm olarak düşünülmektedir.

Bu çalışmada Evsel Atıksuların “Yapay Sulakalan” yöntemi ile arıtılması incelenmiş ve Türkiye’ nin şartlarına uygun şekilde (yerleşim şekli , iklim durumu vs.) geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde çeşitli yüzeyaltı akışlı sistemler geliştirilmiştir. Geliştirilen yüzeyaltı akışlı sistemlerin uygulandığı arazi şartlarında , seçilen Cyperus, Canna, Paspalum Paspalodes ve Lolium bitkileri ve dolgu malzemelerinin birlikte veya ayrı ayrı kullanılması halindeki nutrient ve organik madde giderim verimleri belirlenmiş ve bu sistemlerin tasarımlarına yönelik kriterler geliştirilmiştir. Çalışmada TÜBİTAK-MAM arazisi ve KİMYA MÜH. BÖLÜMÜ ile MAM-YEMEKGANE atıksuları kullanılmıştır. Çalışmalar , kesikli ve sürekli çalışan laboratuvar ve pilot ölçekli sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, literatürde rastlanan değerlere göre kişi başına arıtma alanının daha küçük olduğu, estetik açıdan güzel, kurulma ve işletmesinin şartlarının son derece kolay olduğu bir arıtma sistemi elde edilmiş bu arıtma sisteminin uygulaması müstakil bir evde yapılmıştır.

BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER

II.1. Evsel Atıksular

Evsel atıksular genel itibarıyla insan dışkısı, banyo, duş, çamaşır, bulaşık, mutfak, lavabo ve yer yıkama sularından oluşmaktadır. Evsel atıksuları oluşturan kullanım alanları ve su miktarları Tablo 1'deki gibidir (Qasım, 1985).

Tablo1. Çeşitli Aletlerdeki Su Kullanım Oranları (Qasım 1985).

Kullanım Alanı	Debi
Lavabo	4-8 l/kullanım
Duş	90-110 l/kullanım
Banyo küveti	60-190 l/kullanım
Tuvalet sifonu, tank tipi	19-27 l/kullanım
Tuvalet sifonu, valv tipi	9-110 l/kullanım
Bulaşık makinası	15-30 l/kullanım
Çamaşır Makinası	110-200 l/kullanım
Musluk	4-5 l/dak
Çöp kutularının yıkanması	6000-7500 l/hafta
Muslukların sızdırdığı	10-1000 l/gün

Evsel atıksular bileşim itibarıyla çözünmüş, kolloidler ve askıda maddeleri içerirler. Atıksuların özellikleri üzerine , nüfus yoğunluğu, refah seviyesi, iklim vb. faktörlerin etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca bir yerleşim yerine ait atıksuyun, kirlilik derecesi bir saatten diğerine, günden güne, mevsimden mevsime değişiklik göstermektedir (Rudolf ,1967). Evsel atıksular aynı zamanda bakteri, virüs ve protazaları'da içermektedir (Dumlu, 1979) . Evsel

atıksuların kirlilik derecesine göre tipik kompozisyonu Tablo 2 'deki gibidir (Metcalf and Eddy,1991).

Tablo 2. Evsel Atıksuların Tipik Kompozisyonu(Metcalf and Eddy 1991)

Bileşim	Konsantrasyon(mg/l)		
	kuvvetli	orta	zayıf
Toplam Katı Madde	1200	700	350
Çözünmüş Katı Madde	850	500	250
Toplam Asılı Katı Madde	350	200	100
Çökebilir Madde(ml/l)	20	10	5
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı(BOI_5)	300	200	100
Toplam Organik Karbon(TOK)	300	200	100
Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOI)	1000	500	250
Azot(Toplam azot)	85	40	20
Organik Azot	35	15	8
Amonyak	50	25	12
Nitrit	0	0	0
Nitrat	0	0	0
Fosfor(T-P)	20	10	6
Organik Fosfor	5	3	2
İnorganik Fosfor	15	7	4
Klorür*	100	50	30
Alkalinite($CaCO_3$ cinsinden)*	200	100	50
Yağ ve Gres	150	100	50

* : Kullanılan su özelliklerine göre bu değerler artabilir.

Evsel atıksuların Türkiye şartlarında tesbit edilen nüfus başına kirlilik yükleri aşağıda verilmektedir(Orhon ve diğ.,1995)Tablo 3 evsel atıksudaki önemli kirleticilere ait birim eğerleri göstermektedir.

Tablo 3. Evsel Atıksuda Önemli Kirleticilere Ait Birim Yükler(Orhon ve diğ.1995)

Parametre	Birim Yük(g/kişi.gün)
BOİ ₅	45-100
KOI	70-220
AKM	70-150
Toplam Katılar	150-300
Yağ-gres	10-40
Toplam N	6-15
Toplam P	0.6-4

Türkiye’de atıksuların alıcı ortama doğrudan boşaltım ile ilgili teknik kısıtlamalar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği(SKKY) ’nde(1988) yer almaktadır. Bu yönetmelik çevre sularından alıcı ortam olarak yararlanma koşullarını evsel ve endüstriyel kaynaklar için ayrı ayrı düzenlemiştir. Tablo 4 Evsel atıksuların alıcı ortama deşarj standartlarını vermektedir.

Mevzuatımızın temel özelliği farklı kuruluşlara bazen çakışık ve çelişik yetkiler veren çok sayıda yasa yönetmelik ve tüzüğe bölünmüş olmasıdır. Aslında bir çok yasanın içinde yer alan bir dizi hüküm uygulama niteliği taşımamakta veya uygun uygulama ortamı bulamamakta, doalyısıyla geçerliliğini büyük ölçüde kaybetmektedir. Türkiye’nin uluslararası çevre mevzuatını ülke koşullarına uyarlama ve uygulamaya yönelik başarısı hem diğer ülkelerle uyuşması bakımından kalkınma çabasına olumlu etki yapacak hemde doğrudan çevre kirlenmesine yararlı olacaktır. Ancak bugüne kadar uluslararası mevzuattan yeterli ve gerekli ölçüde yararlanıldığını söylemek mümkün değildir.

Tablo 4. Evsel Nitelikli Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları (SKKY 1988)

Parametre	BOİ ₅ (mg/l)		KOİ(mg/l)		AKM(mg/l)		pH	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Sınıf 1 < 60 kg BOİ ₅ /gün kişi<1000	60	45	180	120	70	45	6-9	6-9
Sınıf 2 (60-600 kg BOİ ₅ /gün) Kiş =1000-10000	60	45	160	110	60	30	6-9	6-9
Sınıf 3 >600 kgBOİ ₅ /gün kişi> 10000	60	45	140	100	45	30	6-9	6-9

(a) : 2 saatlik kompozit numune

(b) : 24 saatlik kompozit numune

Evsel atıksularla ilgili Avrupa topluluğu standartları Türkiye'deki kısıtlamalara göre daha sıkıdır. 1991 yılında yürürlüğe girmiş olan AT direktiflerinde, ilk defa bir hassas bölge tanımı yapılmış ve bu doğrultuda alıcı ortama evsel atıksu deşarjları için konvansiyonel parametrelerin (BOİ₅, KOİ,AKM) yanısıra azot ve fosfor parametreleri için de kısıtlamalar getirilmiştir. Bu hassas bölgeler, Türkiye için; turistik bölgeler, kirlenmiş bölgeleri(Marmara bölgesi, İzmir vs.), konumu nedeniyle önemli bölgeleri(su havzaları) olmalıdır. AT standartları normal ve hassas bölgeler için Tablo 5 ve 6' da özetlenmiştir. Evsel kaynakların arıtma gereksinmesinin saptanması amacı ile nüfusu 1000'den küçük, 1000-10000 arası ve 10000'den büyük yerleşim bölgeleri olmak üzere üç ayrı grupta değerlendirilmiş ve her grup için değişik arıtma özellikleri ve denetim düzenleri gerektirecek ayrı nümerik ölçütler getirilmiştir.

Tablo 5. Evsel Atıksular İçin AT Alıcı Ortama Deşarj Standartları (ATS 1991)

Parametre	Konsantrasyon (mg/l)	Min Arıtma Verimi(%)	Örnek Sayısı
BOI ₅	25	70-90	10/12
KOI	125	75	10/12
AKM	35(N > 10000	90	10/12
	60(N 2000-10000)	70	10/12

Tablo 6. Hassas Bölgelerde Evsel Atıksular İçin AT Alıcı Ortam Deşarj Standartları(ATS 1991) (Konvansiyonel Parametrelere İlave Olarak)

Parametre	Konsantrasyon(mg/l)	Min Arıtma Verimi(%)
TP	2(N 10000-100000) (N >100000)	80 1
TN	15(N 10000-100000) 10(N >100000)	70-80

Tablolardan AT ülkelerinde hassas bölgelerin korunmasına yönelik olarak azot, fosfor kısıtlamalarının uygulandığı görülmektedir. A.B.D de ise federal ölçekte uygulanmakta olan azot, fosfor kısıtlamaları mevcut değildir. Ancak göl, nehir ve körfezlerden oluşan bir dizi hassas alıcı ortam için yöresel olarak 5mg/l nin altında toplam azot limitleri uygulamaya konulmuştur (Orhon ve diğ., 1994).

Türkiye’de, merkezi düzeyde Çevre Bakanlığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, yöresel olarak da Büyükşehir Belediyelerine bağlı olarak kurulmuş olan su ve kanalizasyon idarelerinin çıkarmış olduğu yönetmelikler geçerlidir. Su kirliliği kontrol yönetmeliği’nde bir kaç endüstriyel deşarj haricinde hiç bir kirlletici kaynak için azot kısıtlaması getirilmemiştir.

Yöresel olarak ise azot kısıtlamasını gündeme getirmiş olan tek yetkili kurum İSKİ'dir. İSKİ Marmara denizinin giderek kirlenmesini ve kirliliğin büyük ölçüde besi maddelerine bağlı olarak ötrofikasyondan kaynaklandığını göz önüne alarak kurmakta olduğu atıksu tesislerindeki deşarjlar için AT direktifinin hassas bölgeler için tanımlandığı 10 mg/l toplam azot giderimini benimsemiştir.

Deşarj standartlarının belirlenmesinde, saptanan değer kadar önemli olan bir diğer noktada bu değer izlenme ve değerlendirme biçimidir. Ülkemizde tek bir tekil atıksu örneğinde çıkan kötü bir sonuçla arıtma tesisinin çalışmadığı yönünde karar verilebilmektedir. Oysa hemen hemen tüm ülkelerde azot parametresi % 50 bir değerle denetlenmektedir. Başka bir ifadeyle bu tür uygulamalarda yıl içinde alınan örnek ortalamalarının saptanan limit değerinin altında olması yeterli görülmektedir.

II.2. Ötrofikasyon

Ötrofikasyon, genel olarak doğal suların besin elementleri tarafından zenginleşmesi sonucunda alglerin aşırı üremeleri olarak tanımlanabilir. Bu olay sonucunda planktonlar ölür ve bunu takiben çökelmeler ile parçalanmalar başlar. Bütün bu olayların neticesinde dip sularda oksijen konsantrasyonu düşer. Bu şekilde anoksik koşullar oluşur. Ötrofikasyonun meydana gelmesi genel olarak insan aktivitelerine bağlıdır. Bu nedenle nüfusun yoğun olduğu bölgelerden kaynaklanan arıtılmamış evsel atıksuların doğal su ortamlarına ulaşması ile birçok problemler meydana gelir (Chiaudi, 1980).

Ötrofikasyonun başlaması ile yörenin planktonik, bakteriyel, bentik ve balık topluluklarında değişimler görülür. Doğal ortamda bulunan algler ne kadar az çeşitli ise ortamın kirli olma olasılığı o oranda artmış olur. Tür sayısı azalırken belli türler baskın hale gelir. Bu şekildeki değişim ile bazı durumlarda ötrofikasyon hızı ve derecesi belirlenir (Hutcinson, 1969).

Deniz ve göller ile diğer sulara karışan fosfatın çoğu tarım dışı kullanımlardan gelir. Çünkü toprakta fosfor kuvvetli tutulduğu için yıkanma oldukça azdır. Bununla birlikte tarımda fosforlu gübre kullanımındaki artışın ötrofikasyonun artmasına neden olduğuda iddia edilmektedir. Tarım topraklarında fosfor yıkanması çoğu kez inorganik fosforlu gübrelerden değil, ya toprak altında doğal olarak bulunan fosfatın çözünmesinden veya topraklara verilen hayvansal atıklardan kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan evsel atıksularda bulunan deterjanların içinde bulunan fosforun alıcı sulara karışması, deniz ve göllerde birincil üretimin çoğalmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı bazı ülkelerde deterjanlarda kullanılan fosfat miktarına da sınırlandırmalar getirilmiştir. Bu durum incelendiğinde , fosfat miktarına konulan sınırlandırmaların özellikle göller açısından zengin ülkelerde olduğu görülmektedir. Ancak yapılan araştırmalar sonucunda deterjanlardaki fosfat kısıtlamasının yüzey sularının kalitesine büyük bir katkıda bulunmadığı görülmüştür. Bu nedenle fosfat kısıtlamasından daha etkili olarak evsel atıksu arıtım sistemlerinin fosfat arıtımı yapacak şekilde düzenlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Çikoğlu,1992) .

II.3. Sulakalan Sistemleri

Atıksular doğal veya çeşitli şekillerde düzenlenmiş yapay sulak alanlarda arıtılabilmektedir. Bu sistemlerde genel olarak köklü, suya dayanıklı bitki türleri ile suya doymun toprak kullanılmaktadır. Bu arıtma sistemleri evsel, endüstriyel ve tarımsal atıkların arıtımı için kullanılan düşük masraflı arıtma alternatifidirler(Reddy, ve diğ.1997) Çeşitli bataklıkların doğal sulak alan olarak kullanılmasına karşın genellikle sulakalan sistemleri yapay olarak oluşturulmaktadır(Kadlec, 1995). Tablo 7. Doğal ve yapay sulak alanların su kalite yönetiminde tarihi süreç içindeki kronolojisini göstermektedir.

Tablo 7. Doğal ve Yapay Sulakalan Sistemlerinin Kronolojik Gelişimi (Treatment Wetland 1996)

Tarih	Yer	Açıklama
1952-1970'lerin sonu	Plon, Almanya	Bulrush ile fenol giderimi ve günlük atıksu arıtımı
1967-1972	Morehead City, NC	Kanalizasyon çıkışının yapay sulakalan sistemiyle artırılması üzerine yapılan çalışmalar
1971-1975	Woods Hole, MA	Doğal bataklıkları nutrient, ağır metal ve organik maddeleri giderme verimi
1972-1977	Porter Ranch, MI	Kanalizasyon atıksularının doğal sulakalanda arıtımı
1973-1974	Dulac, LA	Tatlı su bataklığına balık havuzu atıksuyu deşarjı
1973-1975	Seymor, WI	Su Kamışı ekili yapay sulakalanda kirletici giderimi
1973-1976	Brookhaven ,NY	Çayır-sulakalan-lagün sistemleri
1973-1977	Gainesville, FL	Sulakalanın kanalizasyon atıksuyunun geri kazanmasında kullanılması için yapılan çalışmalar
1974-1975	Brillon, WI	Yapay ve doğal sulakalanlar
1974-1988	NSTL Station, MS	Yüzeyaltı akışlı sulakalanlarda kanalizasyon atıksuyunun geri kazanılması
1975-1977	Tenton, NJ	Tarımsal alanların arıtılmış atıksu ile sulanması
1976-1982	Southeast Florida	Doğal sulakalanda besi maddesi giderimi,
1979-1982	Arcada, CA	Kanalizasyon atıksularının arıtma sisteminde artırılması
1979-1982	Humbolt, SK	Lagün ve sulakalan sisteminde evsel atıksuyun kesikli arıtımı
1980-1984	Listowel, Ontario	Kanalizasyon suyunun çeşitli işletme şartlarında artırılması
1981-1984	Santer, CA	Yüzeyaltı akışlı sulakalanlarda kanaliz. suyunun arıtımı

II.3.1. Yapay Sulakalanlar

Yapay sulakalanlar biyolojik, kimyasal ve fiziksel arıtım proseslerini içeren atıksu arıtım sistemleridir. Bu sistemlerde nutrient, organik madde ve ağır metal giderimi bakteriyolojik faaliyetler, bitki bünyesinde depolama, toprak filtrasyonu ve atmosferik faaliyetler sonucunda olmaktadır. Yapay sulakalanların çeşitli safhaları ile ilgili çok çalışma mevcuttur. Bunların başlıcaları; Reddy ve Debouk(1987); Hammer(1989); Cooper ve Findlater(1990); Moshiri(1993) tarafından yapılan çalışmalardır. Bu sistemlerin dizayn kriterleri ile ilgili yapılan çalışmalar literatürde özeti Reed(1995) tarafından verilmiştir. Genel olarak sulakalanlarda kullanılan bitkileri Tablo 8'de verilmiştir(Knight, 1997).

Tablo 8. Yapay Sulakalanlarda Kullanılabilen Köklü ve Yüzücü Bitkiler(Knight, 1997)

Bitki Cinsi	Büyüme Şekli	Yetiştirme Yeri	Gölge Toleransı	Bitkilerden Faydalanan Hayvanlar	Su Rejimi	Tuzluluk Toleransı
Acer negundo	Ağaç	Ormanlık sulaklanlarda	Tamamen güneşli yerler	Ötücü kuşlar, su kuşları, küçük memeliler	Düzenli ve düzensiz akış	Tatlı su tuzlu sulara dayanıklı
Acorus calamus	Ot şeklinde	Tatlı sulardan az tuzlu sulaklanlara kadar her yerde	Kısmi gölgeli yerler	Su kuşları, sıçanlar	Düzenli ve sürekli akış < 15 cm	Tatlı su ve az tuzlu sulara dayanıklı < 10ppt
Ainus serrulata	Çalı, funda	Sulakalanlar	Tam güneşli	Ötücü ve av kuşları, ördekler, çulluklar, kara tavuk, kunduz	Mevsimsel düzenli akış 7 cm'e kadar	Tatlı su <0.5 ppt
Carex spp.	Ot şeklinde	Sulakalanlar, göl kıyıları	Tam gölgeli ve tam güneşli yerler	Su tavukları, serçeler, çulluk, ötücü kuşlar, ördekler, geyikler	Düzensiz akış ve sürekli akış < 0.15 cm.	Tatlı su <0.5 ppt

Bitki Cinsi	Büyüme Şekli	Yetiştirme Yeri	Gölge Toleransı	Bitkilerden Faydalanan Hayvanlar	Su Rejimi	Tuzluluk Toleransı
Ceratophyllum demersum	Su altında	Göller Yavaş akan dereler	-	Ördekler, su tavukları, kazlar, kuğular, sulakalan kuşları, sıçanlar	Düzenli ve sürekli akış 0.3/1.5	Tatlı su <0.05 ppt
Cyperus esculentus	Ot şeklinde	Yeni bataklıklar, ıslak çayırlar	Tam güneşli yerler	Su kuşları, ötücü kuşlar, küçük memeliler	Düzensiz ve Düzenli akış<0.3m	Tatlı su <0.5ppt.
Eichhornia crassipes	Köksüz yüzen bitkiler	Tatlı su gölleri, ve ağır akan dereler	Tam güneşli yerler	Su tavukları, omurgasız hayvanlar ve balıklar	Sürekli akışlar	Tatlı su <0.5ppt
Hidrocotyle Umbellata	Emergent ve yüzen bitkiler	Sahil kıyılarında, sığ sulakalanlarda	Kısmi gölgeli yerler	Av kuşları, su kuşları	Düzenli ve sürekli akış <30 cm.	Tatlı su <0.5ppt
Juncus effusus	Ot şeklinde	Sulakalanlar, fundalıklı sulakalanlar, ıslak çayırlar	Tam güneşli yerler	Av kuşları, sulakalan, ötücü ve su kuşları	Düzenli ve sürekli akış <30 cm	Tatlı su <0.5 ppt
Lemna minor	Köksüz yüzen bitkiler	Göller, göletler	Kısmi gölgeli yerler	Ördekler, Gallinules, su tavukları, kazlar, kunduzlar, sıçanlar, küçük memeliler	Sürekli akış	Tatlı su <0.05ppt
Nuphar luteum	Köklü yüzen bitkiler, ot cinsleri	Sulakalanlar, göletler	Kısmi gölgeli	Ördekler, sıçanlar, balıklar	Düzenli ve sürekli akış 1.8 m ye kadar	Tatlı su veya kısmi az tuzlu su
Nyssa sylvatica	Ağaç şeklinde Ormanlık sulakalanlar,	Kısmi gölgeli	Ördekler, ağaç kakanlar, ötücü kuşlar, kunduzlar	Düzensiz akış, sürekli akış	Tatlı su, kısmi az tuzlu su	
Phragmites australis	Yer bitkiler, ot cinsleri	Tatlı veya tuzlu su	Tam güneşli yerler	Ötücü kuşlar, sulakalan kuşları,	Mevsimsel akış ve	Tatlı su hafif tuzlu su 20 ppt

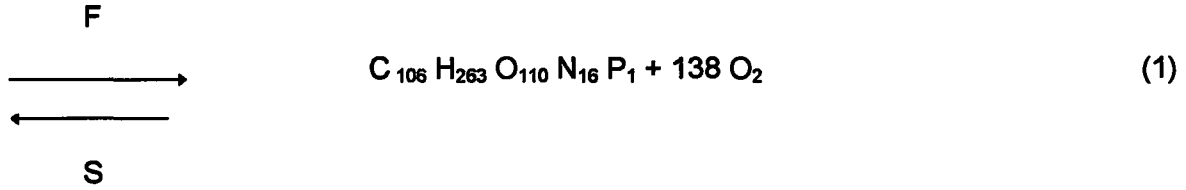
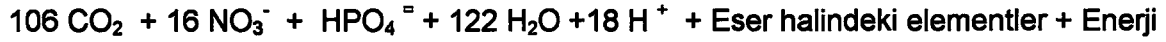
		sulakalanları		sahil kuşları, akuatik kunduzlar	sürekli akış 60 cm.kadar	
Bitki Cinsi	Büyüme Şekli	Yetiştirme Yeri	Gölge Toleransı	Bitkilerden Faydalanan Hayvanlar	Su Rejimi	Tuzluluk Toleransı
Pontederia Cordata	Ot şeklindeki bitkiler	Tatlı su sulakalanları Tuzlu sulakalanlar gölet kıyıları	Kısmi gölgeli	Ördekler,sıçanlar, balıklar	Düzenli ve sürekli akış 30cm kadar	Tatlı ve orta tuzlu sular, 3ppt'ye kadar
Populus deltoides	Ağaç şeklinde	Ormanlık sulakalanlar	Tam güneşli yerler	Av kuşları, ötücü kuşlar, su kuşları, akuatik kunduzlar, otlayan hayvanlar	Mevsimsel akış veya doymun akış	Tatlı suve kısmi hafif tuzlu su
Potamogen nodosus	köklü akuatik bitkiler	Akarsular göller, göletler	-	Su kuşları, sulakalan kuşları, sahil kuşları, akuatik kunduzlar, geyikler, balıklar	Düzenli ve sürekli akış 0.3 ila 1.8 m	Tatlı su <0.05 ppt
Sagittaria Latifolia	Ot şeklindeki bitkiler	Tatlı su sulakalanları, sulakalanlar, gölet kıyıları	Kısmi gölgeli yerler	ördekler, kuğular, su tavukları, sıçanlar, kunduzlar	Düzenli ve sürekli akış 60 cm kadar	Tatlı su < 0.5 ppt
Salix nigra	Ağaç şeklinde	tatlı su sulakalanları, sulakalanlar	Tam güneşli yerler	Av kuşları ördekler, ötücü kuşlar, ağaçkakanlar, aquatic memeliler	Düzensiz ve sürekli akış	Tatlı su < 0.5 ppt
Scirpus americanus	Ot şeklindeki bitkiler	Tuzlu sulu ve alkali sulakalanlar	Tam güneşli yerler	Ördekler, kazlar, kuğular, turnalar, sahil kuşları su tavukları, çulluklar, sıçanlar, balıklar	Düzenli ve sürekli akış 30 cm kadar	Tatlı su ve hafif tuzlu sular 15 ppt kadar
Scirpus valides	Ot şeklindeki bitkiler	Tatlı ve tuzlu sulu sulak alanlar	Tam güneşli yerler		Düzenli ve sürekli akış 30cm'e kadar	Tatlı ve hafif tuzlu sular 5 ppt'ye kadar
Sparganium	Ot şeklindeki bitkiler	Sulakalanlar,	Kısmi gölgeli	Ördekler, kuğular,	Düzenli ve	Tatlı sular > 0.5 ppt

eurycarpum		gölet kıyıları	yerler	kazlar, kunduzlar, sıçanlar	sürekli akış 3 cm'kadar	
Bitki Cinsi	Büyüme Şekli	Yetiştirme Yeri	Gölge Toleransı	Bitkilerden Faydalanan Hayvanlar	Su Rejimi	Tuzluluk Toleransı
Taxodium distichum	Ağaç şeklinde	tatlı sulu sulakalanlar göl ve gölet kıyıları	Kısmi gölgeli yerler	Kuşlar için tünek ve yuva alanları	Düzensiz ve sürekli akış	Tatlı su >0.5 ppt
Typha latifolia	Ot şeklindeki bitkiler	Tatlı su sulakalanları gölet bölgeleri	Tam güneşli yerler	Kazlar, ördekler, sıçanlar, kunduzlar, karatavuklar, balıklar	Düzensiz ve sürekli akış 30 cm'e kadar	Tatlı su < 0.5 ppt

II.3.1.1.Yapay Sulakalanlarda Organik Madde Giderimi

Sulakalanlar organik karbon çevrimi için en önemli alanlardır. Sulakalanlarda vukubulan proseslerde ayrışabilir karbon hızlı bir şekilde harcanmaktadır(Reddy, 1997). Karbon alımı ve üretimi arasındaki denge, dışarıya verilen karbon miktarını belirlemektedir. Sulakalan sisteminde, çevrilen karbon miktarı atıksu ile verilen karbon miktarından fazla olup bu çevrim atıksudaki karbon giderimini sağlamaktadır. Bu sistemde bitkiler fotosentez yapmaları için CO₂ 'e ihtiyaç duyarlar . Birçok organizma solunum yoluyla CO₂ bırakır ve çeşitli ara yollarla CH₄ gibi CO₂'inde mikrobiyolojik yollarla üretilmesine sebep olurlar. Bütün gazlar suda belirli miktarlarda çözündüklerinden sistemden atmosfere veya atmosferden sistem karbon transferi sağlanır. Atıksudaki organik maddenin ölçülmesi için değişik analitik metodlar ve parametreler mevcuttur. Evsel atıksularda en çok kullanılan ölçüm metodu BOI₅'tir. (Kadlec, ve diğ., 1996).

Bitkilerin büyümesi ve fotosentez olayı genel olarak şu şekilde gösterilebilir(Karpuzcu, 1991).



Sudaki karbon bileşikleri hem çözünmüş hemde partikül formda bulunurlar. Analitik metodların sonuçlarına dayanılarak karbonun suda bulunma şekilleri yapılan ayırım aşağıdaki gibidir (Kadlec ve diğ., 1996).

- Toplam karbon ; bütün çözünmüş ve askıdaki formlar,
- Partikül karbon; organik ve inorganik formlar,
- Çözünmüş karbon; organik ve inorganik formlar,
- İnorganik karbon; bütün çözünmüş ve ve askıdaki formlar,
- Çözünmüş inorganik karbon; gebnelde CO_2 , karbonat(CO_3) ve bikarbonattır(HCO_3)
- Toplam organik karbon;bütün çözünmüş ve askıdaki formlar,
- Çözünmüş organik karbon,
- Uçucu organik karbon

Sulakalanlardaki büyüme, ölüm ve kısmi ayrışmada atmosferik karbon kullanılır B bu şekilde gazlar, çözünmüş organikler ve katı maddeler oluşur. Ayrışmaya uğrayan şekerler, nişasta ve ölü bitki materyalindeki düşük molekül ağırlığına sahip olan selülozdur. Gaz olarak CH_4 ve CO_2 çıkar. Hümkik madde diye adlandırılan çözünebilir, büyük organik moleküller suya verilir. Ayrışma sonucu arta kalan organik çökelekler seluloz ve lignin yapısındadır. Bu toprağın organikleri fülvik materyal, humik materyal ve humik asit olarak sınıflandırılır. Sulakalan sistemindeki son ürünler sulakalan sistemine geri dönerler Bunun için ayrışma reaksiyonları geliştirilmiş olup karbon çevrimi Şekil 1'de verilmiştir (Mitsch ve Gosselink, 1993; Burgoon, 1993).

Aerobik bölgedeki respirasyon: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$ (2)
karbonhidratlar

Anerobik bölgedeki fermentasyon: $C_6H_{12}O_6 = 2CH_3CHOHCOOH$ (3)
karbonhidratlar laktik asit

Anerobik bölgede metan oluşumu: $4H_2 + CO_2 = CH_4 + 2H_2O$ (4)

$CH_3COO^- + 4H_2 = 2CH_4 + H_2O + OH^-$ (5)

Anerobik bölgede sülfat indirgenmesi:

$2CH_3CHOHCOO^- + SO_4^{2-} + H^+ = 2CH_3COO^- + 2CO_2 + 2H_2O + HS^-$ (6)
laktat aetat

$CH_3COO^- + SO_4^{2-} + 2H^+ = 2CO_2 + 2H_2O + HS^-$ (7)

II.3.1.2 Yapay Sulakalanlarda Azot Giderimi

Yapay sulakalanlardaki azot, partikül, çözünmüş, organik ve inorganik azot formları halinde bulunur (Reddy,1997). Sulakalanlardaki azot reaksiyonları inorganik azotun nitrifikasyon ve denitrifikasyonu, amonyak uçması, bitki ve mikrobiyolojik alım şeklinde gerçekleşir. Çözünmüş organik azotun amonifikasyonu, su kolonundaki inorganik azotun kaynağı olabilir ve organik karbon, dışarıdan gelebilir veya bitki artıklarının bozunmasından ortaya çıkar(D'Angelo ve diğ.1994; Howard-Williams ve diğ.1993) .

Aerobik sulakalan 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 bildirilmektedir(Reddy ve diğ.1984). Doğal sulakalanlardaki amonifikasyon hızının ölçümlerinde, 3-35 mgN/m².gün (yıllık ortalama 1.5 g/m².gün) (ZAK ve diğ.1991) ve Minnesota sulakalanında 4.3-5.9 g/m².yıl olarak tesbit edilmiştir. Ayrıca Floridadaki organik topraklarda azot mineralizasyon hızı 41-125 g/m².yıl (Reddy, 1982) ve diğer bir çalışmada ise 22g/m².yıl (Messer, 1997) olarak tesbit edilmiştir.

Nitrifikasyon prosesi bataklık sistemlerinde amonyağın ototrofik bakterilerce indirgenerek nitrat oluşumunun sağlanmasıdır. Bu proses nitrosomonas ve nitrobakter bakterileri tarafından gerçekleştirilmektedir (Kadlec ve diğ. 1996). Denitrifikasyon ise heterotrofik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir ve proses hızı ortamda mevcut organik karbon tarafından tesbit edilebilir (Reddy ve diğ.1982). Suyun içindeki azot çevrimleri özellikle biyokütle, atmosfer ve sulakalan katmanlarındaki değişikliklerle orantılıdır. Sulakalan sistemlerindeki reaksiyon süreci Şekil 2'de gösterildiği gibi meydana gelmektedir. Organik azot biyokütlenin ayrışmasıyla oluşur ve amonifikasyon ile amonyağa dönüşür. Amonyak ise nitrifikasyon, absorplama, bitkinin kendi bünyesine alması ve amonyak uçması ile kaybolur. Nitratın oluşması nitrifikasyon prosesi sonucudur,

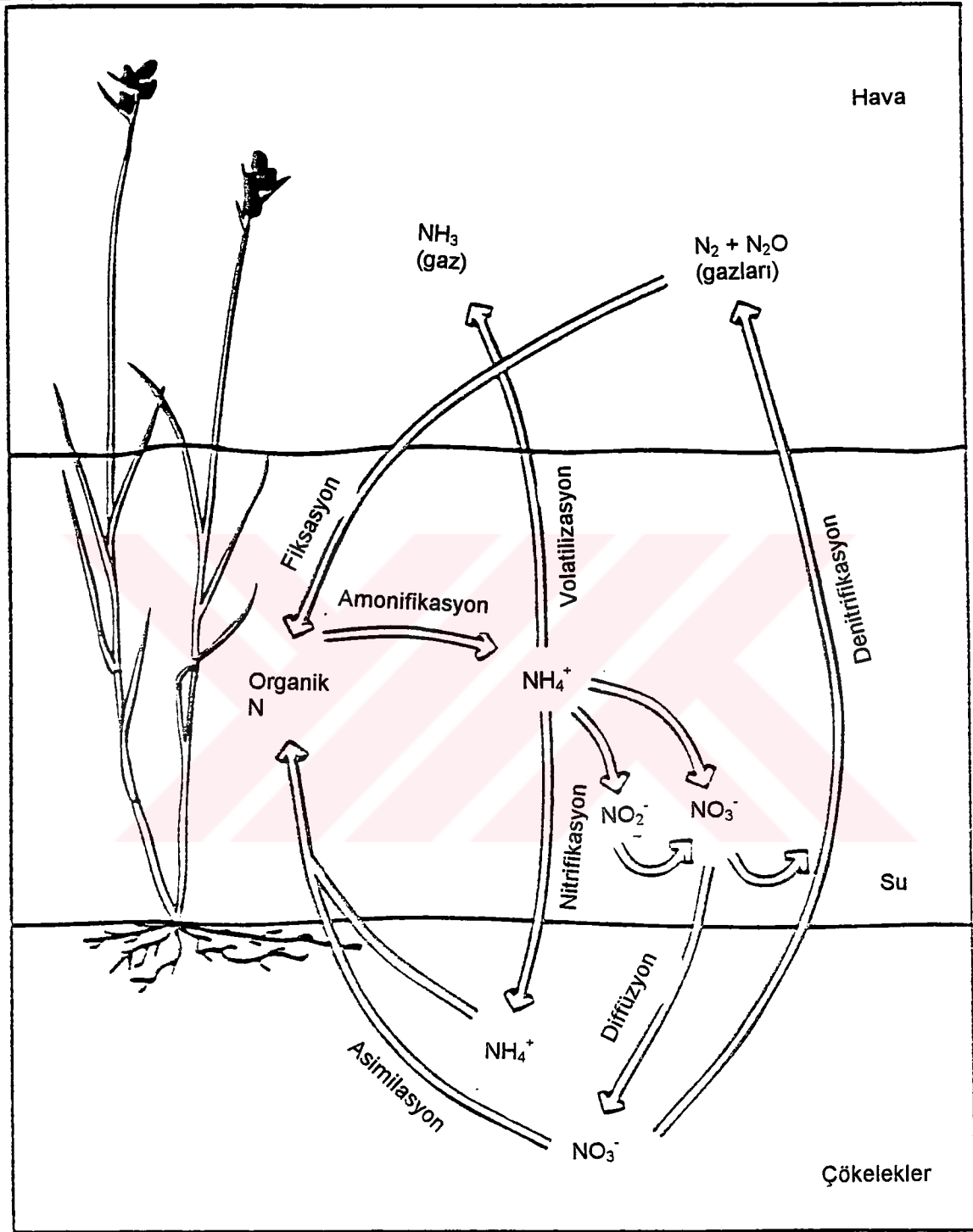
denitrifikasyon ve bitki bünyesine geçiş ile yok olur. Yapılan bir çok araştırma sonucunda yapay sulaklan sistemlerinde azot giderimini etkileyen faktörler şu şekilde sıralanmıştır:

- Sistem dizaynı,
- Bitki kökünün, suyun ve toprağın yapısı,
- Bitkinin absorblama gücü,
- Uygun karbon miktarı,
- pH değerine bağlı olarak amonyağın uçuculuğu
- Zemin tabakalarının cinsi,
- Bekletme süresi (özellikle TKN değerlerinin çıkış suyunda 10 mg/l'den az olması isteniyorsa suyun bekletme süresinin 5-7 gün arasında olması tavsiye edilmektedir(Reddy ve diğ.,1982).

Kuzey Karolina'da yapılan bir araştırmada, toplam azot giderme verimi %64 civarında olup, konsantrasyon 44.4 mg/l'den, 16 mg/l'ye düşürülmüştür. Sisteme giren azot amonyak azotu ve organik azot formunda verilmiş olup sistem çıkışındaki azot nitrat formunda görülmüştür (House, ve diğ.1994) . Azotun gaz ve atmosferik formları dinitrojen(N₂), nitros oksit(N₂O), nitrik oksit (NO₂, N₂O₄) ve amonyak(NH₃) dür. Normal çevre koşullarında havanın %78'i dinitrojen(N₂)dir. N₂O mikrobiyal denitrifikasyonun bir ara ürünüdür ve asetilen blokajı tekniği ile sulakalanlardaki proses miktarını ölçmekle kullanılabilir(Brodrick ve diğ.1988).



Ortalama 25°C ve pH 7 şartlarında iyonize olmayan amonyak toplam amonyağın sadece% 0.6'sıdır. pH 9.5 ve 30°C ise toplam amonyağın %72 si iyonize olmayan amonyaktır. Düşük pH ve düşük sıcaklık şartlarında bu yüzde azalmaktadır. İyonize olmayan amonyağın uçması yüksek pH ve sıcaklık şartlarında sulakalan ve lagünlerdeki amonyağın kaybından meydana gelmektedir (Reed,1985). Yapılan araştırmalarda N₂ ve N₂O formlarının laboratuvar test kolonlarındaki tipik konsantrasyon oranları 100/1 ile <10/1 arasında olduğu ifade edilmektedir (Reddy ve diğ. 1984). Sulakalanlardaki Azot çevrimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sulakalanlarda Azot Çevrimi

II.3.1.3 Yapay Sulakalanlarda Fosfor Giderimi

Fosfor Biotik ve abiotik prosesler sayesinde sulakalanlarda giderilmektedir. Biotik prosesler; kök bölgesindeki mikroskobik canlılarca ve vejetasyon ile alınımı, bitki artıklarının ve topraktaki organik fosforun mineralizasyonu (Gachter ve diğ. 1993) , abiotik prosesler ise sedimentasyon ve birikim, adsorbsiyon ve çökelme ile toprak ve su kolunu arasındaki prosesleri kapsamaktadır(Caraco ve diğ. 1991).

Herskowitz (1986) tarafından bitki hasatı ile yüzeysel akışlı bir sulakalanda toplam fosforun ortalama % 2.5'inin giderildiği belirtilmektedir. Yüzen akuatik bitkilerin hasadı daha kolay olup TP'un % 20 nin üzerinde su mercimeği ile giderimi sözkonusudur (Fisher ve diğ. 1987). Sulakalanlarda çözünmüş fosfor bitkiler tarafından alınır , hücre fosforuna çevrilir veya sulakalan toprağı ve çökelen maddelerce tutulur. Eğer organik kısım oksitlenirse organik fosfor, çözünmüş fosfor olarak serbest kalır. Sulakalan sistemlerindeki temel fosforlu bileşikler ; çözünmüş fosfor, partiküler fosfor ve partiküler organik fosfordur. Fosforun temel inorganik türlerin disosiasyon serisi şu şekildedir:



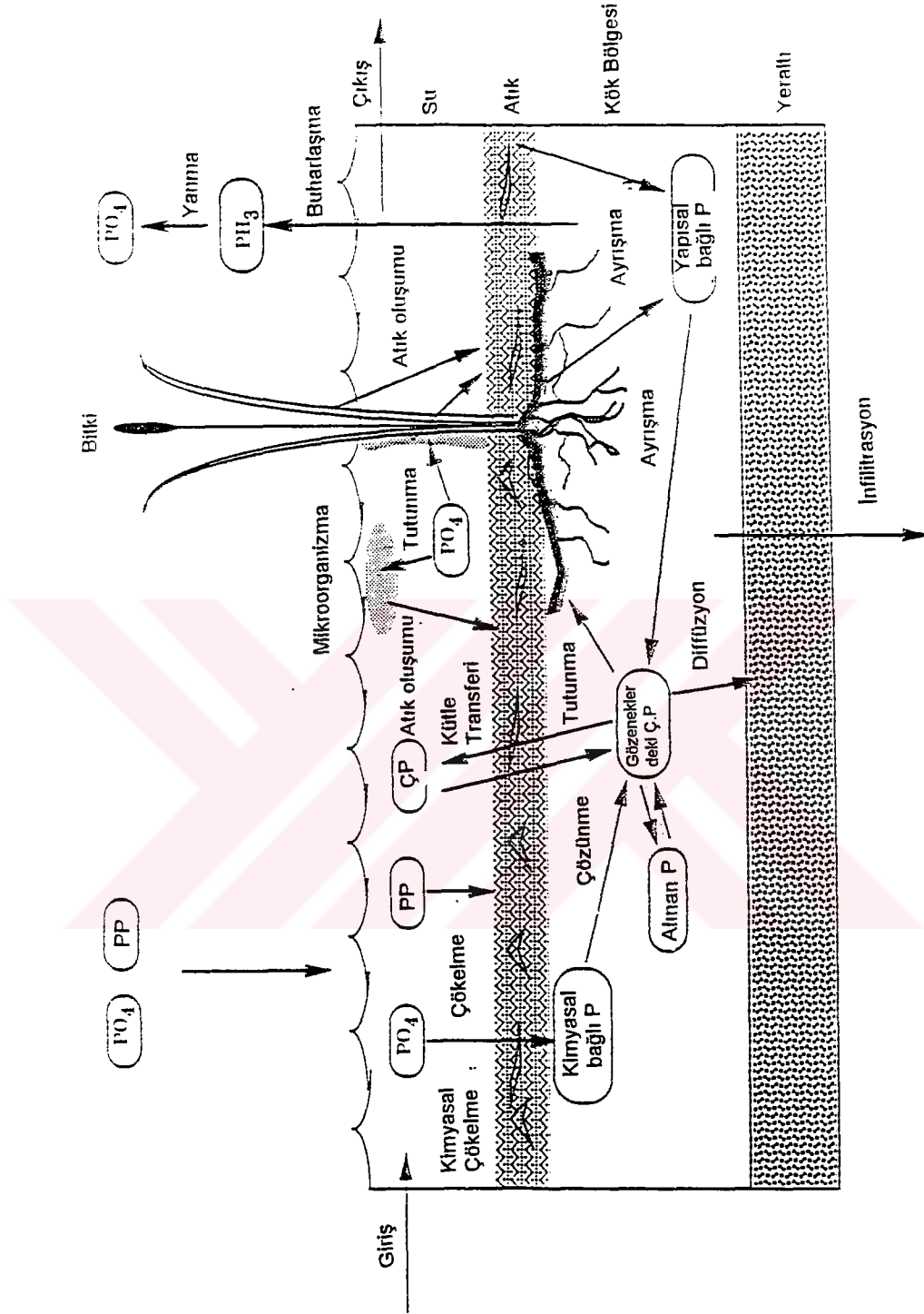
Sulakalan toprağındaki ortama bağlı olarak asidik toprakta fosfor Al ve Fe ile, Alkali toprakta ise fosfor Ca ve Magnezyum ile birleşir. Redoks potansiyelinin düşük olduğu şartlarda Fe minerallerinin çözünmesine yolaçar. Bu durumda fosfor bileşik halde çökeleklerinde serbest kalır. Eğer sülfid ve sülfat böyle bir ortamda mevcutsa, Fe sülfid oluşur ve Fe'in P ile mineralizasyonuna engel olur(Reddy ve diğ.1994). Fosforun gaz haldeki bileşiğı PH_3 (fosfin)dir ve sulakalan ortamında önemli olan bir bileşiktir. Fosfin suda çözünebilir. Metan ile birlikte çok düşük redoks potansiyeline sahiptir. Fosfor, her türlü sulakalan canlısının yapısında mevcuttur. Bir sulakalanın nütrient derecesi azdan çoğa

doğru gittiğinde dokudaki fosfor konsantrasyonu artar. Ölü yaprak hücrelerinin fosfor içeriği yaşayan yaprak hücrelerinden fazladır.

Sulakalandaki organizmalar büyümeleri için fosfora ihtiyaç duymaktadırlar ve bunları dokularına dahil ederler. Fosforun en hızlı bir şekilde alınması mikroskobik canlılar tarafından gerçekleştirilir (bakteri, fungi, alg..). Ancak makrofitler fosforu çok daha yavaş alır ve kullanırlar. Bir kısmı bitkinin, yüzeysel suyun içinde veya yakınında bulunan kökleri tarafından alınır. Büyük bir kısmı da toprak altındaki kökler tarafından alınır böylece fosforun toprağın içindeki hareketi ortaya çıkar. Fosforun bir besin maddesi olması nedeniyle bu elementin sulakalana eklenmesi büyümeyi hızlandırır ve böylece biyokütle miktarının artmasına yol açar. Fosfor sadece bitkinin üremeleri için değil aynı zamanda büyümeleri içinde kullanılır. Bunun sonucunda daha fazla artığın oluşmasına sebep olur. Bitki kökü biokütlenin bir parçasıdır ve aktif fosfor birikiminin önemli bir bölümünü teşkil eder.

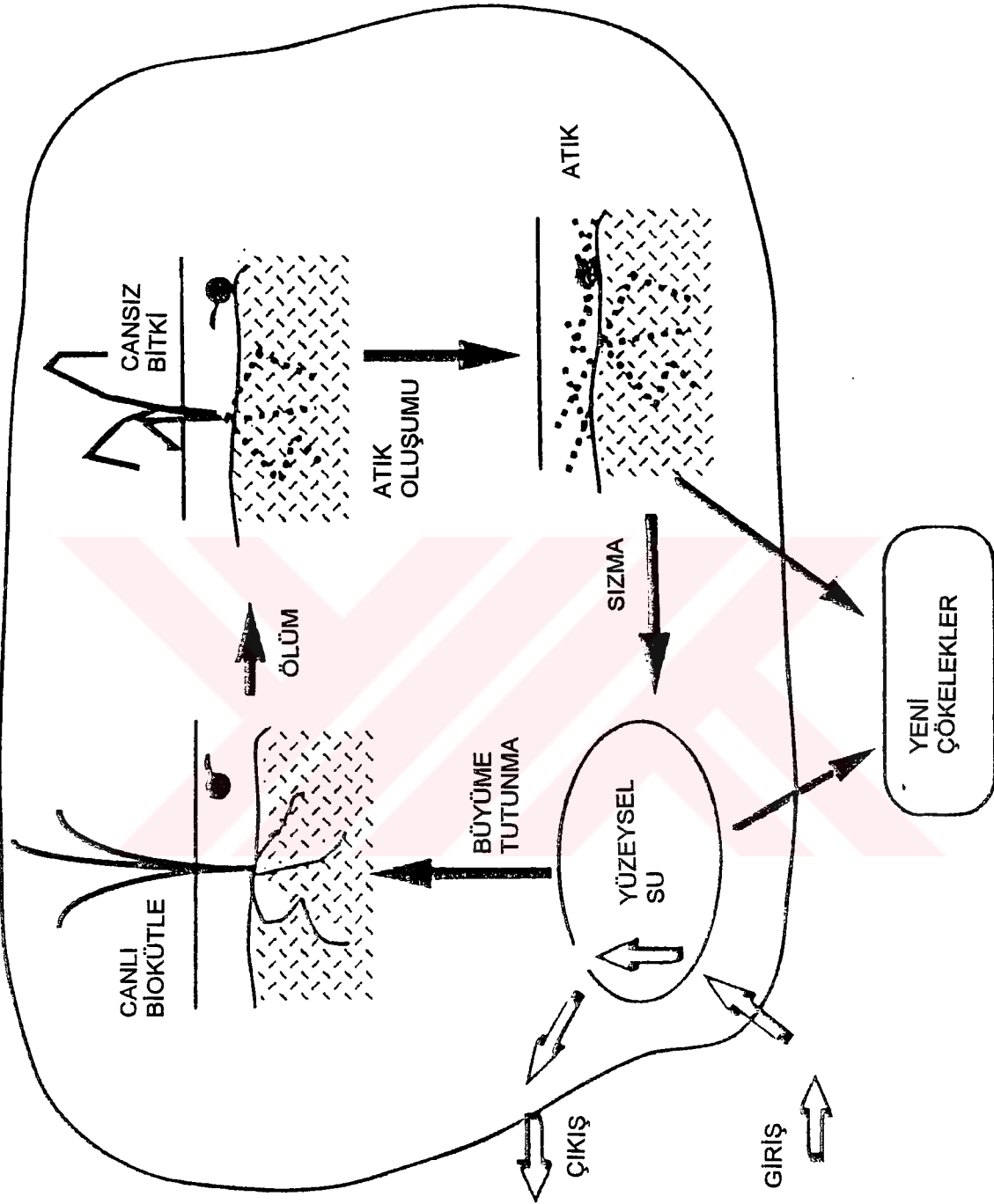
Fosfor gideriminde ; Partikül halindeki fosforun sedimentasyonu, çözünmüş fosforun olmak üzere iki proses mevcuttur. Partiküller, tekrar ortama veilebilece şekilde zayıfca emilmiş fosfor da içerebilir. Bütün sulakalan toprağı fosforu emme kapasitesine sahip olmasına karşılık bu kapasite oldukça değişkendir.

Bir çok toprak fosforu depolama kapasitesine sahiptir, ancak bu kısa sürede artan fosfor yüklemesiyle doygun hale gelir. Fosfor depolanması, gözenek suyunda, katı partiküllerin kimyasal yapısında ve katıların yüzeyinde fosfor bileşiklerinin tutunması şeklinde gerçekleşir. Tüm partiküller toprağın birer parçası olarak düşünülebilir. Topraktaki fosforun çoğu hem organik hemde inorganik olan fosfordur. Çok az bir kısmı da tutunmuş fosfordur. Sulakalanlardaki fotosentetik proseslerin aktivitesinin belirlenmesindeki temel faktörler sıcaklık ve güneş enerjisi olup bu değişkenler fosfor gideriminde çok önemlidirler. Sulakalanlardaki fosfor depolama transferi ile P çevrimi Şekil 3 ve 4'de verilmiştir (Kadlec 1996).



Şekil 3. Sulakalanlarda Fosfor Depolama ve Fosfor Transferi

PP: partiküler fosfor, ÇP: çözülmüş fosfor, PH_3 : fosfin, PO_4 : ortofosfat



Şekil 4. Sulakalanda Fosfor Çevrimi

II.3.1.4 Sulakalan Bitkilerinde Oksijen Transferi

Genel olarak bitkiler kök bölgelerinde organik maddelerin yanısıra solunumu için oksijen kullanırlar. Diğer taraftan pek çok sulakalan bitkisinin kökleri üzerinde kalan kısımları havadadır. Bu hava boruları aerenchyme olarak isimlendirilir ve onlar bitkinin kök bölgesinden gazı alır ve havaya verirler. Ayrıca havadan köklere doğru çok miktarda oksijen geçişini de sağlarlar. Diğer taraftan aynı zamanda CO₂ ve CH₄ gibi diğer gazlarda çok miktarda kökten havaya verilir (Brix 1993). Bitkinin aldığı oksijenin çoğu belkide tamamına yakını solunumda kullanılır (Brix ve diğ.,1990).

II.4. Yapay Sulakalanların Sınıflandırılması

Yapay sulak alanları kullanarak yapılan evsel atıksu arıtma sistemleri genellikle aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Crites,1994):

- Yüzeysel akışlı sistemler,
- Yüzeyaltı(subsurface) akışlı sistemlerdir.

II.4.1. Yüzeysel Akışlı Sistemler

Bir serbest su yüzeyli sistem, atıkları minimize eden yapay veya tabii su yüzeyli bariyerli kanallar veya havuzdan ibarettir. Serbest su yüzeyli sistemler, kısa devreyi minimize etmek için uzun ve dar tutulur. Sistem için optimum kabul edilebilir oranlar BOI₅, AKM, NH₃ ve top-N un giderimi için önemli oranda olmalıdır. Serbest su yüzeyli sistemlerde sivrisinek kontrolü gereklidir. Bu kontrolden amaç sivrisinek popülasyonunun herhangi bir bulaşıcı hastalık taşınmasına engel olmaktır. Bunun için çeşitli yollar mevcuttur. Bunlardan başlıcaları:

Gambusia spp. adlı sivrilinek balıklarını sisteme yerleştirmek,

- Bitkileri daha sık hasat etmek(Hasat malzemesi yakılabilir, kompost edilerek gübre yapılabilir, hayvan yemi olarak kullanılabilir).
- Sisteme verilen toplam organik yükün, bir ön arıtma ile azıtılması,
- Giriş besleme suyunun reaktörü tam karışımı yapılacak şekilde paralel ve geri devirli olarak verilmesidir. California'daki Arcada arıtma sistemlerinde, sivrilinek yiyen balıkların kullanımı ile doğal bataklıklara nazaran daha az sivrilinek görülmesi bunlara örnek olarak verilebilir (Crites, 1994).

Yapılan çalışmalarda yüzeysel akışlı sulak alanlar, madenden çıkan asitli suların arıtımı için ucuz bir metod olarak kullanılmıştır. 1984-1985 yıllarında Pennsylvania , Kuzey Virginia, Ohio ve Maryland'da 20' nin üzerinde yapay sulak alanlar yapılmıştır. Atıksudaki demir konsantrasyonu 25-100 mg/l den 2mg/l nin altına düşürülmüştür. pH ayarlaması ise kireç taşı ile 6 ve daha yukarısına ayarlanmıştır(Crites,1995).

Diğer bir çalışma da yüzen su bitkileri ile ilgilidir. Bu konuda metal, organik madde , patojen mikroorganizma ve N,P giderimi ile toksisite üzerinde çalışılmıştır. Yapılan ilk çalışmalar 1964 yılında Florida Üniversitesinde gerçekleşmiştir(EPA.,1988) . Bu çalışma Su Sümülü ile yapılarak 1974 yılında tamamlanmıştır. 1979 yılında ise Lemna minör ile ikincil bir arıtma yapılarak arıtma sisteminin AKM ve BO₅ giderme verimliliği incelenmiştir (Reed ve diğ.1990).

II.4.2. Yüzeyaltı Akışlı Sistemler

Bir yüzeyaltı akışlı sistem bitkilerin büyümesini temin eden çakıl taşlı ve kumlu bir ortam ile kanallar ve havuzlardan ibarettir. Yüzeyaltı akışlı sulakalanlardaki başlıca dizayn kriterleri bekleme süresi, BO₅ ve derinliktir. Değişik bölgelerdeki BO₅ yükü ile yüzeysel akış arasındaki ilişki Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Yüzeyaltı Akışlı Sulakalan Giriş Bölgesindeki BOI₅ Yükleme Oranı (Reed 1990)

Bölge	Kesitteki BOI ₅ yüklemesi Kg/m ² .gün	Yüzeysel akış oluşuyormu
Benton.,KY	8	Evet
Büyük Britanya	5	Evet
DenhamSprings, U.S Los Angles	4	Evet
Haughton,U.S	1.6	Evet
Mayo,MD	0.5	Evet
Pearlington,MS	0.2	Hayır
Mosquite,N	0.1	Hayır
Bear Creek,AL	0.02	Hayır

Tablo 10'da, yüzey akışlı, yüzeyaltı akışlı , düşey akışlı sulakalan ve karışık sistemlerin birbirleriyle olan ilişkileri gösterilmektedir. Makrofitlerin varlığı bütün sistemlerdeki yatak yüzeyinin stabilizasyonu için gerekli olup özellikle yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı sistemlerde makrofitler malzemenin tıkanmasını önlemektedir. Rüzgarın arasına esmesi bitkilerin hareket etmesini sağlayarak yataktaki tıkanmaları engellemektedir.

Tablo 11'de, Atıksu arıtımında kullanılan sulakalan bitkileri ve bu bitkilerin dünyadaki dağılımları, yaşadıkları sıcaklık, ve pH Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 10. Farklı Tipteki Yapay Sulakalanların Makrofitlerle Olan Önemli İlişkisi (Brix, 1994)

	Yüzey Akışlı Sistemler	Yüzeyaltı Akışlı Sistemler	Düşey Akışlı Sistemler	Karışık Sistemler
Arazi İhtiyacı	> 20 m ² /kişi	~ 10 m ² /kişi	~ 5 m ² /kişi	2-5 m ² /kişi
Stabilize Yatak	+++++	+++++	+++	+++
Tıkanmayı Önlemek	-	-	+++++	+++++
Giderim Hızı	+++	-	-	-
Güneş Işının Değeri	+++	+++	+++	+++
Nutrientlerin alımı	+++++	+	-	+
Oksijen Transfer ilişkisi	+	++	+	+
Görüntü	+++++	+++++	+++	+++++
Yaban Hayat	+++++	+++	+	+

+ : Proses için önemli olan parametreyi,

- : Proses için önemli olmayan parametreleri, artıların veya eksi işaretlerin sayısına göre önem sırasını göstermektedir.

Tablo 11. Atıksu Arıtımı İçin Kullanılan Bazı Sulakalan Bitkilerinin Sıcaklık, tuzluluk ve pH Toleransları(Crites, 1995)

Genel İsmi		Sıcaklık°C		Maks. tuzluluk	pH
Bilimsel İsmi	Dağılımı	İstenen	Gerçekleşen	toleransı	
Cattail Typha spp.	Dünyanın her yerinde	10-30	12-24	30	4 -10
Common reed Phragmites Communish	"	12-33	10-30	45	2 – 8
Rush Juncus spp.	"	16-26	-	20	5-7.5
Bulrush, Scirpus spp.	"	6-27	-	20	4 - 9
Sedge Carex spp.	"	4-32	-	-	5 -7.5

II.4.1. Avrupa’da Yapay Sulakalanlar

Yaklaşık 20 yıldır yapay sulakalanlar , küçük yerleşim birimleri, köyler için yerinde bilimsel olarak denenmiştir. Avrupa’da 500-1000 adet yapay sulaklan mevcuttur. Tesislerin büyük kısmı yüzey altı akışlı olup toprak veya çakıl kullanılarak yatay, dikey ve kombine sistemler olarak gruplandırılmıştır. Yatay akışlı sistemlerdeki arıtım verimi AKM, BOI₅ ve KOI giderimi genellikle iyi olmakla beraber nutrient giderimi kök zonundaki oksijen eksikliği ve yetersiz hidrolik iletkenlik sebebiyle iyi değildir .

Düşey akışlı sistemlerde atıksular bitki ekili alanlara girer ve yatak malzemesi olarak genellikle filtre kumu kullanılan sistemlerde atıksu yatağın dibine kadar gitmektedir (Haberl., 1995). Evsel atıksuyun arıtımından başka endüstriyel atıksu, yeraltı suyu vs. gibi diğer sular içinde yapay sulakalanların uygulanabilirliği gösterilmiştir. Evsel atıksularda büyüyen bitkilerin nutrientler için botaniksel bir tuzak olduğu söylenmektedir. Kuzey Avrupa ülkelerinde Halofitler ile yapılan çalışmalarda fosfor gideriminin genellikle 6g/m².yıl gibi düşük bir değer olduğu tesbit edilmiştir(Seidel,1996). Saygın ve diğerleri tarafından Paspalum Paspalodes ile 50 mm lik pimaş oluklarda ve laboratuvar şartlarında yapılan çalışmalarda fosfor gideriminin 0.5g/m.gün , kurutulmuş bitki ağırlığında %1.47 N , % 0.37 P, yıllık azot giderimi 56.6 g/m, fosfor giderimi ise 14.3 g/m olarak tesbit edilmiştir(Saygın ve diğ.1994).

Avusturya'da kullanılan bazı kombine sistemlerde (aktif çamur ve yatay akışlı sulakalan sistemleri) kişi başına düşen arıtma alanı 1-2 m²/gün ve çıkış suyu kalitesi 7-18 mg/l BOI₅ ve 0.5-6 mg NH₄-N /l olarak ölçülmüştür (Haberl ve diğ.1995). Börner 1992'de Avrupada yapılan 268 yapay sulakalan verilerini toplayarak özetlemiştir. Farklı dizaynları içeren ve tüm bitkiler ait ortalama verimleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Avrupadaki 268 Adet Yapay Sulakalan Sistemlerinin Ortalama Verimi(Börner,1992)

Parametre	Birim	Ölçüm sayısı	Ortalama verim,%
BOI ₅	mg/l	499	79.1
KOI	mg/l	345	69.5
Top-N	mg/l	259	39.6
NH ₄ -N	mg/l	404	30.0
Top-P	mg/l	338	47.2

Schierup ve diğeri tarafından (1990) Danimarka'daki 71 adet Yatay akışlı sistem için ortalama verimler Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Danimarka'da 71 Adet Yapılan Yatay Akışlı Yapay Sulakalanlara Ait Ortalama Verim(Schierup ve diğ.,1990)

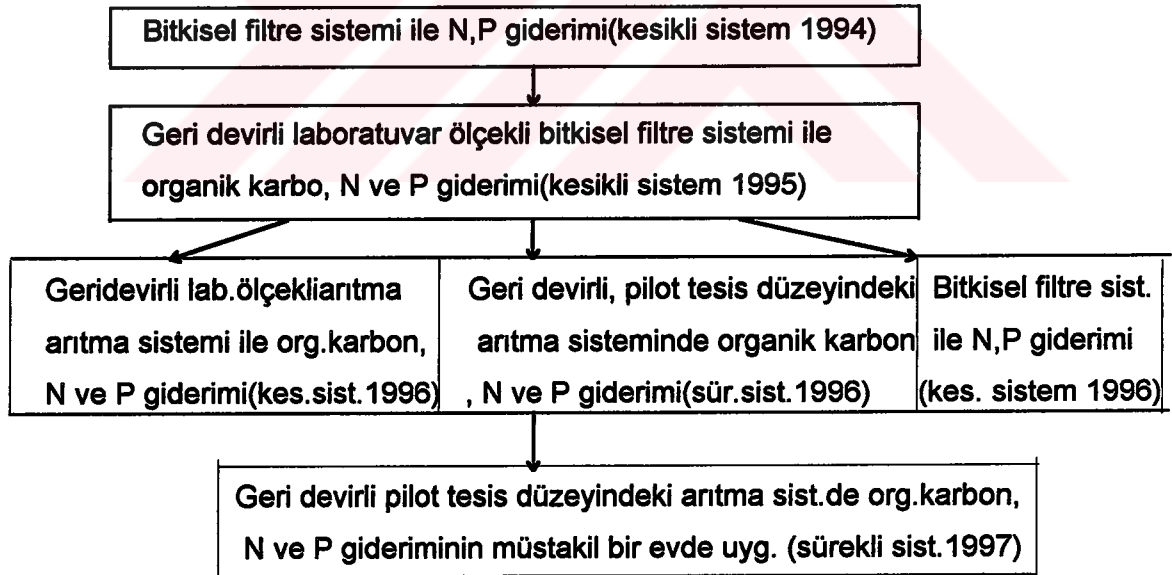
Parametre	Birim	Ölçüm sayısı	Ortalama verim,%
AKM	mg/l	61	73.5
BOI ₅	mg/l	68	80.3
KOI	mg/l	57	65.6
Top-N	mg/l	64	39.8
NH ₄ -N	mg/l	51	34.0
Top-P	mg/l	63	31.7

Atıksu arıtımında Su mercimeği ile yapılan çalışmaların çoğunluğu lagünlerde kendiliğinden büyümüş olanlardan istifade edilerek sağlanmıştır. Saf kültür ile yapılan çalışmalar ise 1985'lerden sonraya dayanmaktadır(Reed ve diğ.1988). Lemna minör ile nutrient giderimi konusunda ilk araştırma Dedes ve diğeri (1985) tarafından yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda sözü edilen bitkinin atıksu arıtımı için arazide kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Reed ve diğ. 1985). Lemna gibba ile atıksu arıtımı konusunda yapılan bir çalışma(Mandi,1994)da, 30 cm çapında ve 14 cm derinliğinde toplam hacmi 9.9 litre olan plastikten üç ayrı pilot tesiste yürütülmüştür. Giriş KOİ si 305-530 mg/l oranlarında giderim sağlanırken AKM'de %82-%80 oranlarında verim elde edilmiştir. Metal gideriminde ise Salvinia Natans ile atıksuda Bakır(II) giderimi üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmanın Hindistandaki bakır işletme fabrikalarına ait atıksuların arıtımında başarılı bir şekilde kullanıldığı belirtilmektedir(Sen ve diğ.1990).Akça ve diğ.(1997) tarafından yapılan çalışmalarda su sümbülü (Salvinia Natans), su mercimeği(Lemna Minör) g.bi yüzen bitkiler ve yapay sulaklanlarda KOİ,azot ve fosfor giderim verimleri laboratuvar şartlarında incelenmiştir.

BÖLÜM III. MATERYAL VE METOD

III.1. Çalışma Programı

1994 yılında başlayıp 1997 yılında sonuçlandırılan ve 3 yılı aşan sürede tamamlanan bu çalışma başlıca 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında evsel atıksularda büyüeyebilen ve kökleri ile bir nevi filtre görevi gören bitkiler kullanılarak kesikli bir sistemde N,P giderimi incelenmiştir. İkinci aşamada ise aynı bitkilerin kullanımı ve geri devirli laboratuvar ölçekli bir sistemin kurulması ile N,P nin yanısıra organik karbon giderimi araştırılmıştır. Üçüncü aşamada, organik karbon giderimini arttırmak için sisteme değişik dolgu malzemeleri ilave edilerek pilot ölçekli geri devirli bir tesis kurulmuş, nutrient ve organik karbon giderimine yönelik denemeler yapılmıştır. Daha sonra bu tesis müstakil bir evin atıksu çıkışına bağlanarak, tabi hidrolik şok yüklere maruz bırakılmıştır. Yapılan çalışmanın konolojik şeması Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Çalışmaların Kronolojik Şeması

III. 2. Sulakalanlarda Kullanılan Bitkiler

Bu çalışmada evsel atıksularda problemsiz olarak büyüdüğü ve çevresine estetik bir görüntü verdiği tesbit edilen bataklık kenarlarında yetişen, bahçe ve salonlarda süs bitkisi olarak kullanılan bitkiler kullanılmıştır. Seçilen bitkilerin kök derinlikleri genel olarak 25-50 cm'dir. Kök yapıları kılcal damarlar şeklinde horizontal olarak büyümekte olup bir kısmı da bulundukları kabın şeklini almaktadırlar. Kök yapıları ile ilgili fotoğraflar Foto 1-2'de verilmiştir. Bu bitkilerin seçiminde dikkat edilen önemli faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Nutrient alma kapasitesi,
- Fosseptikten elde edilen evsel atıksuya ve çalışılan iklim koşullarına çok kolay adapte olmaları ve çoğalmaları,
- Türkiye'de bol miktarda bulunabilmeleri,
- Çalışmada arıtma tesisi, bir bahçe şeklinde kurulduğu için çevreye verdikleri estetik görüntü,
- Kök derinlik ve yapılarının kurulmuş olan arıtma bahçesine sistemin maliyeti açısından uygunluğudur.

III.2.1. Canna (Kana Çiçeği)

Familya Adı: Cannaceae olan Canna indicai adını eski Yunanca kamış anlamına gelen (Canna)'dan almıştır. Vatanı tropikal Orta Amerika'dır. 1570 yılında çiçek dünyasında tanınmıştır. Sürekli yeşil kalan yumrulu bir süs bitkisidir. Boyları 1.5 m'ye kadar çıkar, çok geniş yaprakları vardır. Çiçekleri kırmızı, sarı ve portakal rengindedir. Güneşi çok sever ve çiçeklerini yazın ile sonbahar günlerine kadar sürdürür. Bol su ister, gölgeli yerlerde de yetişebilir. Yumrularını Amerika'nın eski yerlileri besin olarak kullanmışlardır. Çiçek dönemi bitince dışarıdaki Canna'ları söküp, yumrularını uygun yerlerde dikime kadar saklamalıdır. Üretimi, tohumu ile yada yumrularının ayrılması şeklindedir (Ürgenç,1992).

III.2.2. Cyperus Türleri

İnce uzun saplara oturan şemsiye tarzında yaprakları ile dekoratif bir salon bitkisi olup yarı gölge yerlerde , yüksek hava nemi ve serin ortamlarda (kışın 10-20°C) bol su ve hatta kökler suyun içinde tutularak ve yapraklara düzenli su püskürtülerek yetiştirilebilir. Üretim kök ayırmaları veya 5-6 cm'lik sap taşıyan yapraklı çelikler sıcak bir odada su içinde veya rutubetli kum ortamda köklendirilerek üretilir. Yaprakların kısaltılmış olması transpirasyonu azalttığı için çeliklerin köklenmesinde fayda sağlamaktadır (Ürgeç,1992).

III.2.3. Paspalum Paspalodes (Michx.)Scribner

Çok yıllık, sürücü rizom ve stolonu olan bitkilerdir. Gövdesi 40cm, yaprak ayası şerit şeklinde, düz ve 3-8 mm genişliktedir. Çiçek kurulu rasemoz tipinde, başakçıkları oval, eliptik şekilli, sivri uçlu, 2.5-3.5 mm olan bir bitkidir. Çiçeklenme zamanı 6-10 aylardır. Türkiye'de Kırklareli, Balıkesir, İstanbul , Bolu, Ordu, Trabzon, İzmir, Aydın, Antalya, İçel, Adana'da natüralize olmuştur (Flora of Turkey,1985).

III.2.4. Lolium

Lolium türlerinden biri olan Lolium multiflorum, diğer önemli Lolium türü olan L.perenne ile dış görünüm ve morfolojik özellikler bakımından çok benzerler. Lolium multiflorum daha gösterişli, boylu (60-80cm.kadar) ve yaprakları daha geniş uzunca ve koyu yeşildir. L.perenne'nin başakçıkları daha kısa ve kılıksız, bunun ki ise daha uzun ve kılıklıdır. Her iki tür aynı yetişme ortamının bitkisidir. L.multiflorum, ilk İtalya'da dikkat çektiği ve tanındığı için buna İtalyan Çimi (L.italicum)' de denmektedir. Ancak gelişim ve yaşam süreci yönünden ayrıcalıkları önemlidir. Bu tür en çok iki yıl yaşayabilir, fakat daha hızlı büyüme ve gelişme yeteneğine sahiptir. Bu yüzden, diğer Lolium çimlerine göre ilkbahar ekimlerinden daha iyi sonuç alınır (Uluorak,1994).

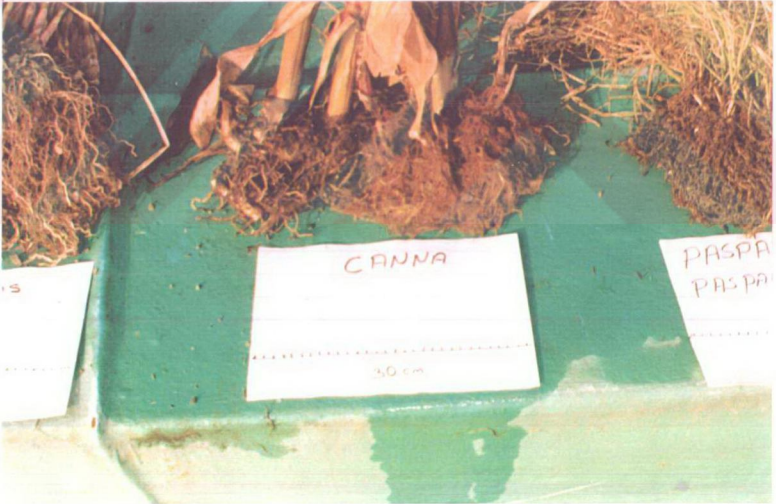


Foto.1. Cyperus ve Canna'daki Kök Bölgesinin Görüntüleri



Foto. 2. Paspalum Paspalodes ve Loliumdaki Kök Bölgesinin Görüntüleri

III.3. Kullanılan Düzenekler

Bu çalışmada kullanılan düzeneklerin en/boy/yükseklik oranlarının seçiminde, kullanılan bitkilerin kök uzunlukları ve yapısı, drenaj temini, sistemin maliyeti ve enerji sarfiyatı, arıtma bahçesi görüntüsünün yer alması gibi faktörler göz önüne alınmıştır.

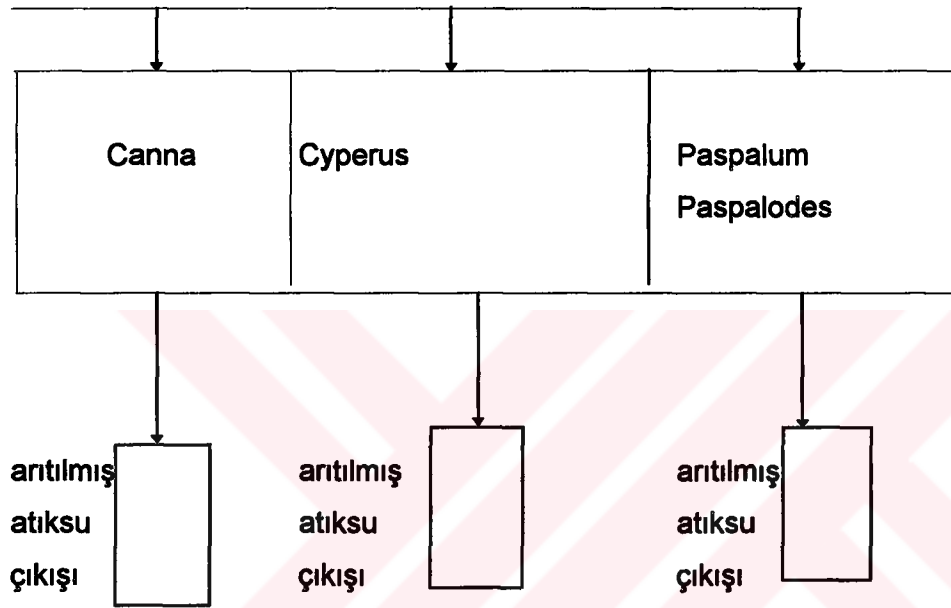
III.3.1.Bitkisel Filtre Sistemi ile Azot ve Fosfor Giderimi(kesikli sistem 1994-1996)

1994 yılındaki çalışmalarda Canna ve Cyperus 1m x 1m x 0.2m boyutlarına sahip polyester reaktörler, Paspalum Paspalodes ise 0.15m x 0.15m x 4m boyutlarındaki PVC kanallarda büyütülmüştür. Bu sistemlerde organik karbon giderimi yapılmış atıksu kullanıldı. Genellikle bitkilere su verme işlemi sabah saat 9⁰⁰ civarında yapılmıştır. Ertesi gün aynı saat'de reaktör ve kanallardan arıtılmış atıksular deşarj edilerek toplam arıtılmış atıksu hacmi ve buharlaşan su miktarı tesbit edilmiştir. Polyester reaktörlerin hacmi göz önüne alınarak 60 l , Paspalum Paspalodes'in bulunduğu PVC kanallarında hacimleri dikkate alınarak her bir metresine 12 l atıksu verilerek , analiz için giriş suyu alınmıştır. 24 saatlik bir bekleme süresinden sonra nutrient giderimi belirlenmiştir. İlgili fotoğraflar foto 3-5 arasında gösterilmiştir. Foto 3'de bitkilerin ilk ekim hali , Foto 4' de Canna ve Cyperus'un maksimum büyüme hali, Foto 5'de ise Paspalum Paspalodes'in ekim hali ve ekildiği alanı tamamen doldurduğu zamana ait görüntüleri yer almıştır. Foto 5'de Paspalum Paspalodes'in ilk ekim zamanındaki görüntüsü S şeklinde iken bitkinin ekildiği alanı tamamıyla doldurduğu zamanki halinde bu S halinin belirginliğinin kaybolduğu gözlenmiştir.

1996 yılında yapılan çalışmalarda kullanılan deneysel düzenekler; tabanı su geçirmez, monarflex diye adlandırılan plastik örtüyle kaplı boy :en :derinlik ebatları 4m :1m :0.3m olan sistemler seçilmiştir. Bu sistemler, sistemin hacmi göz önüne alınarak günde 525 l, organik karbonu giderilmiş atıksu ile beslenmiştir. Sisteme giren atıksudan bir adet giriş suyu örneği alındı. 24 saat'lik bir bekleme süresinden sonra sistemdeki su tamamen boşaltılarak, arıtılmış atıksu örneği alınmış ve ilgili ölçüm ve analizler yapılmıştır. Atıksu

olarak TÜBİTAK-MAM tuvalet ve ofislerinden kaynaklanan evsel atıksu bir biyolojik arıtmıdan geçirildikten sonra sisteme verilmiştir. Sistemin genel hali Şekil 6'da kullanılan atıksu karakterizasyonu ise Tablo 14'de gösterilmiştir.

Atık su girişi



Şekil 6. Bitkisel Filtre Sistemi (kesikli sistem 1996)nin Şematik Görünüşü

Tablo 14. Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	Giriş kons.(mg/l)		Parametre	Giriş kons.(mg/l)	
	Ort.	Min-max		Ort.	Min-max
KOI	160	70-350	PO4	20	10-35
TOK	40	25-90	SO4	38	20-50
AKM	65	30-110	Cl	75	56-92
TKN	10	5-35	pH	7.1	7.1-7.6



Foto. 3. Bitkisel Filtre Sisteminden Görüntüler(kesikli sistem 1994)



Foto. 4. Bitkisel Filtre Sistemindeki Canna ve Cyperus'tan Görüntüler(kesikli sistem 1994)



Foto. 5. Bitkisel Filtre Sistemindeki Paspalum Paspalodes'den Görüntüler(kesikli sistem 1994)

III. 3.2. Geri Devirli (Laboratuvar Ölçekli) Bitkisel Filtre Sistemi ile Organik Karbon, Azot ve Fosfor Giderimi (kesikli sistem 1995)

1995 yılında yapılan çalışmalarda, her bir bitki için ebatları en: boy: derinlik oranları 1m :1m :0.3m olan aralarında 30 cm seviye farkı bulunan iki adet siğ polyester reaktör kullanılmıştır. Bu reaktörlere bitkiler herhangi bir dolgu malzemesi kullanılmadan yerleştirilerek, günde 60 l atıksu ile beslenmiştir. Atıksuyun aşağıdaki reaktörden yukarıdakine geçebilmesi için için akvaryum pompaları kullanılmıştır. Akvaryum pompaları bir zaman rölesine bağlı olarak çalıştırılarak, sürekli iki sistem arasında gidip gelen suyun havalanması sağlanmıştır. Bu şekilde bitki ile kökleri üzerinde büyüyen mikroorganizmalar sudaki organik karbon ve N,P giderimini sağlamışlardır. 24 saat bekleme süresinden sonra çıkış suyunun hacmi ölçülerek buharlaşma miktarı tesbit edilmiş ve alınan atıksu örneğinde ilgili ölçüm ve analizler yapılmıştır.

III. 3.3. Geri Devirli (Laboratuvar Ölçekli) Arıtma Sistemi ile Organik Karbon , Azot ve Fosfor Giderimi (kesikli sistem 1996)

1996 yılındaki araştırmada bitkiler ve dolgu malzemeleri ayrı ayrı ve birlikte 1995 yılında kullanılan reaktörlere yerleştirilmiştir. Bu reaktörlere dolgu malzemeleri yerleştiriliktikten sonra, bitki ekimi yapılarak günde 50 l atıksu ile beslenmiştir. Atıksu cazibe ile üst reaktörün tabanındaki delikten ve pompanın içerisinden geçerek (pompanın aktif olmadığı zaman) alttaki reaktöre gelmiş ve 24 saat'lik bir bekleme sonunda çıkış suyu hacmi ölçülerek, buharlaşma miktarı tesbit edilmiştir. Sürekli iki reaktör arasında gidip gelen atıksu havalanmış ve dolgu malzemesi ile bitki kökleri arasında büyüyen mikroorganizmalar sudaki organik maddeleri oksitlemişlerdir. Ayrıca sistemde kullanılan bitkiler, atıksudaki azot ve fosforu bünyelerine alma kapasitelerine göre özümleyerek giderime katkıda bulunmuşlardır. Bu çalışma ile ilgili fotoğraflar foto 6-9'da görüntülenmiştir. Bu fotoğraflarda bitkilerin ilk ekim halleri ile büyümelerinin maksimuma ulaştığı anlar ve kullanılan dolgu malzemeleri yer almıştır.



Foto 6. Canna'dan Görüntüler



Foto 7. Cyperus'tan Görüntüler



Foto 8. Paspalum Paspalodes'den Görüntüler



Foto 9. Sistemden Genel Görüntüler

III.3.4. Geri Devirli (Pilot Tesis Düzeyinde) Arıtma Sisteminde Organik Karbon , Azot ve Fosfor Giderimi (sürekli sistem 1996-1997)

Bu sistem aralarında 30-40 cm seviye farkı bulunan ve tabanı su geçirmez plastik bir örtü (monarflex) ile kaplı arıtma bahçesi olarak isimlendirilen iki adet reaktörden meydana geldi.

- Sistemin en/boy/derinlik ebatları: 1.5m : 3.5m : 0.3m

-Dolgu malzemesinin yapısı: Kullanılan dolgu malzemesi karışık bir halde beyaz ve şeffaf renkte, kuvarslı (%100 silisli), pembe renkte Feldisfat (K, Al, Si, Na, Ca), az miktarda siyah mika (Magnezyum silikat) gibi çakıl taneciklerini içermektedir. Dolgu malzemesinin etrafında önemsenmeyecek derecede kil ($Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot n(H_2O)$) mevcuttur.

-Dolgu malzemesinin Porozitesi:

Laboratuvar ölçekli sistemde % 29, Pilot ölçekli sistemde %16

-Dolgu malzemesindeki dane çapları: Dane çaplarının belirlenmesi için yapılan elek analiz sonuçları Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15. Elek Analiz Sonuçları

Kullanılan elek(mm)	Mesh	% Elek üstü bakiyesi
2.36 mm	8	84.43
1.7 mm	12	3.92
1.4 mm	14	1.63
1.18 mm	16	1.32
850 μm	20	2.67
600 μm	30	1.66
500 μm	35	0.53
Kalan <500 μm		3.84
Toplam		100

Dolgu malzemesinin yüksekliđi: 0.2-0.25 cm

Kullanılan bitki adı: Cyperus

Bitkinin dikim aralığı: 10 adet Cyperus/m²

Sistemin hacmi: 1.5m x 3.5m x 0.3m = 1.575 m³

Sisteme verilen atıksu miktarı: 1000 l/gün (sistem çıkış suyunun Su Kirliliği ve kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen artırılmış atıksuların alıcı ortama deşarj limitlerine uygun olmasına göre seçilmiştir).

Sistemde kalan atıksu miktarı: 250l, geriye kalan hacim dolgu malzemesi ve bitkinin hacmidir. Buna göre:

Hidrolik bekleme süresi: 0.25 gün = 6 saat'dir.

Sistemde kullanılan dalgıç pompanın enerji sarfiyatı: 1.5kWsa/gün'dür.

Çalışılan süre içerisindeki aylara göre ortalama hava sıcaklığı (T.C. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müd.1996-1997) Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Aylara Göre Ortalama Sıcaklık Değerleri

Ay	Sıcaklık(°C)(aylık ortalama)
Mayıs 1996	19.06
Haziran 1996	21.5
Temmuz 1996	23.83
Ağustos 1996	23.86
Eylül 1996	19.24
Ekim 1996	14.2
Kasım 1996	12.3
Aralık 1996	10.1
Ocak 1997	6.9
Subat 1997	5.35(16 günlük ort.)

Tuvalet, ofis ve mutfaktan kaynaklanan atıksuların, bir fosseptikte birikmesinden sonra fosseptiğe konulan bir pis su pompası yardımıyla hacmi belli polyester depolara doldurulmuştur. Bu atıksu debisi 1000 l/gün olacak şekilde sisteme verilmiştir. Sistem giriş suyundan atıksu örneği alınarak ilgili analizler yapılmıştır. Kullanılan atıksuyun çeşitli parametrelere ait konsantrasyonları Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. Ham Atıksu Özellikleri

Parametre	Giris konsantrasyonu(mg/l)	
	ortalama	min-max
KOI	670	350-1500
TOK	150	45-250
AKM	350	120-580
TKN	95	50-98
PO ₄	38	26-50
SO ₄	47	38-62
Cl	80	65-110
Cözülmüş Oksijen	0.5	0.5-0.8
pH	7.6	6.9-7.9

Arıtma bahçesinin üst tarafından verilen evsel atıksu, dolgu malzemesinin altından akarak arıtma bahçesinin öbür ucuna gelmiştir.. Bu kısımda bulunan bir deliğe alt kısımda yer alan dalgıç pompa bağlı olup, cazibe ile gelen atıksu üst bahçenin tabanındaki delikten pompanın içerisinden geçerek (pompa aktif olmadığı zaman) alt bahçeye ulaşmıştır. Alt bahçenin öbür ucunda ve tabanında deşarj borusu mevcut olup, esnek bir borudan meydana gelen borunun ağzı aşağı yukarı kaldırılarak sistemin içindeki su seviyesi ayarlanmış ve bu seviye genellikle dolgu malzemesinin altında kalmak şartıyla en yüksek seviyede tutulmuştur. Bu sayede dışardan atıksuyun görülmesi ve sivrisinek üremesi

önlenmiştir. Üst tarafta sürekli olarak gelen atıksu arıtma bahçesinin alt kısmından taşmasını sağlamış ve taşan su patojen mikroorganizmaların miktarını azaltmak için bir ultraviyole lambasından geçirilmiştir.

Alt bahçede bir süzgecin içine konulmuş durumdaki dalgıç pompa bir flaşör sayesinde sürekli olarak belli süreler için açılıp, kapanmıştır. Flaşörün üzerindeki potansiyometreler sayesinde pompanın çalışma ve durma süreleri ayarlanmıştır. Pompa çalıştığı sürece alt bahçedeki su üst bahçeye basılmış, durduğu süre içinde ise atıksu üst bahçeden cazibe ile pompanın içinden geçerek alt bahçeye alınmıştır.

Bir çeşit damlatmalı filtre prensibiyle çalışan bu sistemde , dolgu malzemeleri üzerinden film şeklinde ince bir tabaka halinde akan atıksuda üreyen mikroorganizmaların bir yüzeye tutunabilme kabiliyetinde olanları, dolgu malzemesi ve bitki kök yüzeylerine tutunarak biyofilm tabakasını oluşturdular. Atıksuda bulunan organik maddeler diffüzyon yoluyla biyofilme nüfuz ederek buradaki bakteri ve fungilerce ayrıştırılmıştır. Diffüzyon ve pompanın atıksuyu havalandırması sebebiyle kazanılan oksijen biyofilmdeki mikroorganizmalarca tüketilmiştir. Bu sırada hem dolgu malzemesi hemde bitki kökleri üzerindeki mikroorganizmalar tarafından organik madde oksitlenerek sonuç ürünlerine dönüştürülmüştür(karbonlu bileşikler CO_2 ve azotlu bileşikler NH_3 dönüştürler) .

Bu arıtma sisteminde organik maddenin yanısıra nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri de aerobik ve anaerobik bölgelerde gerçekleşmiştir. Azot ve fosfor mikroorganizmalar tarafından kullanılmasının yanısıra bitkiler tarafından bünyelerine alınmaları sonucunda giderilmiştir. Arıtma bahçesinin şematize edilmiş hali Şekil 7 'de, değişik konumdaki görüntüleri ise foto 10,11,12,13 de yer almıştır.

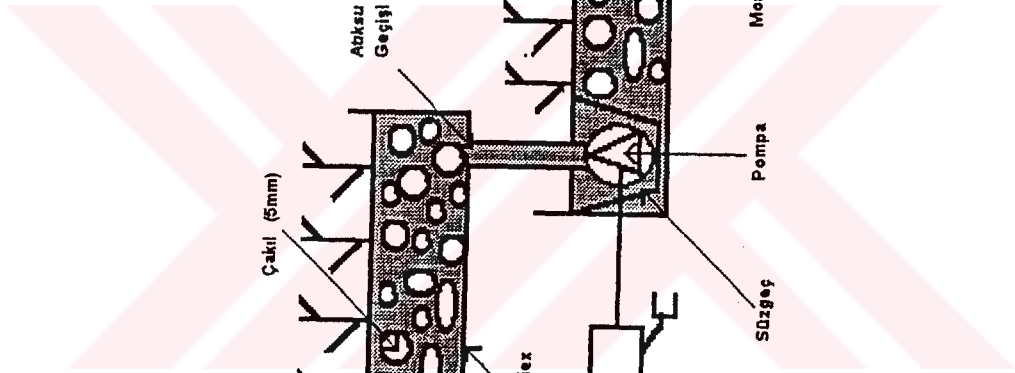




Foto 10. Geri Devirli Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminin Cyperus ile Görüntüsü



Foto 11. Geri Devirli Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminin Boş ve Cyperus ile Beraber Görüntüsü



Foto 12. Geri Devirli Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminden Genel Görüntüler



Foto 13. Geri Devirli Pilot Tesis ve Laboratuvar Ölçekli Arıtma Sisteminden Genel Görüntüler

III.3.5. Geri Devirli(Pilot Tesis Düzeyindeki) Arıtma Sisteminde Organik Karbon , Azot ve Fosfor Gideriminin Müstakil Bir Evde Uygulanması (sürekli sistem 1997)

Bu çalışma III.3.4 de belirtilen sistemin gerçek şartlarda çalışılabilirliğini kontrol etmek için iki kişilik bir ailenin bahçesinde uygulanarak 5 aylık süre içerisinde izlenmiştir. Bu sistem aralarında 30-40 cm seviye farkı bulunan iki adet saç küvetten meydana gelmiştir. Sistemin çalışma prensibi III.3.4 ile aynı olmakla beraber sistemde bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler, atıksuyun verildiği ilk 25 cm uzunluğundaki kısım bir bariyerle dolgu malzemesi bulunan diğer yerden ayrılması, atıksu burada bir süre dengelendikten sonra bariyer üzerinde yer alan delikler vasıtası ile dolgu malzemesi ve bitki bulunan kısma ulaşmasıdır. Sistemin boy:en:derinlik ebatları 2m:1m:0.3m dir.

Sistemin kuruluşundan itibaren ilk etapta, yalnız taşma tıkanma, koku,vs gibi olaylar açısından izlendikten sonra sistemin giriş ve çıkış suyunda önceki çalışmalarda tesbit edilen kirlenici parametrelerin analizleri yapıldı. Bu analiz sonuçları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde belirtilen konvansiyonel parametreler açısından incelendi. Bu sistemin görüntüsü foto 14'de görüntülendi.

III.3.6. Bitkinin Hasad Edilmesi, Çoğalması ve Bunlar Üzerinde Yapılan işlemler

İncelenen sistemlerdeki bitki büyümesi, belirli periyotlarla tartımları yapılarak tesbit edildi. Bu işlem için, III.3.3' de kullanılan sistemlerin içerisine darası alınmış tartım kapları yerleştirildi ve bu kaplara bitkiler yerleştirildi. Bu işlem, sistemin tamamına bitki ekimi yapıldığı esnada uygulandı . Belirli bir alıştırma döneminden sonra tartım kapları her 15 günde bitkilerin canlılığını yitirmediği Ekim ayının sonlarına kadar tartıldı. Bu şekilde birim alandaki çoğalma miktarı (ağırlık olarak) tesbit edildi. Bu ayda yapılan bitki hasadı ile toplam bitki biyomasının yanısıra bitkinin bünyesine aldığı azot, fosfor ve bazı inorganik elementler belirlendi. Bu işlemler kök ve gövde için ayrı ayrı yapıldı.



Foto 14. Pilot Tesis Düzeyindeki Arıtma Sisteminin Müstakil Bir Evde Uygulanması

III.4. Analiz Metodları

Bu çalışmadaki atıksu ve bitki ile ilgili analizler TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstisü laboratuvarlarında standart yöntemlere (Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater.,1992) göre yapıldı. Bitki ile ilgili element analizlerindeki ön işlemler yine standart yöntemlere göre (The Analysis of Agricultural Materials.,1981) yapıldıktan sonra Malzeme ve Kimya Teknolojileri Enstitüsü Elementel Analiz laboratuvarındaki atomik absorpsiyon cihazında okundu. Geri devirli pilot tesis ölçekli sürekli sistemde kullanılan dolgu malzemelerinin elek analizi ise yine aynı enstitünün Seramik laboratuvarında yapıldı. Atıksu ve bitkideki ölçülen parametreler ve analiz metodları Tablo 18’de verildi.

Tablo 18 . Ölçülen Parametreler ve Analiz Metodları

Parametre	Metod	Alet	Kaynak
Kjeldahl azotu (TKN)	Asitli ortamda parçalama, distilasyon, titrimetrik	Kjeldahl aleti Gerhardt vapodest 3S, distilasyon cihazı	APHA, AWWA-WPCF(1992)
NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^-	Kromatografik	Dionex 4000I iyon kromatografisi	Anions in Water-EPA 300.0, ASTM D4 327-84, EPA meth.300.6
KOI	Asitli ortamda oksidasyon, kolorimetrik	HACH DR-2000 spektrofotometre	APHA, AWWA-WPCF(1992)
TOK	Infrared	Shimadzu APHA, TOC-500	APHA, AWWA-WPCF(1992)

AKM	Gravimetrik	Etüv, terazi	APHA, AWWA-WPCF(1992)
pH	Elektrometrik	Metrohm 632	APHA, AWWA-WPCF(1992)
Çözülmüş oksijen ve sıcaklık	Membran elektrod	OXI-196 632	APHA, AWWA-WPCF(1992)
Bulanıklık	Nephelometrik	HF model DRT-1000	APHA, AWWA-WPCF(1992)
Kjeldahl Azotu(TKN) (bitkide)	Asitli ortamda parçalama, distilasyon, titrimetrik	Kjeldahl aleti, distilasyon cihazı	The Analysis of Agricultural Materials (1981)
Fosfor(P) (bitkide)	Asitli ortamda parçalama, kolorimetrik	Varian Techtron 635-UV-VIS spektrofotometre	The Analysis of Agricultural Materials (1981)
Klorür(Cl) (Bitkide)	Asitli ortamda parçalama, titrimetrik	otomatik titratör	The Analysis of Agricultural Materials (1981)
Metaller (Bitkide)	AAS metodu	HİTACHI 180-80 model atomik absorbsiyon	The Analysis of Agricultural Materials (1981), APHA, AWWA-WPCF (1992)
Kül Miktarı (Bitkide)	Gravimetrik	Etüv, fırın, terazi	APHA, AWWA-WPCF (1992)

BÖLÜM IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

IV.1. Bitkisel Filtre Sistemi ile Azot ve Fosfor Giderimi (kesikli sistem 1994-1996)

1994 yılında yapılan çalışma evsel atıksulardan N,P giderimini kapsamaktadır. Çalışmalara 1994 Mayıs ayında başlanmıştır. Ancak bitkilerin temini ve bu bitkilerin kullanılan atıksuya adaptasyonu , sistemin arazide kurulması ve atıksu temini oldukça zaman aldığından ilk ölçüm ve analizler Eylül ayında yapılabilmektedir. Diğer bir ifadeyle bitkiler ancak Ağustos ve Eylül aylarında deneysel olarak incelenen alanı kapladığından ilk ölçüm ve analiz sonuçlarının alınması bu aylarda mümkün olmuştur.

Canna ve Cyperus'un düzeneklerinde bir problem görülmesede, Paspalum Paspalodes'in yetiştirildiği PVC oluklarda zaman zaman taşmalar meydana gelmiştir. Bu sistemden elde edilen bulgular Tablo 19-22 arasında verilmiştir. Bu sonuçlar Eylül 1994'de yapılan ölçümlerin ortalamalarıdır. Eylül 1994 yılı için sıcaklık değerleri ortalama 23.2°C, maksimum 30-minimum 19.5°C , gün uzunluğu ise 12 saat'dir.

Tablo 19' da 48 saatlik bir bekleme süresi sonucunda atıksudaki değişimlerin tipik bir örneği görülmektedir. 1 m² lik bir alanda 60 l atıksu, 24 saat sonra 44-45 l'ye , 48 saat sonra ise 24-25 l' ye düşmüştür. Her bir m² deki günlük su kaybı 15-20 l'dir. NH₄-N konsantrasyonu nitrifikasyon ve bitki hücrelerinin oluşumu için bitkiler tarafından kullanılmasıyla azalırken, NO₂-NO₃ konsantrasyonunun nitrifikasyon ile arttığı tespit edilmiştir. Bitkiler özellikle yaz aylarında büyüme ve gelişmeleri için amonyak azotuna büyük miktarda ihtiyaç duymaktadırlar. Çözünmüş fosforu temsil eden PO₄-P konsantrasyonu bitkiler tarafından alınması veya hücre fosforuna çevrilmesi ve çökelen maddelerce tutulması sebebiyle azalmıştır. Bu durumun tersine olarak SO₄ konsantrasyonunda artışlar görülmüştür (Ayaz ve diğ., 1996) . Bu artış kısmen buharlaşma sonucu sudaki tuzların konsantre olmasından kaynaklanmıştır.

Tablo 19. 48 Saat'lik Bekleme Süresinden Sonra Su Fazındaki Değişimler

Bitkiler						
Parametre	Canna			Cyperus		
	0	24 s	48 s	0	24 s	48 s
Hacim (l)	60	45	25	60	44	24
NH ₄ -N (mg/l)	110.7	72.1	64.5	110.7	83.5	74.3
NO ₃ -N (mg/l)	1.8	2.1	2.1	1.8	6.1	16.6
NO ₂ -N (mg/l)	1.6	-	-	1.6	1.9	4.4
PO ₄ -P (mg/l)	14.4	10.1	6.7	14.4	13.2	12.5
SO ₄ -S (mg/l)	12.9	16.8	21.2	12.9	18.5	21.5

Tablo 19'daki konsantrasyon değerlerinden buharlaşmada gözönünde tutularak birim zaman ve birim alandaki giderim = $C_0 \cdot V_0 - C_{24} \cdot V_{24}$ (12) denklemiyle hesaplanmıştır.

C_0 = Giriş atıksu konsantrasyonu (mg/l),

C_{24} = 24 saat sonraki çıkış suyu konsantrasyonu (mg/l),

V_0 = Giriş atıksu miktarı (l),

V_{24} = 24 saat sonraki çıkış su miktarı (l)

Tablo 20, 24 saatlik bekleme süresi sonucundaki PO₄-P, toplam azot ve SO₄-S giderimini göstermektedir. Bu ilk deneylerin sonucu olarak, çalışılan üç bitki arasında Canna' nın en yüksek miktarda N(2.62 ± 0.24 g/m².gün) ve P(0.33 ± 0.015 g/m².gün) giderdiği belirlenmiştir.

Tablo 20. Bitkiler Tarafından N,P,S Giderimi

Bitkiler	top-N g/m ² .gün	PO ₄ -P g/m ² .gün	SO ₄ -S g/m ² .gün
Canna	2.62 ± 0.24	0.33 ± 0.015	0.38 ± 0.023
Cyperus	2.3 ± 0.19	0.237 ± 0.032	0.89 ± 0.132
Paspalum	1.2 ± 0.10	0.30 ± 0.022	-
Paspalodes			

Tablo 21, hasat edilen bitkilerdeki kuru madde ve kül miktarını vermekte olup kuru madde % sindeki en yüksek değer Paspalum Paspalodes'e ait olduğu görülmüştür.

Tablo 21. Bitkilerin Yaş ve Kuru Madde İçeriği

Bitkiler	Kuru madde (% yaş ağırlık)	Kül (% kuru madde)	Kül (% yaş madde)
Canna	9	9	0.81
Cyperus	19	5	0.95
Paspalum	21	4.4	0.92
Paspalodes			

Tablo 22, üç bitkinin bünyesindeki, bazı inorganik element ve azot, fosfor, sülfür miktarlarını göstermektedir. Bitkiler arasında azot ve fosfor içeriği bakımından önemli bir fark bulunamamıştır. Diğer elementlerin aralarında ise bazen 2-4 birimlik farklar vardır. Sadece Cyperus yüksek demir, Canna ise yüksek oranda silikat içermektedir.

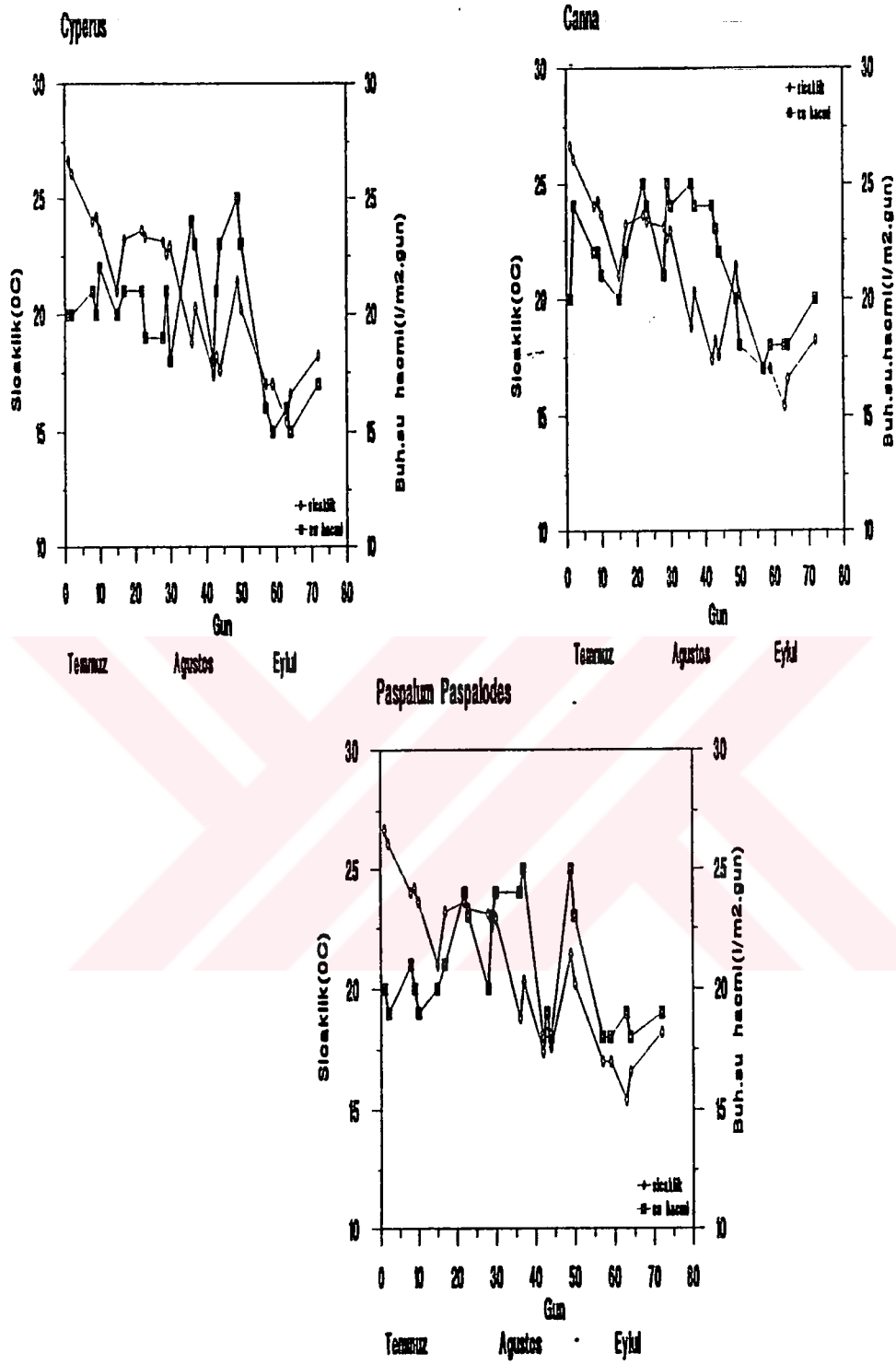
Tablo 22. Bitkilerdeki Elementler

Parametre	Canna (g/kg)	Cyperus (g/kg)	Paspalum Paspalodes (g/kg)
top-N	23.1	26.1	24
PO ₄ ⁻³ -P	3.84	2.35	2.94
SO ₄ ⁻² -S	0.72	0.56	1.4
Cl ⁻	25	30	12.4
Br ⁻	0.169	0.17	0.015
F ⁻	0.063	0.053	0.005
Ca	3.25	3.37	1.5
Mg	3.13	3.37	1.87
Na	22.9	5.7	5.2
K	19.3	14.3	11.9
Fe	0.0043	0.0385	0.0007
Si	0.27	0.097	0.041

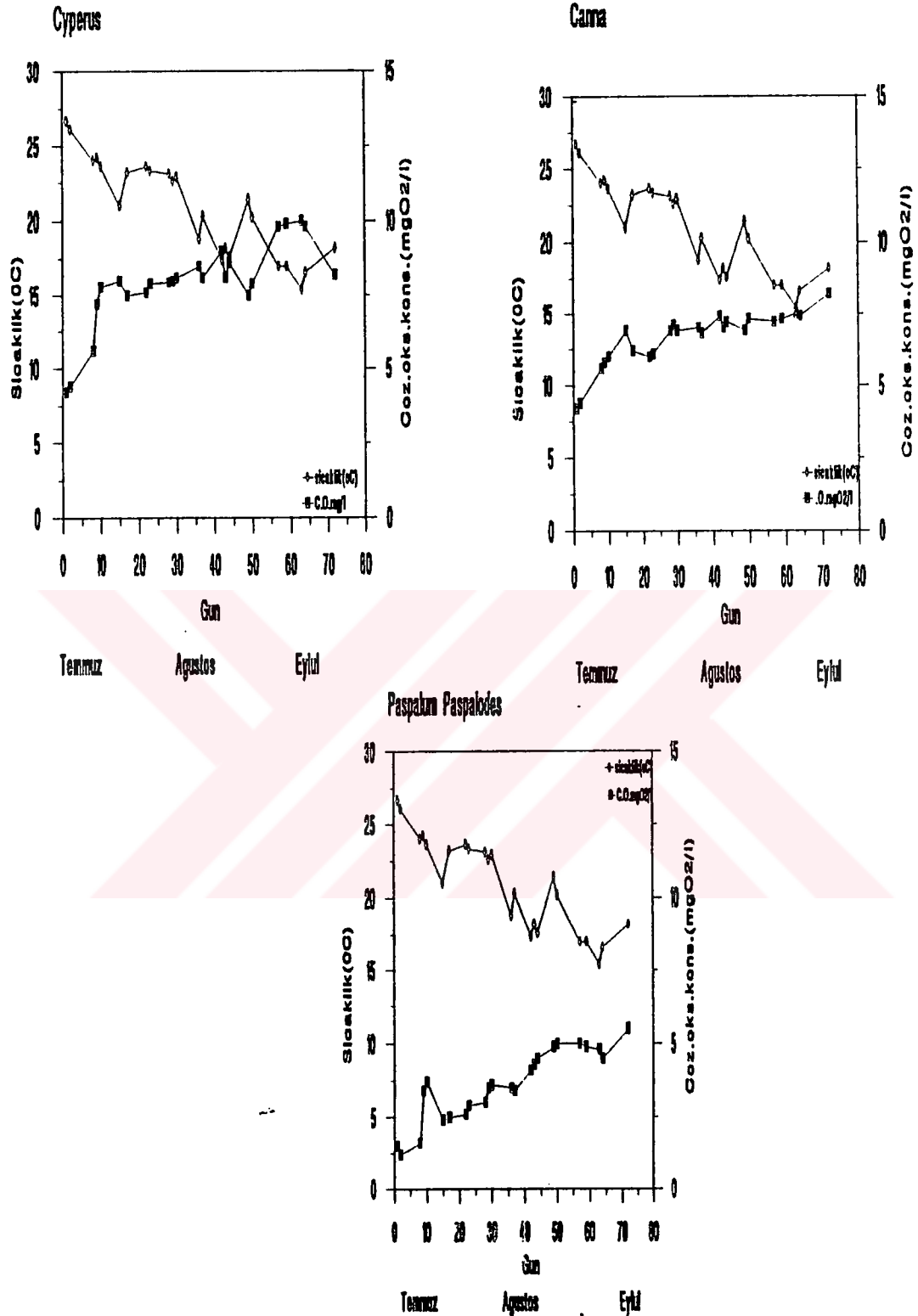
Bitkisel Filtre Sistemi ile N,P gideriminde, 1994 yılında yapılan çalışmalar sistemlerde meydana gelen problemler nedeniyle sistemin incelenmesi bir ay gibi kısa bir zaman aralığını kapsamıştır. Bilindiği gibi sulakalan sistemleri arazide, doğal koşullarda incelendiğinden bu bu tür sistemlerin daha uzun zaman aralığında incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla 1996 yılında Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarını kapsayan ayrı bir çalışma yapılmıştır. İlgili grafikler Şekil 8-12 de verilmiştir.

Şekil 8' de Temmuz , Ağustos ve Eylül gibi üç aylık bir süre içerisindeki sıcaklığa karşı buharlaşan su hacmi çizilmiştir. Burada genel olarak sıcaklığa paralel bir şekilde buharlaşma miktarında artmalar ve azalmalar görülmüştür. Şekil 9' da çözünmüş oksijen değerleri 24 saatlik bir bekleme süresinden sonra sonunda ölçülmüştür. Bu aylar içerisindeki sıcaklığa karşı sudaki çözünmüş, oksijen konsantrasyonu, verilmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu Cyperus ve Canna için 2.5-10 mg/l arasında değişmektedir. Paspalum Paspalodes için bu değerler 2.5-5 mg/l olarak tesbit edilmiştir. Paspalum Paspalodes su yüzeyini tamamen kapattığından dolayı alglerin oluşumuna engel olmakta dolayısıyla alglerin oksijen üretmesine engel olmaktadır. Ancak diğer iki bitkinin kökleri bulunduğu ortamı tamamen dolduramadığı için güneş ışığı alan su yüzeyinde algler ürerler. Algler gündüz saatlerinde fotosentez nedeniyle oksijen üretimine katkıda bulunurlar. Dolayısı ile bu iki bitkinin çözünmüş oksijen fazlalığının alglerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

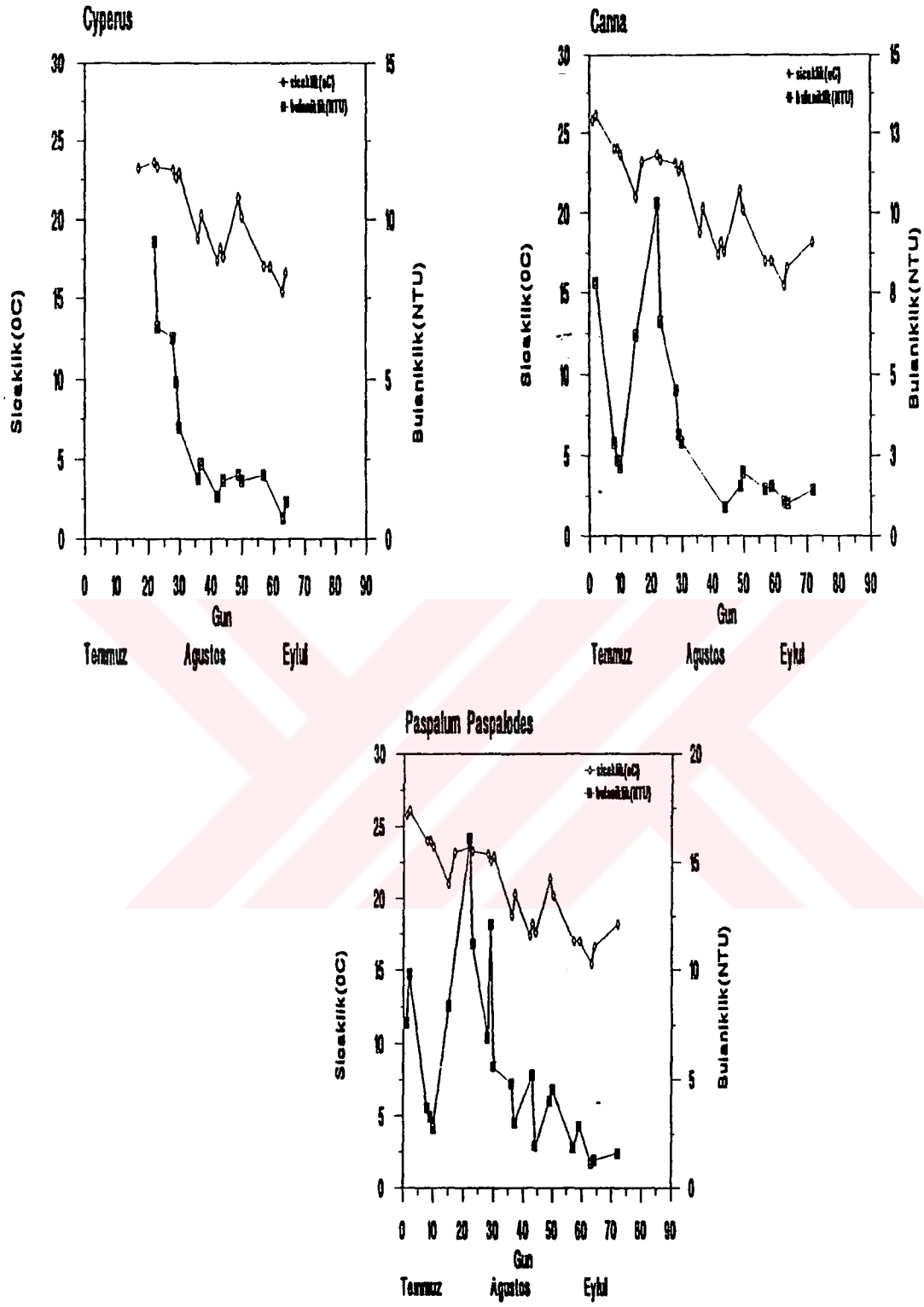
Şekil 10' da ise yine aynı aylardaki sıcaklık ve bulanıklık değerleri gösterilmiştir. Bulanıklık değerleri genelde 2.5-8 NTU arasındadır. Şekil 11' de giriş toplam azot (N_{tot}) yüküne karşı giderilen toplam azot (N_{tot}) değerleri çizilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü üzere N verildiği oranda giderilebilmektedir. Bu lineer ilişkide görülen doğrunun eğimi yüzde olarak giderim verimini belirlemektedir. Buna göre : Canna %95, Cyperus %94 ve Paspalum Paspalodes %97 (0.5 ve 2 g/m².gün) oranında toplam azot giderimi sağlamışlardır. Şekil 12' de benzer bir lineer ilişki görülmüştür. PO₄-P gideriminde Cyperus %68(0.3 -0.5g/m².gün), Canna %67(0.2-0.45 g/m².gün) ve Paspalum Paspalodes ise %75 (0.3-0.6 g/m².gün) oranında giderimler sağlamışlardır.



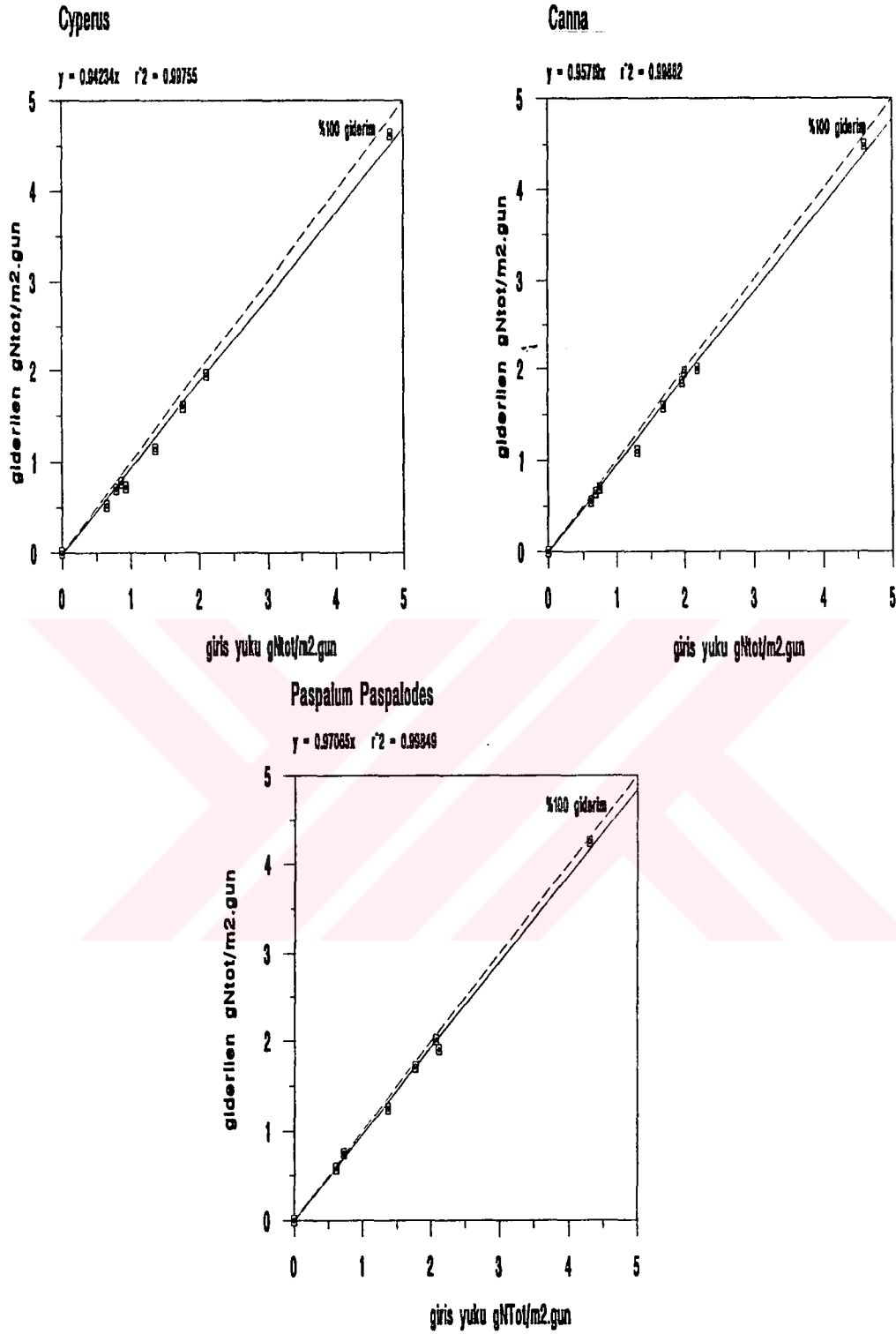
Şekil 8. Aylara Göre Sıcaklık ve Buharlaştırma(1996)



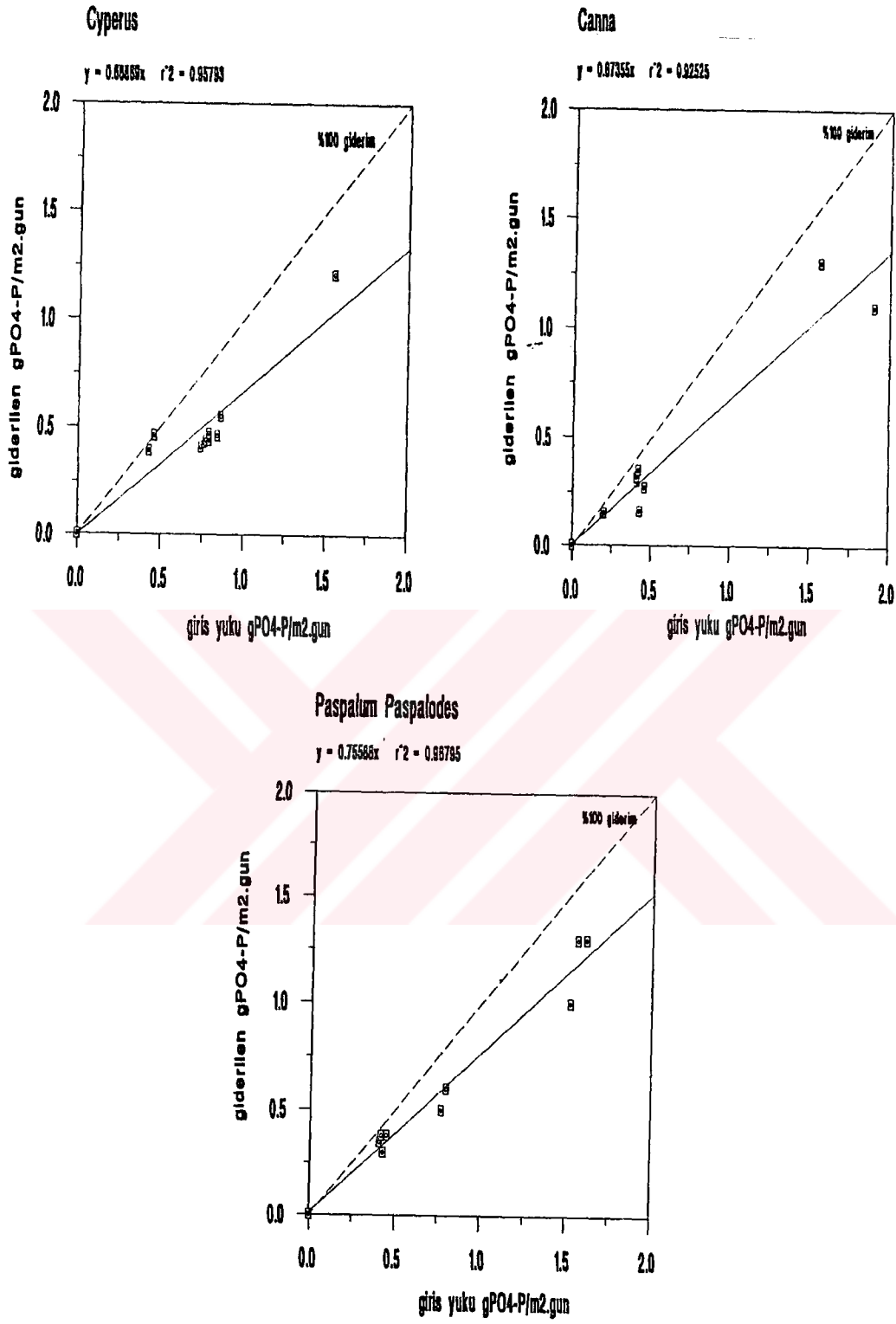
Şekil 9. Aylara Göre Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijen(1996)



Şekil 10. Aylara Göre Sıcaklık ve Bulanıklık (1996)



Şekil 11. Giriş Toplam Azot Yüküne Karşı Giderilen Toplam Azot



Şekil 12.Giriş PO₄-P Yüğü ile Giderilen PO₄-P Arasındaki Bağntı

V.2. Geri Devirli (Laboratuvar Ölçekli) Bitkisel Filtre Sisteminde Organik Karbon, Azot ve Fosfor Giderimi (kesikli sistem 1995)

Bitkisel filtre sisteminde yalnız başına N,P giderimi incelendiğinden, bu işleme bir kademe ilave edilerek organik madde gideriminin incelenmesi amacıyla bu sistem oluşturulmuştur. Bu çalışma içerisinde yalnız bitkiler içeren sistemlerde yapılmış ve bu çalışma ile elde edilen bulgular Tablo 23-24 ve Şekil 13-15 'de verilmiştir. Tablo 23, 24 saat sonundaki, atıksuda analizi yapılan parametrelerin konsantrasyon ve hacim değişikliğini göstermektedir. Su hacmindeki azalma 10-20 l/m².gün' dür. 24 saatlik bir bekleme süresi sonucunda sülfat ve nitrat konsantrasyonu artmıştır. Çıkış KOİ ve AKM değerlerinin SKKY 'de belirtilen atıksu deşarj limitlerine uygun olduğu tesbit edilmiştir(Ayaz ve diğ., 1996).

Tablo 23. Arıtma Sistemindeki Atıksuyun Giriş-Çıkış Parametre Değerleri (Eylül-1995)

Parametre	Birim	Giriş Kons.	Çıkış Konsantrasyonu		
			Paspalum Paspalodes	Cyperus	Canna
Hacim	(l)	70	56	48	54
KOI	(mg/l)	580	95	90	98
TKN	(mg/l)	110	30	55	25
NO ₃	(mg/l)	7.6	11.6	13.8	8.1
NO ₂	(mg/l)	< 0.3	< 0.3	<0.3	<0.3
PO ₄	(mg/l)	30	20.5	23	27.7
SO ₄	(mg/l)	34.2	37	46.3	37.8
Cl	(mg/l)	95.3	92	85	82

Tablo 23' deki konsantrasyon değerlerinden buharlaşma da göz önüne tutularak birim zaman ve birim alandaki giderim = $C_o.V_o - C_{24}.V_{24}$ (12) denklemi kullanılarak hesaplanarak bu hesaplama sonuçları Tablo 24' de gösterilmiştir.

C_o = Giriş atıksu konsantrasyonu (mg/l),

C_{24} = 24 saat sonraki çıkış su konsantrasyonu (mg/l),

V_o = Giriş atıksu miktarı(l),

V_{24} = 24 saat sonraki çıkış su miktarı(l)

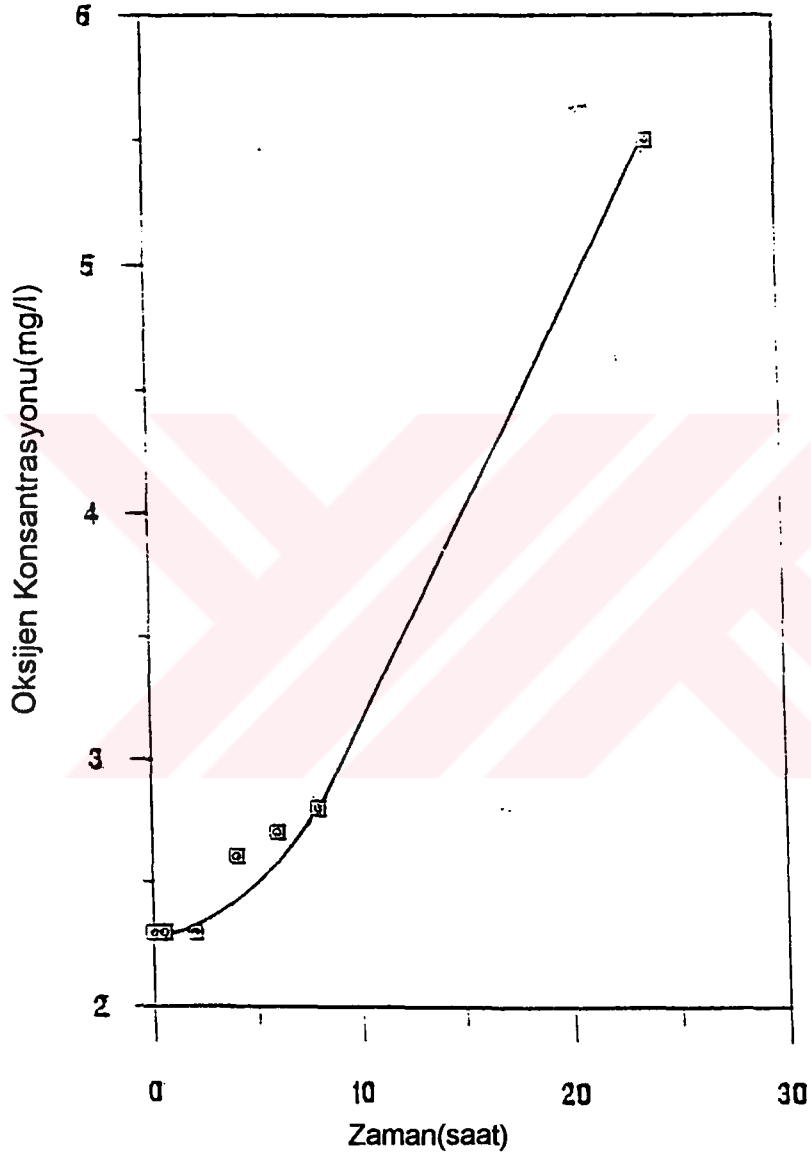
Günlük KOİ giderimi 17-18 g/m² olarak tesbit edilmektedir. Kişi başına 100 g/m².gün KOİ yükünün olduğu düşünülürse kullanılan bu bitkisel filtre sistemiyle kişi başına yaklaşık 5.5 m² lik bir alan gerektiği tesbit edilebilmektedir. Azot giderimi 2.5-3 g/m².gün iken fosfat giderimi 0.3-0.49 g/m².gün olarak bulunmuştur.

Tablo 24. Artma Verimleri

Parametre	Birim	Paspalum Paspalodes	Cyperus	Canna
KOİ	g/m ² .gün	17.5	18	17.7
TKN	g/m ² .gün	3	2.5	3.0
NO ₃ ⁻ *	g/m ² .gün	-0.056	-0.06	-0.048
PO ₄ ⁻³	g/m ² .gün	0.49	0.49	0.30
SO ₄ ⁻²	g/m ² .gün	0.15	0.09	0.16
Cl ⁻	g/m ² .gün	0.74	1.26	1.12

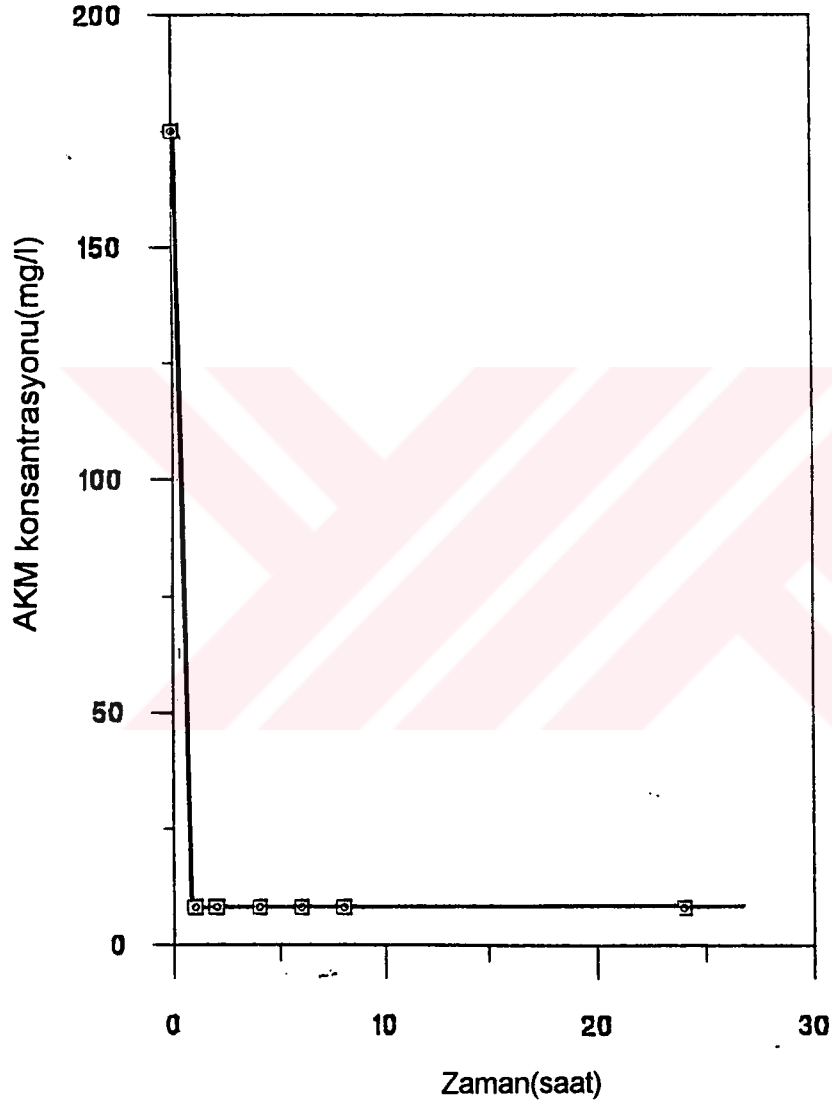
* : Nitrifikasyon nedeniyle NO₃⁻ artışı gözlenmiştir.

Şekil 13, 24 saat içinde belirli aralıklarla ölçülen oksijen konsantrasyonunu göstermektedir. Verilen atıksuyun ilk oksijen konsantrasyonu 2.2 den 24 saat sonra yavaş,yavaş 5.5 mg/l ye ulaştığı tesbit edilmiştir.



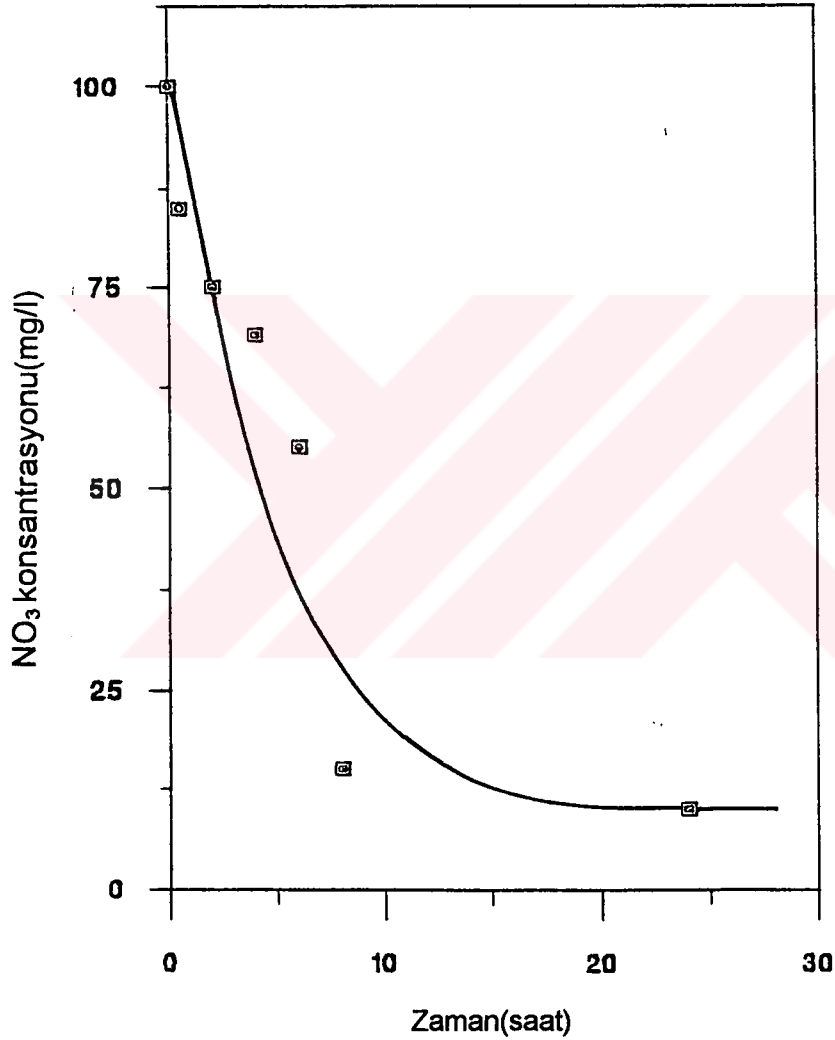
Şekil 13. Arıtma Sistemindeki Oksijen Konsantrasyon Değişimi(Paspalum Paspalodes ile)

Şekil 14, zamana bağlı olarak ölçülen askıda katı madde miktarını göstermektedir. Giriş atıksuyundaki askıda katı madde yeni atıksuyun sistemden bir iki kez gidip gelmesinden sonra kökler tarafından tutulmakta ve giriş konsantrasyonu ilk bir kaç dakika içerisinde 175- mg/l den 10 mg/l'nin altına düşerek 24 saat içerisinde, bu değerde sabit kaldığı belirlenmiştir.



Şekil 14. Arıtma Sistemindeki Askıda Katı Madde Konsantrasyon Değişimi(Paspalum Paspalodes ile)

Bu sistemlerde meydana gelen denitrifikasyonun önemini anlamak için bu deneysel çalışmada, sisteme diğerlerinden farklı olarak 60 l' lik ham evsel atıksuya, sentetik olarak hazırlanan ve atıksudaki NO_3 konsantrasyonu 100 mg /l olacak şekilde çözelti ilave edilerek verilmiştir. Bu arada sistem tamamen siyah bir örtüyle kapatılarak bitkinin fotosentez yapması engellenmiş ve sonuçta kök bölgesinde meydana gelen denitrifikasyon ile nitrat konsantrasyonu 24 saat içerisinde %90 giderildiği belirlenmiştir.



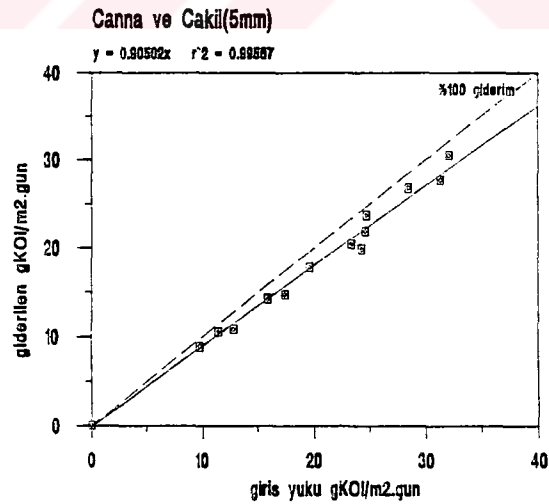
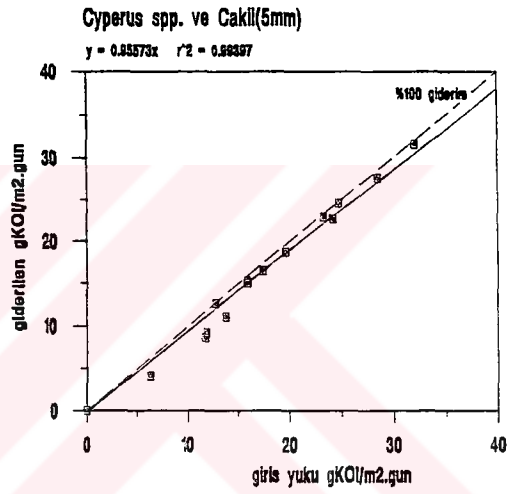
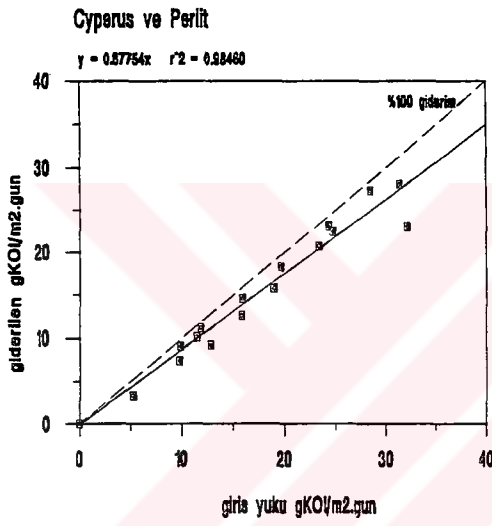
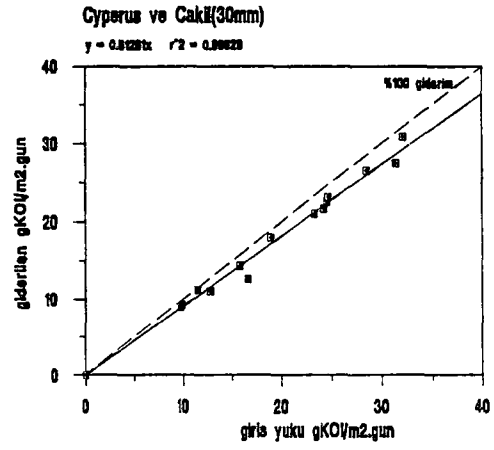
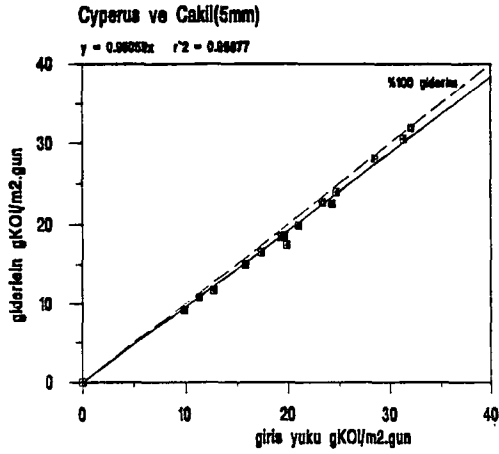
Şekil 15. Arıtma Sistemindeki Nitrat Konsantrasyon Değişimi(Paspalum Paspalodes ile Karanlıkta)

IV.3. Geri Devirli (Laboratuvar Ölçekli) Arıtma Sisteminde Organik Karbon, Azot ve Fosfor Giderimi (kesikli sistem 1996)

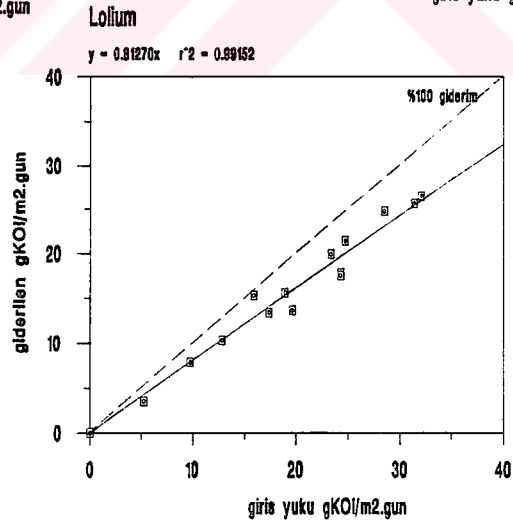
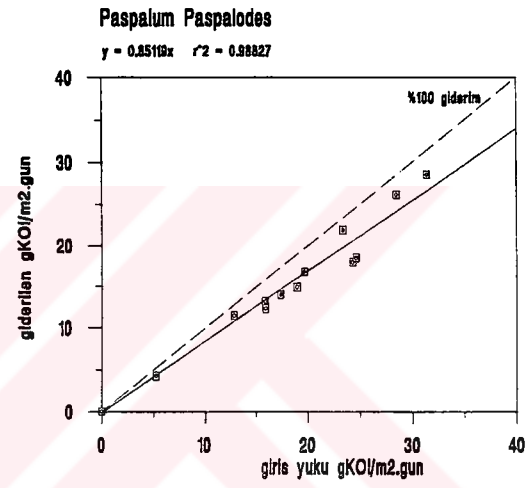
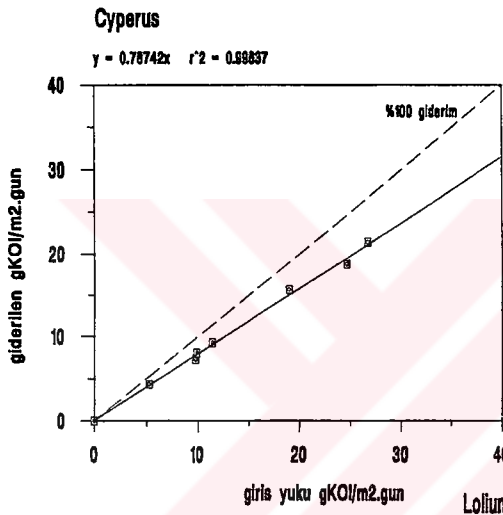
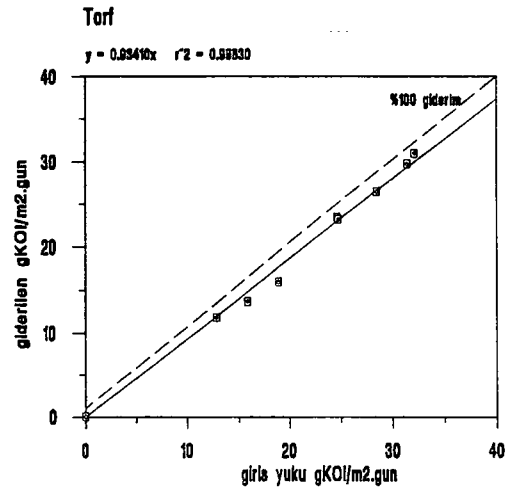
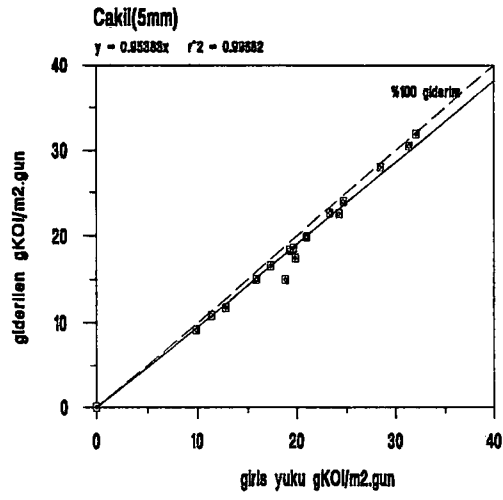
Bu çalışmada, bitkiler dolgu malzemesi ile beraber ve/veya tek başlarına kullanılmaları durumundaki arıtım verimleri incelendi. Esas itibarıyla, çalışmanın amacı değişik dolgu malzemeleri kullanarak, atıksudaki kirlетici parametrelerin giderim verimini arttırmak ve bu dolgu malzemelerinden hangisinin maksimum giderimi sağlayacağını tesbit edilmesidir. Ancak sisteme verilen organik yükün , sisteme verilmesi gerekenden daha az olması münasebeti ile fosfor haricindeki bütün parametrelerin % 90 ın üzerinde giderimler sağladığı görüldü. Bu nedenle dolgu malzemeleri arasındaki giderim farkı bariz bir şekilde belirlenemedi. Ancak beklenildiği gibi dolgu malzemeleri içinde sadece bitkilerin bulunduğu sistemlerden daha iyi arıttığı tesbit edilerek, sistemdeki değişiklikler zaman içerisinde aynı debide incelendi. ilgili grafikler Şekil 16-25 arasında verildi.

Şekil 16' da giriş KOİ yüküne karşı giderilen KOİ miktarları verilmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi organik madde gideriminde çakıl(5mm) en iyi sonucu vermiştir KOİ giderimi $9-34\text{g/m}^2.\text{gün}$ (KOİ giderimi %95). Dolgu malzemelerinde en düşük giderim ise $3-26\text{g/m}^2.\text{gün}$ ile perlit'e aittir(KOİ giderimi%87). Ancak perlit'in bu dezavantajına karşılık hafif bir malzeme olması nedeniyle taşıma kolaylığı gibi bir avantajı mevcuttur.

Cyperus ve çakıl (30mm)' da toplam yüzey alanı küçüldüğünden organik madde giderimi çakıl(5mm) ye göre nispeten düşüktür KOİ giderimi $9-32\text{g/m}^2.\text{gün}$ diğer bir ifadeyle KOİ giderimi %91' dir. Canna ve çakıl(5mm) ise %90'lık benzer bir giderim göstermişlerdir. Torf'un organik madde giderimi oldukça iyi olduğu söylenebilir(KOİ giderimi %93). Yalnız başlarına kullanılan bitkilerden Paspalum Paspalodes en yüksek organik madde giderimine(%85 KOİ giderimi), en düşüğü ise Cyperus'a(%78 KOİ giderimi) ait olmuştur. Bu sonuç Paspalum Paspalodes'in su altındaki kök alanının diğer bitkilere nazaran daha fazla olması dolayısıyla elde edilmektedir.

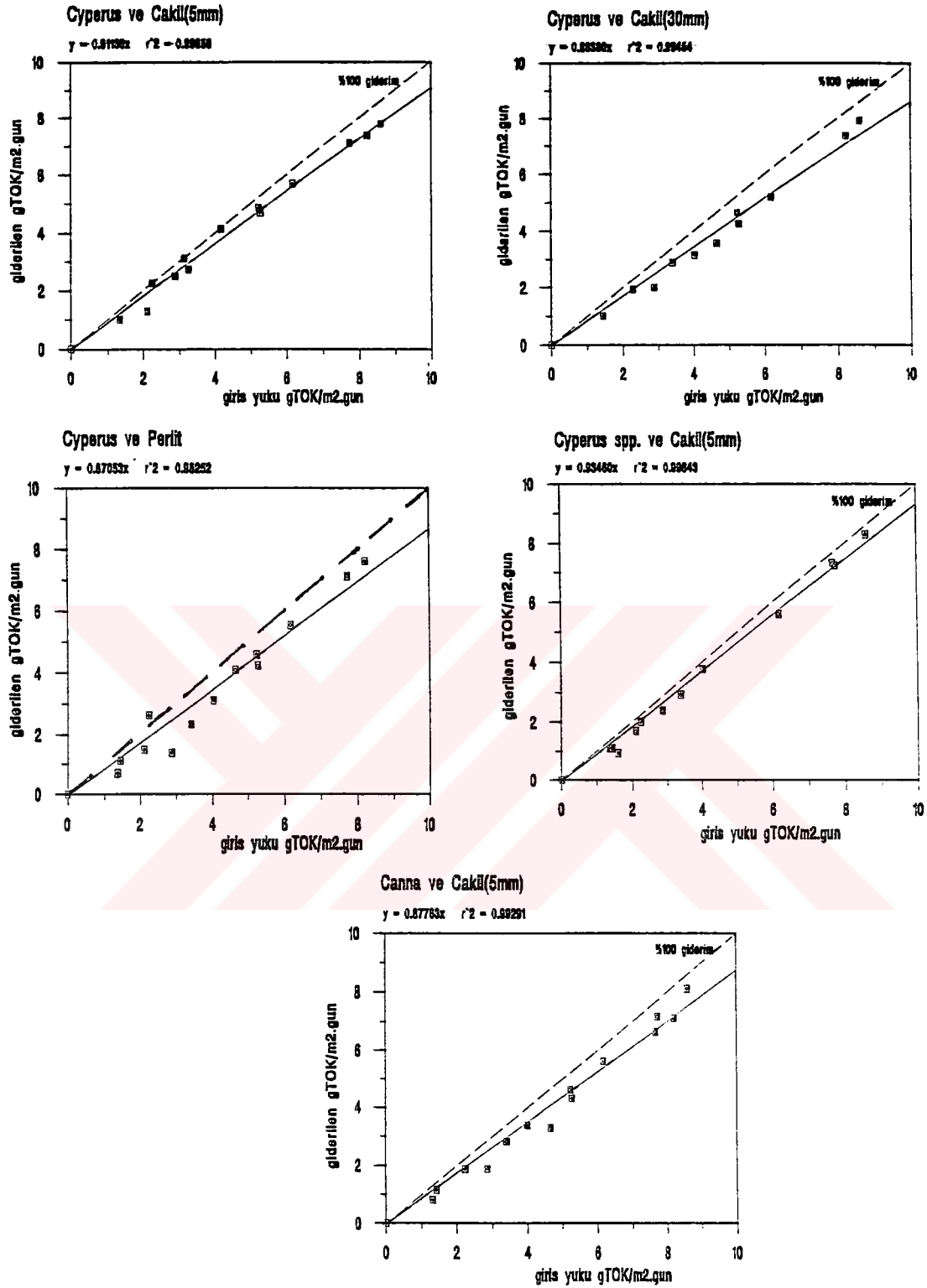


Şekil 16. Giriş KOİ ile Giderilen KOİ Arasındaki Bağntı

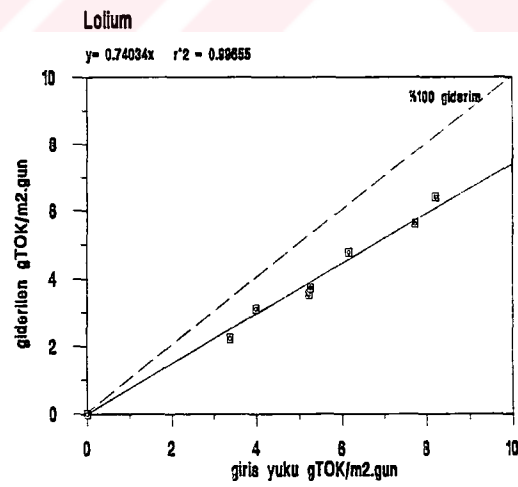
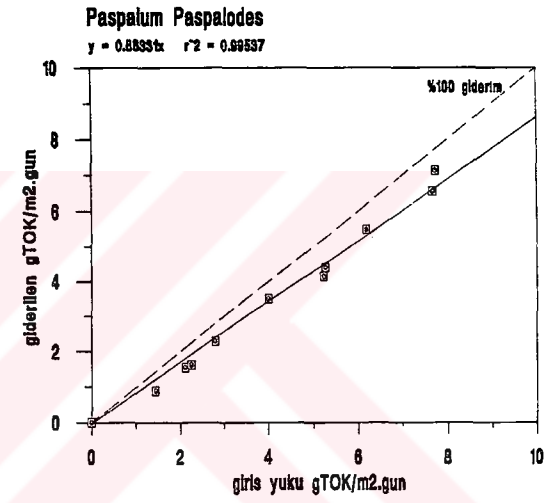
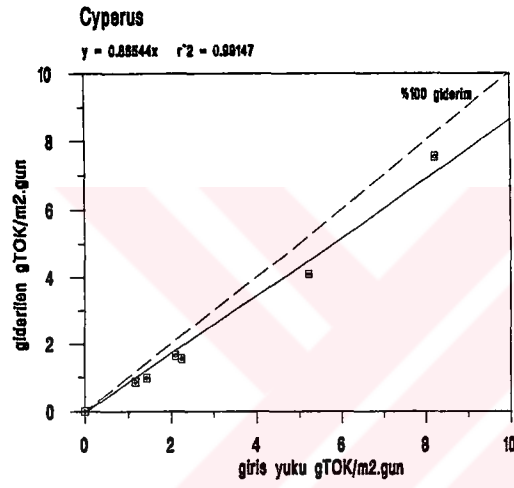
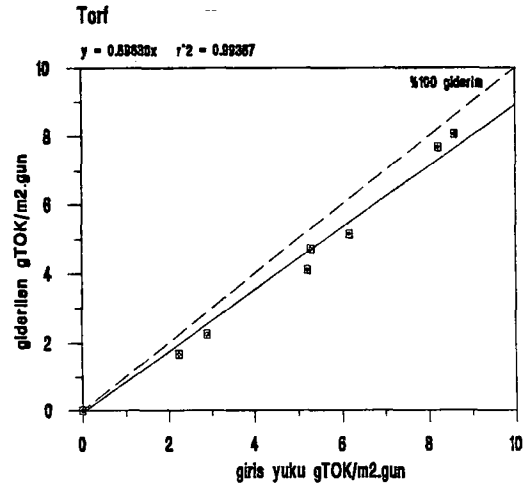
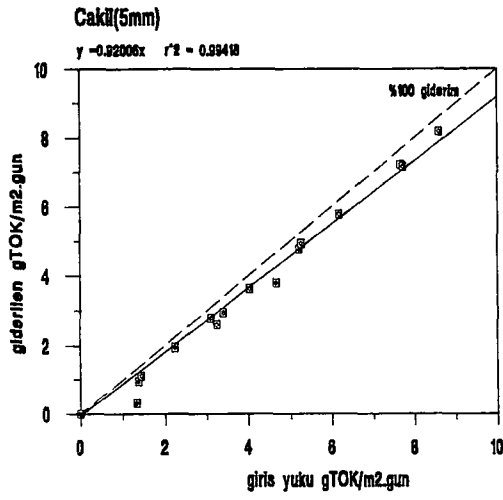


Şekil 16. Devamı

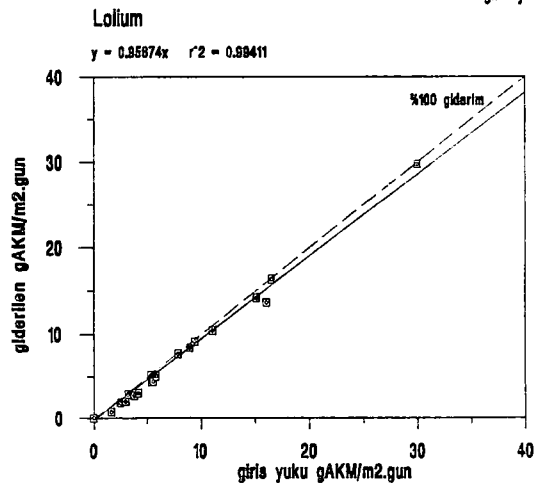
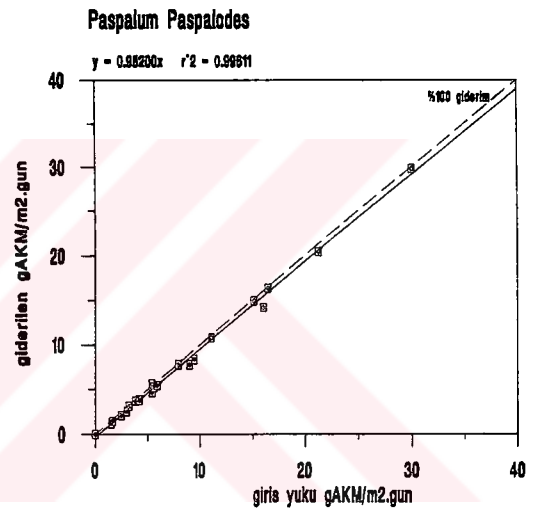
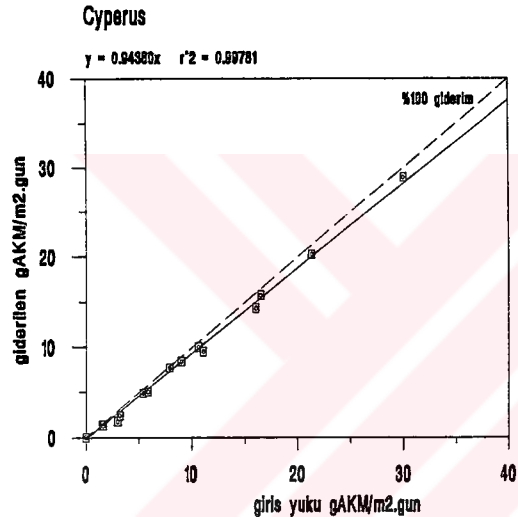
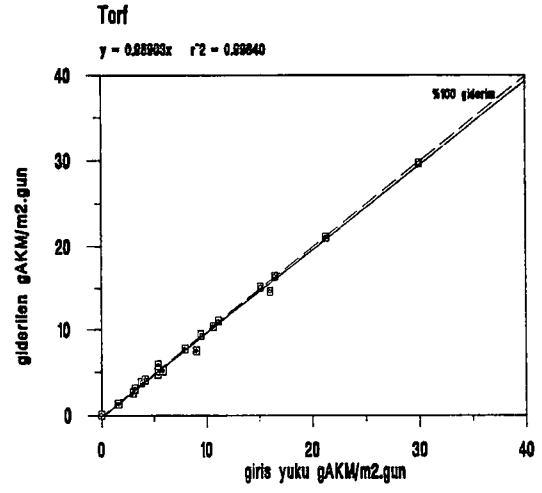
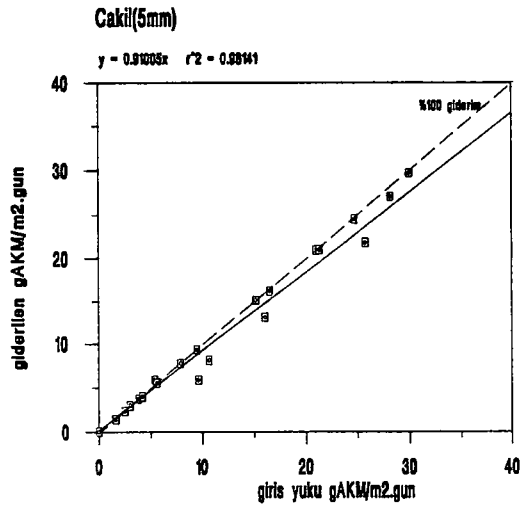
Şekil 17’de organik maddenin diğer bir ifadesi olan giriş TOK yüküne karşılık giderilen TOK miktarları verilmiştir. Şekil 18’ de giriş AKM yüküne karşılık giderilen AKM miktarları verilmiş ve dolgu malzemesi ile bitkiler %93-%98 arasında giderim elde edilmiştir. Şekil 19 ‘da giriş TKN yüküne karşı giderilen TKN miktarları verilmektedir. TKN gideriminde kullanılan dolgu malzemeleri ve bitkilerin giderim verimleri %90-97 arasındadır. Bunlar sırası ile Cyperus ve çakıl(5mm) , Cyperus ve perlit ile Cyperus spp. ve Çakıl(5mm) %96-97 , Cyperus ve çakıl(30mm) ile Canna ve çakıl(5mm) %93, Torf ise %90’lık bir giderim sağlamıştır. Bitkilerin yalnız başlarına kullanılmaları halinde Cyperus ve Paspalum Paspalodes %91, Lolium ise %79’luk bir TKN giderimi sağlamıştır. TKN deki bu giderimin bitki bünyesine alınma ve nitrifikasyon yoluyla gerçekleştiği bilinmektedir. Yani amonyak azotu nitrosomonaz ve nitrobakterleri tarafından ortamdaki oksijenin kullanılması ile nitrit ve nitrata dönüştürülmektedir. Sulakalan sistemlerinde özellikle yaz aylarında bitkiler amonyak azotunu hücrelerinin oluşumunda kullanmaktadırlar. Bu şekilde $\text{NH}_4\text{-N}$ ’nun çıkış suyunda azaldığı tesbit edilmektedir. Şekil 20’ de giriş toplam azot yüküne karşı giderilen toplam azot(top-N) miktarları ortalama olarak verilmektedir. Cyperus ve çakıl(5mm) ile Cyperus spp. ve çakıl(5mm) %92-93 arasında giderim sağlandığı tesbit edildi. Bunları sırası ile % 88-87 çakıl(5mm), Canna ve çakıl(5mm), torf takip etmiştir. %86’lık giderim Cyperus ve Perlit’e aittir . Dolgu malzemeleri açısından en kötü giderim %74 ile Cyperus ve çakıl(30mm)’ye ait olduğu görülmektedir. Çakılın çapı büyüdüğü için özgül yüzey alanı küçülmüştür. Bu durum da verimin azalmasına neden olmaktadır. Yalnız bitkilerin kullanıldığı sistemlerde Paspalum Paspalodes %88, Lolium %77, Cyperus ise %76 ile sıralanmıştır. Görüldüğü gibi bitkiler arasındaki en yüksek verim Paspalum Paspalode’s’e aittir. Bu durumun Paspalum Paspalodes’in kök yapısı diğer bitkilere nazaran daha sık olması sebebiyle buradaki mikroorganizmaların çokluğu ve mikroorganizmalar ile bitkinin nutrient alma kapasitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 21’ de giriş toplam azot yüküne karşı giderilen toplam azot(top-N)miktarları aylık olarak verilmektedir. Burada Cyperus, dolgu malzemeleri ile, Eylül ayı %93-97 arasında en yüksek giderimi, tek başına kullanıldığı zaman ise %79 luk bir giderime sahiptir. Torf %93, Canna ve çakıl(5mm) %89, Paspalum Paspalodes %86, Lolium %74 lük giderimler göstermişlerdir.



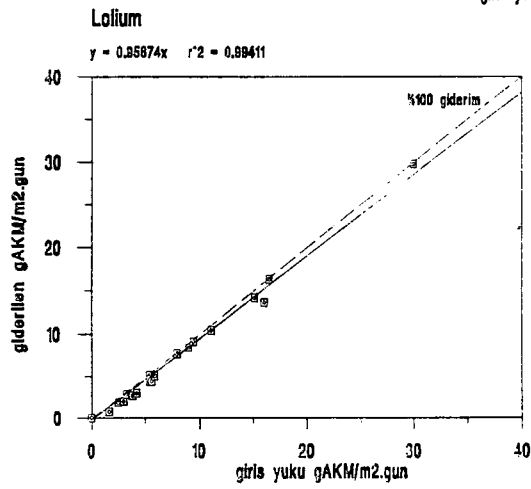
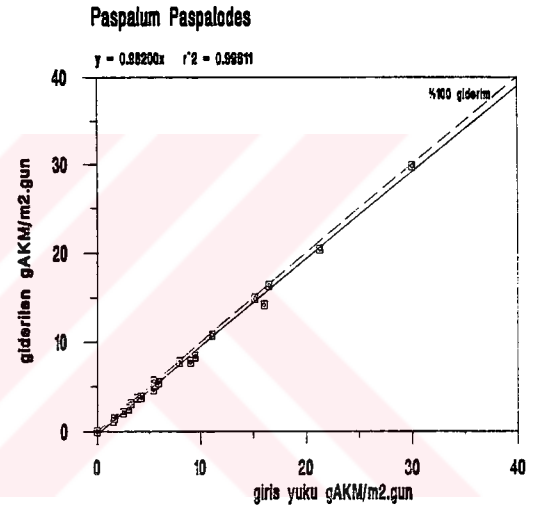
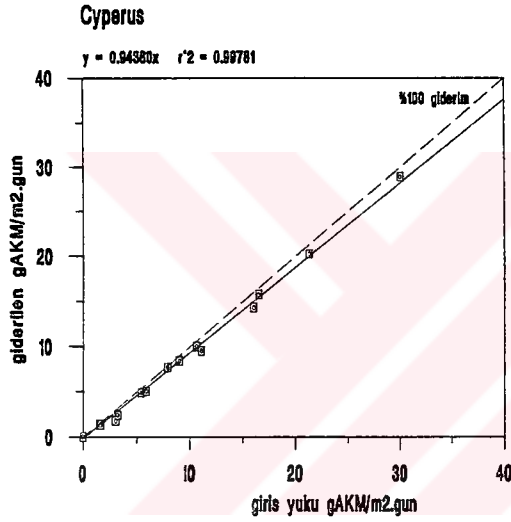
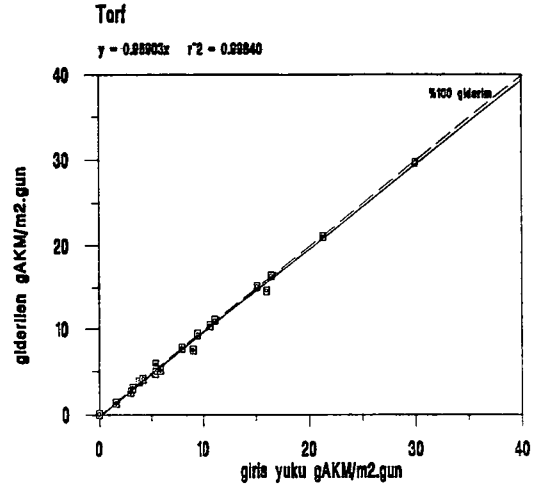
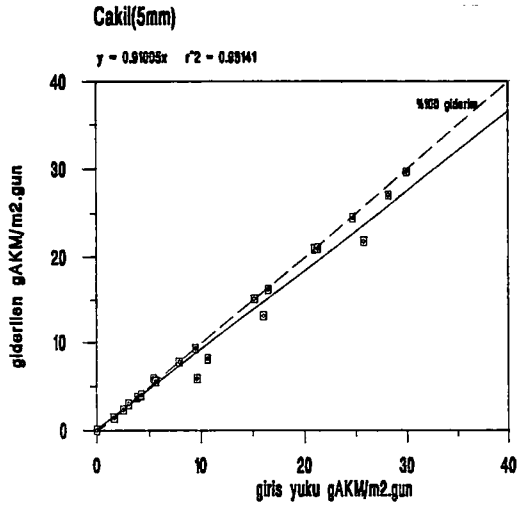
Şekil 17. Giriş TOK ile Giderilen TOK Arasındaki Bağını



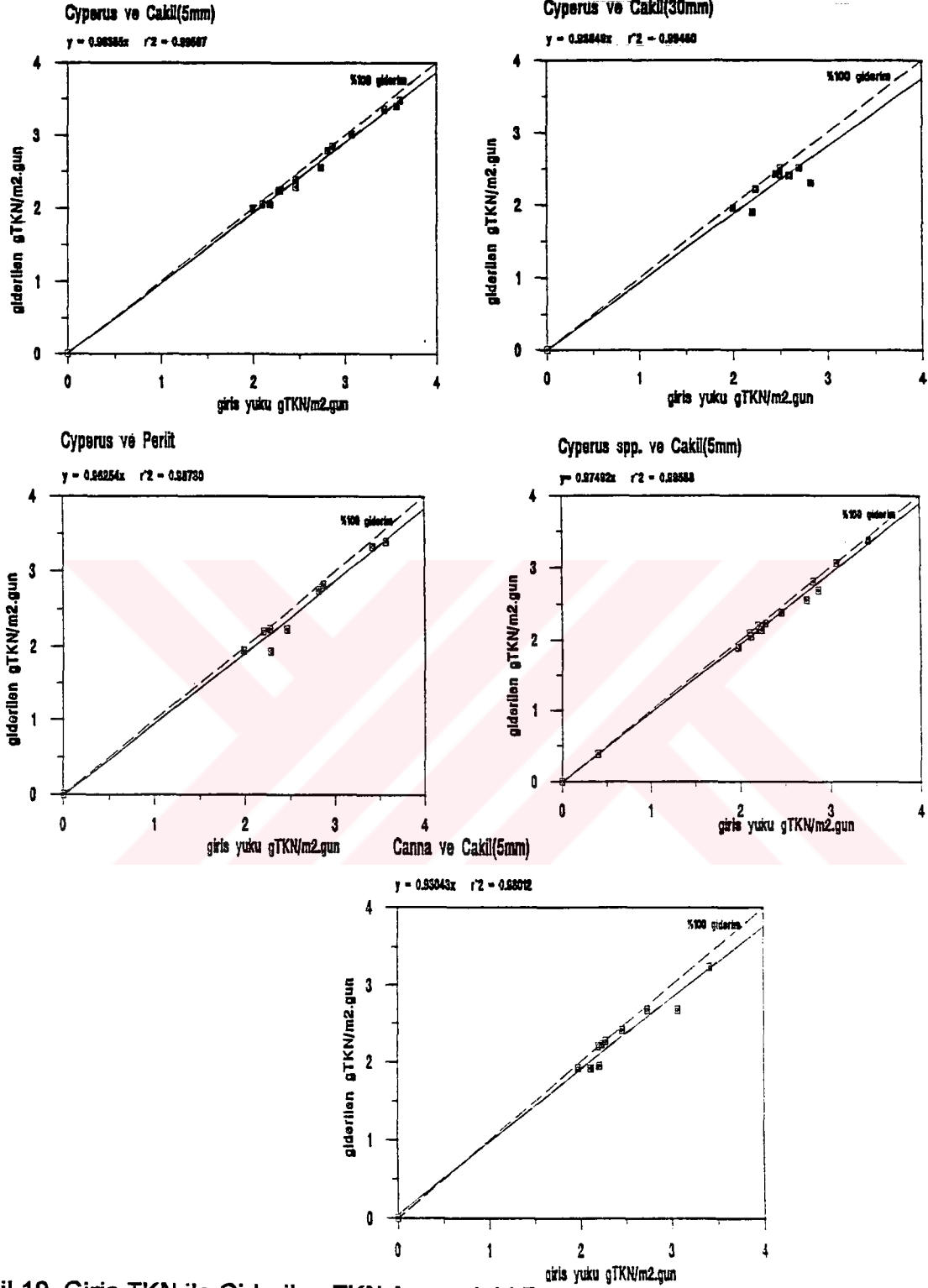
Şekil 17. Devamı



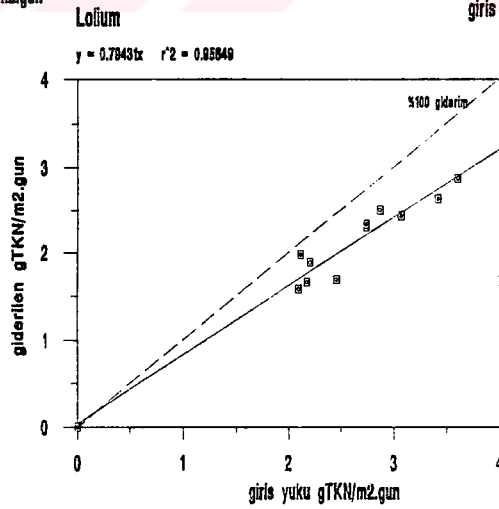
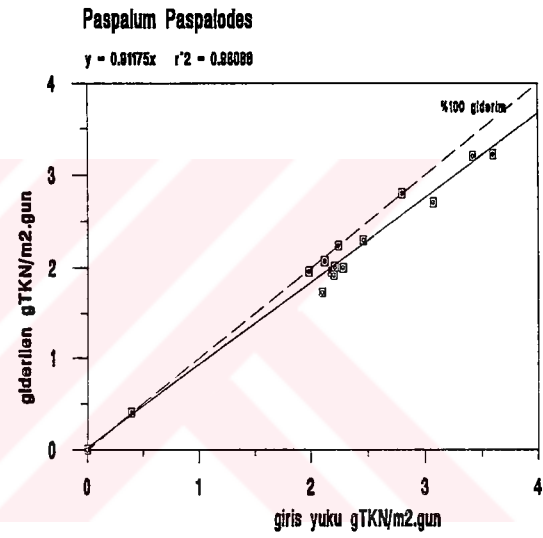
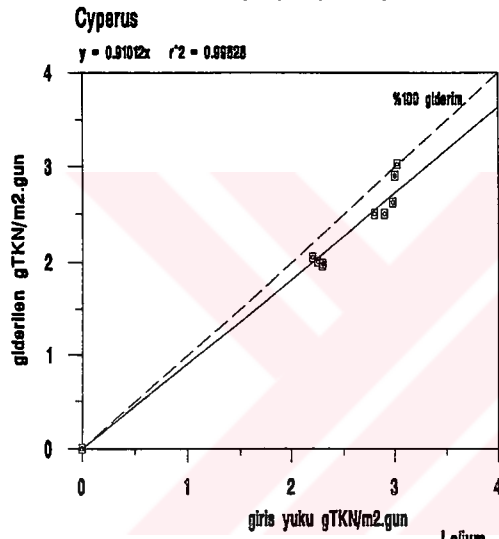
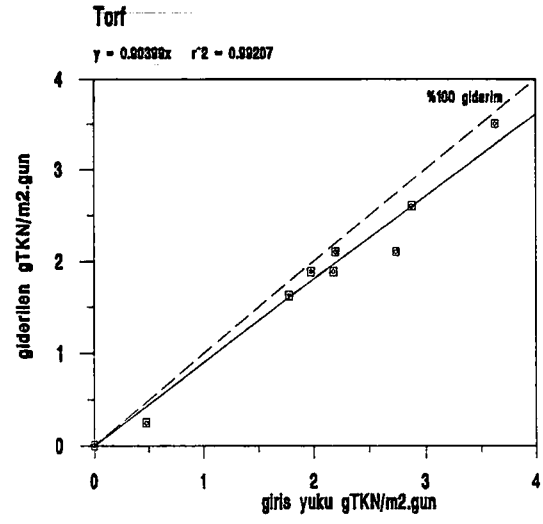
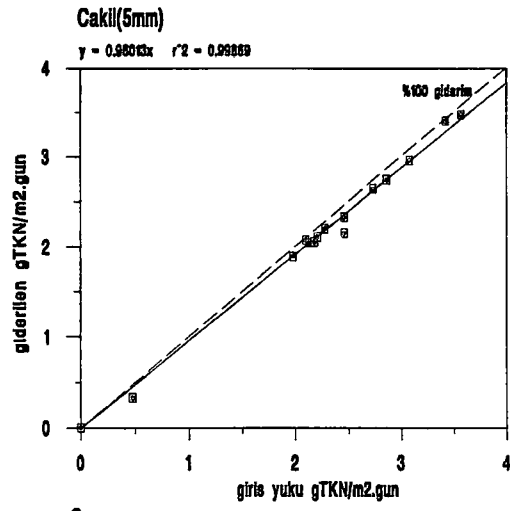
Şekil 18. Devamı



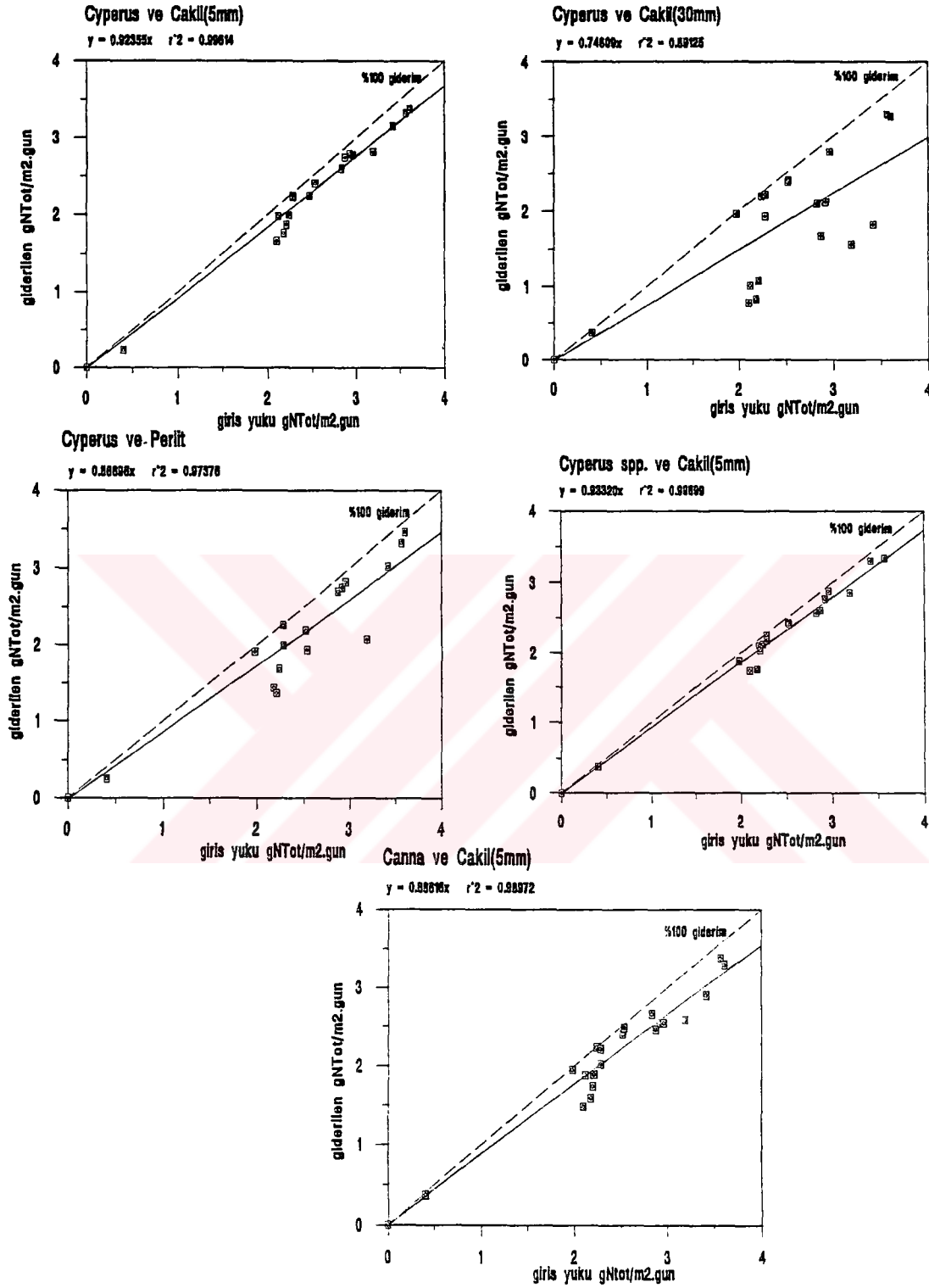
Şekil 18. Devamı



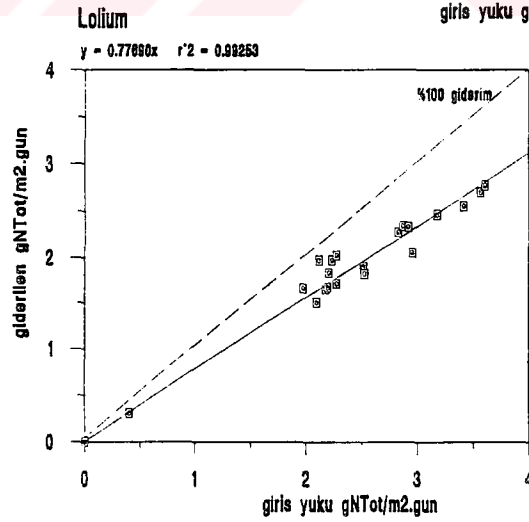
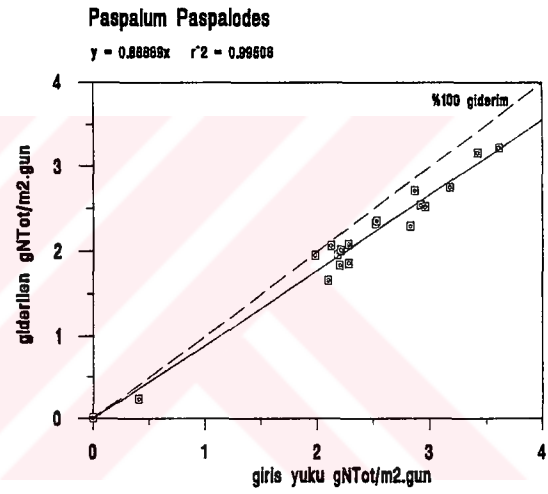
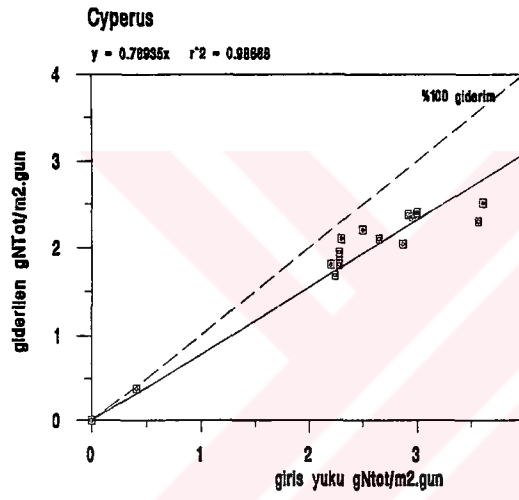
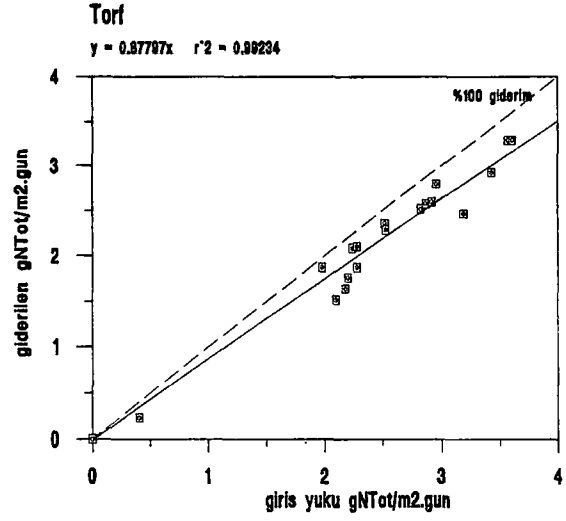
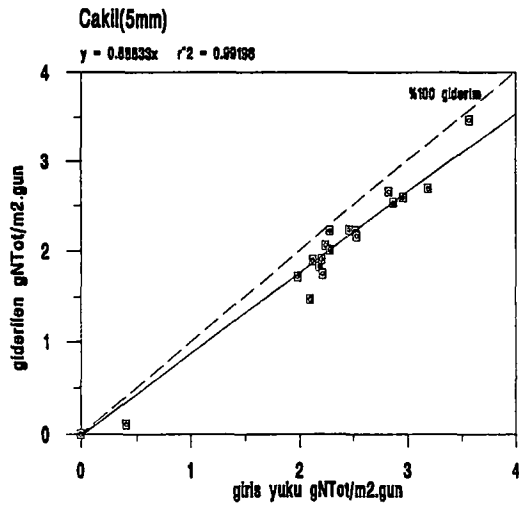
Şekil 19. Giriş TKN ile Giderilen TKN Arasındaki Bağını



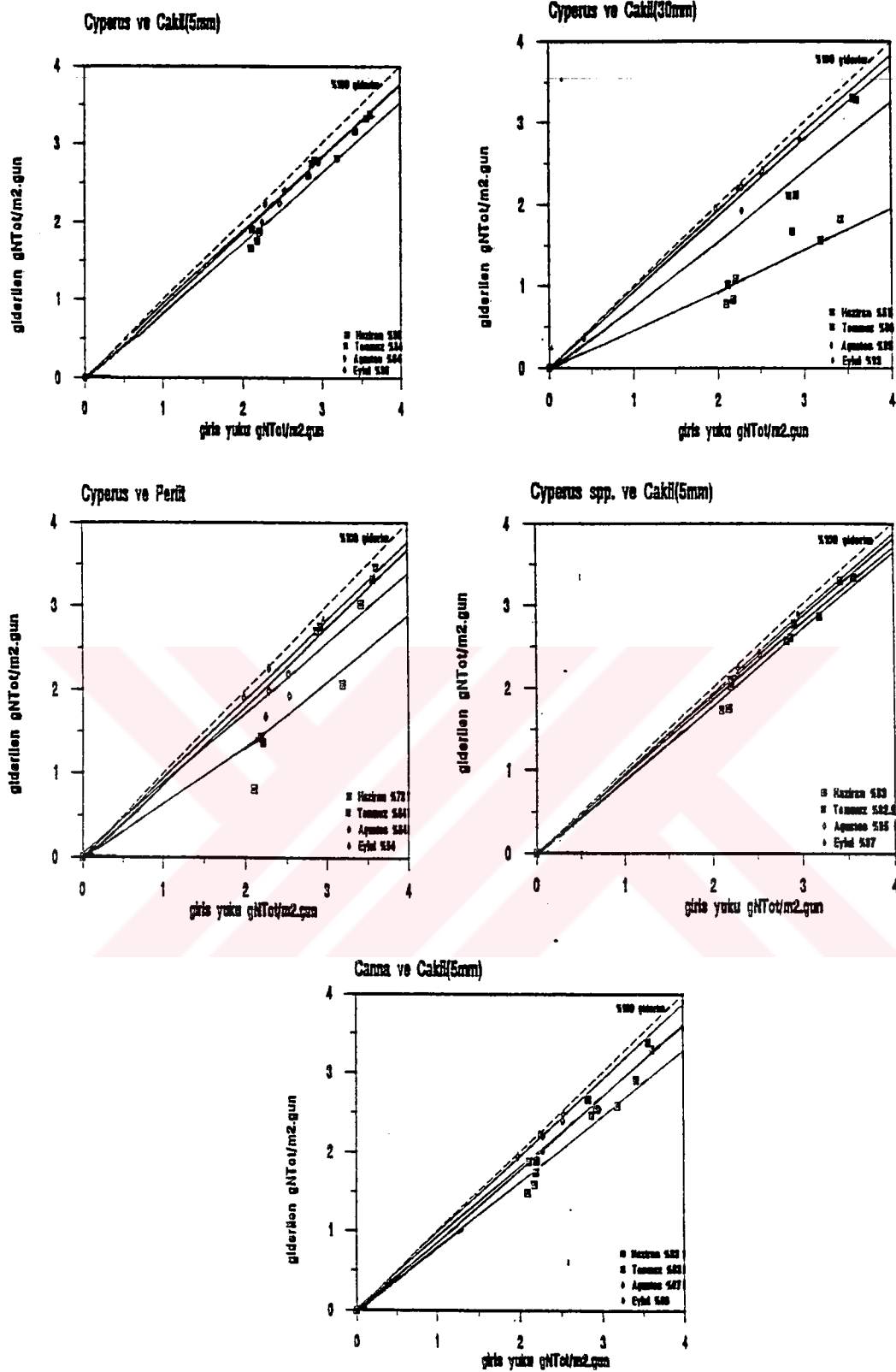
Şekil 19. Devamı



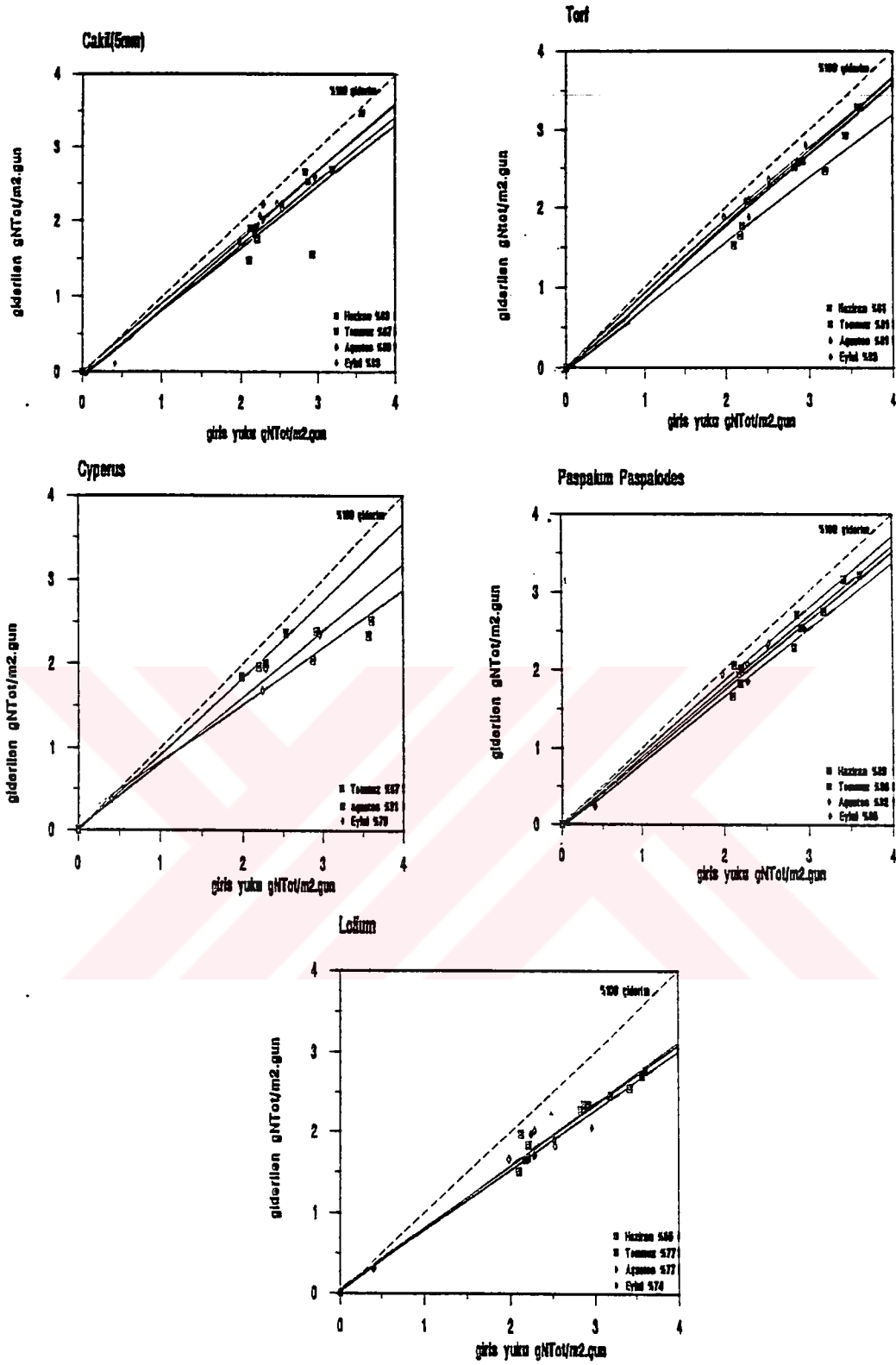
Şekil 20. Giriş Toplam Azot Yüğü ile Giderilen Toplam Azot(Ortalama)



Şekil 20. Devamı

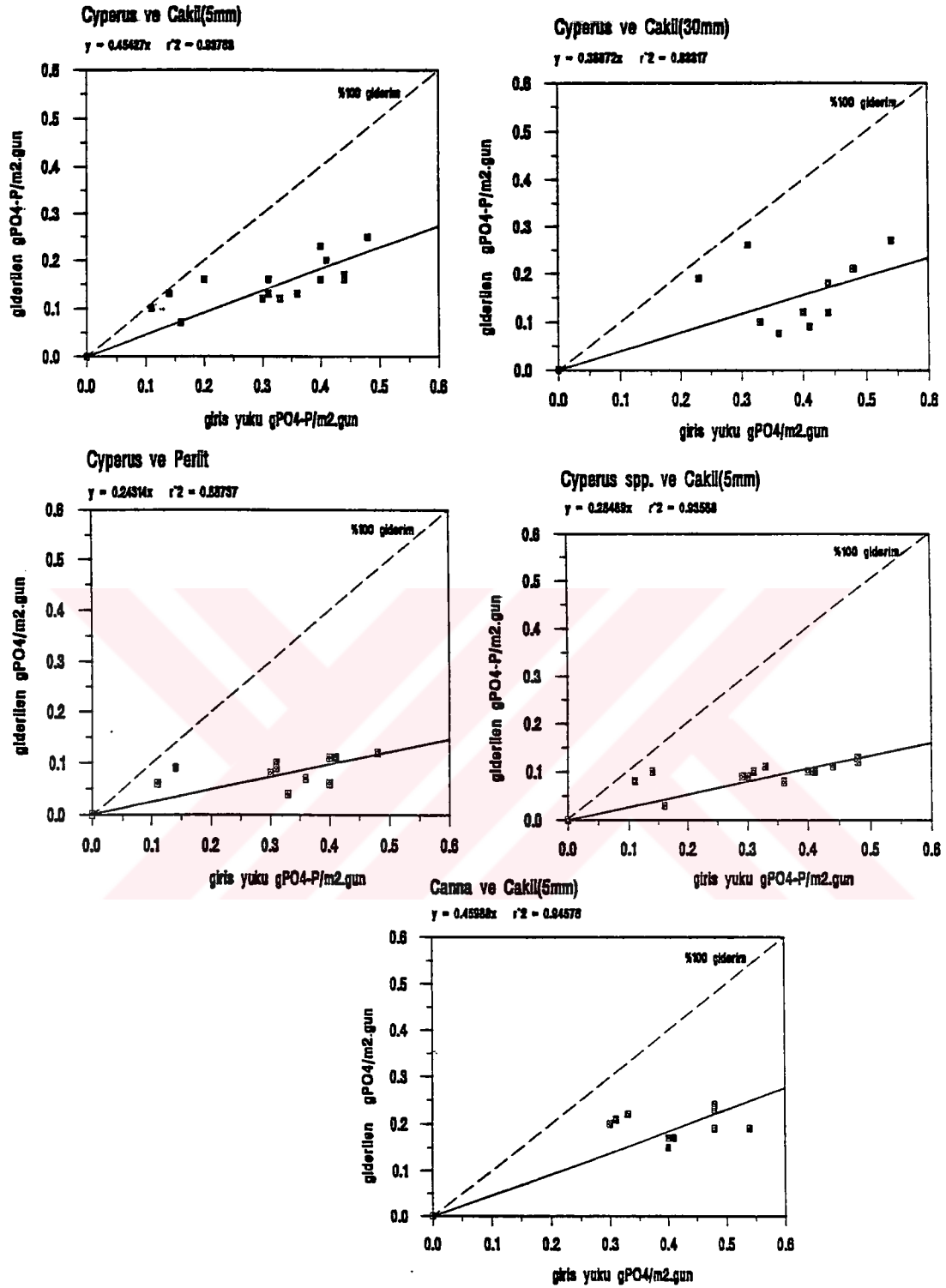


Şekil 21. Giriş Toplam Azot Yüğü ile Giderilen Toplam Azot(Aylık)

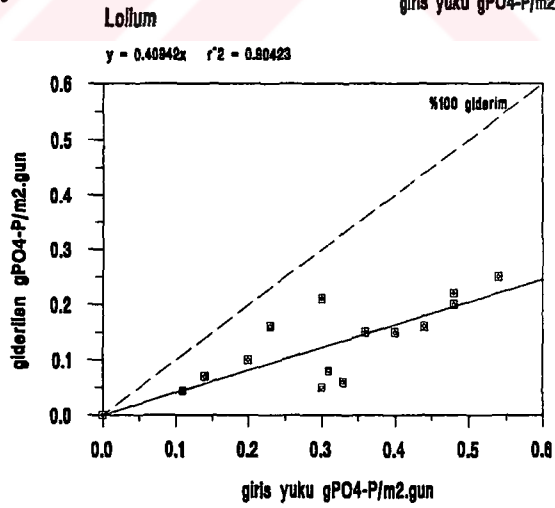
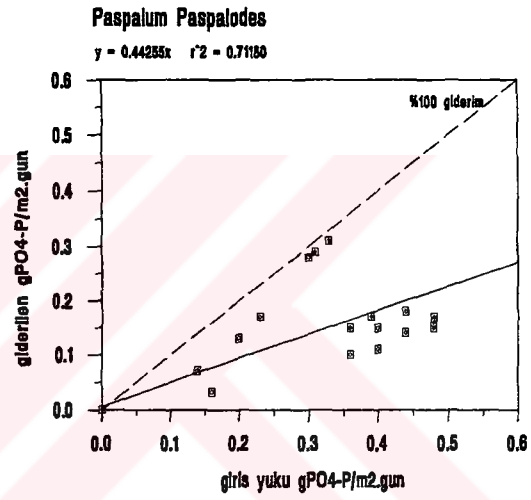
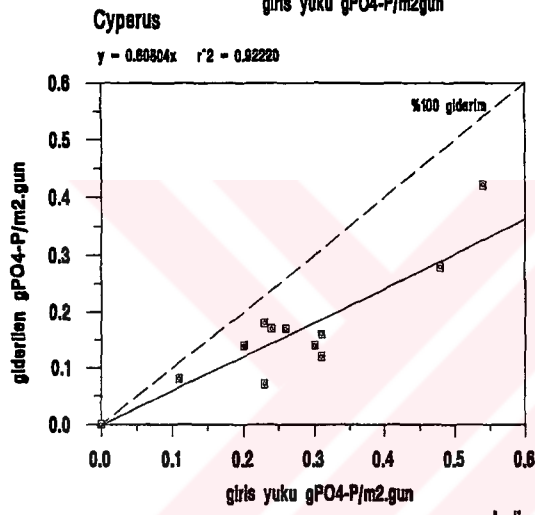
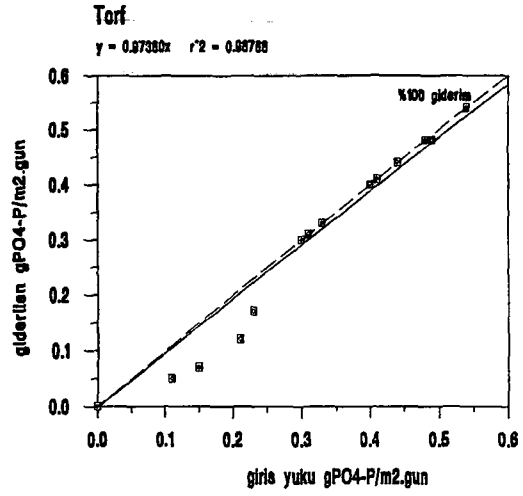
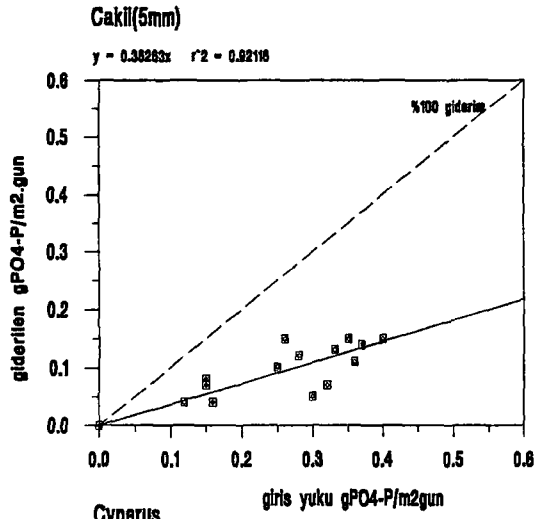


Şekil 21. Devamı

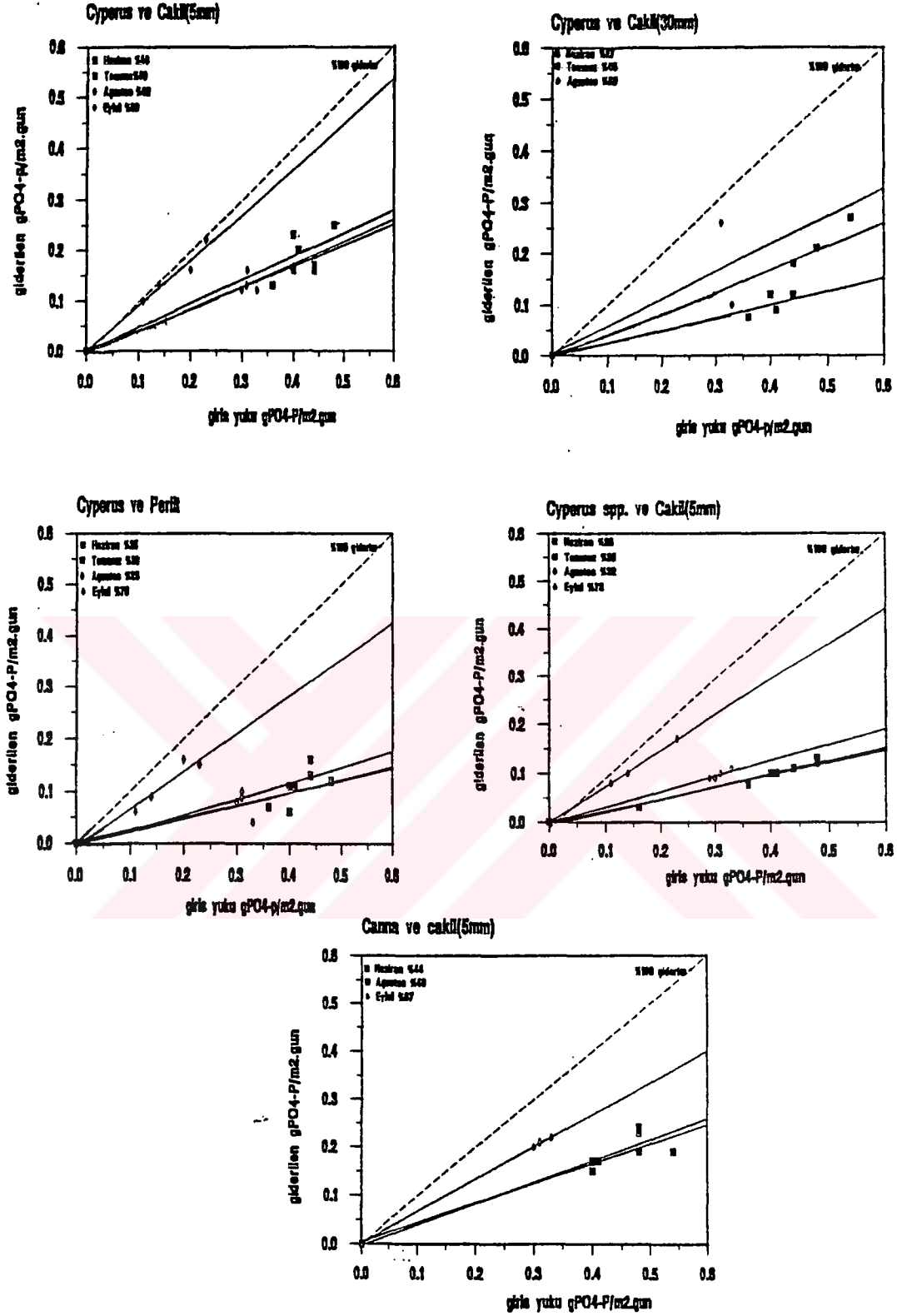
Şekil 22' de giriş $PO_4\text{-P}$ yüküne karşı giderilen $PO_4\text{-P}$ miktarları ortalama olarak verildi. Burada en yüksek giderimin Torf'a ait olduğu görülmektedir (%97 $PO_4\text{-P}$ giderimi). Bu durumda Torf'un organik toprak olması nedeniyle iyi bir absorblama kapasitesi olduğu ancak bir süre sonra absorblama kapasitesinin azalacağı ve zamanla doyma noktasına ulaşacağı muhakkaktır. Bunu sırası ile %45 giderimle Cyperus ve çakıl(5mm), Canna ve çakıl(5mm) takip etmişlerdir. Bunun haricinde Cyperus ve çakıl(30mm)%38, çakıl(5mm) %36, Cyperus spp. ve çakıl(5mm) %26, Cyperus ve perlit %24 'lük giderim sağlamışlardır. Yalnız başına bitki kullanılması durumunda ise en yüksek $PO_4\text{-P}$ giderimi %60 ile Cyperus' a ait olmuş ve bunu, sırası ile %44 giderimle Paspalum , %40 giderimle, de Lolium izlemiştir. Şekil 23 'de giriş $PO_4\text{-P}$ yüküne karşı giderilen $PO_4\text{-P}$ miktarları aylık olarak verilmektedir. Bu durumda yine Torf'un en yüksek değerde PO_4 absorbladığı(Temmuz %95, Ağustos %91, Eylül %76) görülmektedir. Aylık değerlerde genelde en iyi giderim yine Eylül ayına rastlamaktadır. Cyperus ve çakıl(5mm) %89, Cyperus spp. ve çakıl(5mm) %73, Cyperus ve perlit %70, Cyperus %70, Paspalum %70, Lolium %64, Cyperus ve çakıl(30mm) %53, çakıl(5mm) %50 gibi giderimler göstermişlerdir. Diğer ayların giderimleri ise sıcaklık düşmesinden dolayı daha düşük olmuştur. $PO_4\text{-P}$ gideriminin Eylül ayında maksimum olmasının sebebi tam olarak anlaşılamamıştır. Bitki olmadığı durumlarda ise fosfor, dolgu malzemesine, fiziksel bir tutunma ile bağlanmakta ve bu şekilde atıksudan giderilmektedir. Ayrıca dolgu malzemesinin yüzeyinde biyofilm oluşturan mikroorganizmalar da ihtiyaçları olan fosforu atıksudan alarak fosfor giderimine katkıda bulunmaktadırlar. Şekil 24'de aylara göre sıcaklık ve buharlaşan su hacmi arasındaki ilişki gösterilmiş, sıcaklığa paralel olarak su hacminde artma ve azalmalar tesbit edilmiştir. Şekil 25' de aylara göre sıcaklık ve çözünmüş oksijen arasındaki ilişki gösterilmiştir. Gazların sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla ters orantılı olmasından dolayı, sıcaklık azaldıkça çözünmüş oksijen konsantrasyonunda hafif bir artma görülmektedir. Paspalum'un, Haziran ayı ile ilgili verilerindeki yüksek oksijen konsantrasyonunun alglerden kaynaklandığı düşünülmekte ve Paspalum'un bu aylarda su yüzeyini tamamen kaplamamaları nedeniyle güneş ışığı alan bu kısımlarda alg üremesine neden olmaktadırlar. Algler ise gündüz vakitlerinde fotosentez yoluyla oksijen üretimine katkıda bulunmaktadırlar.



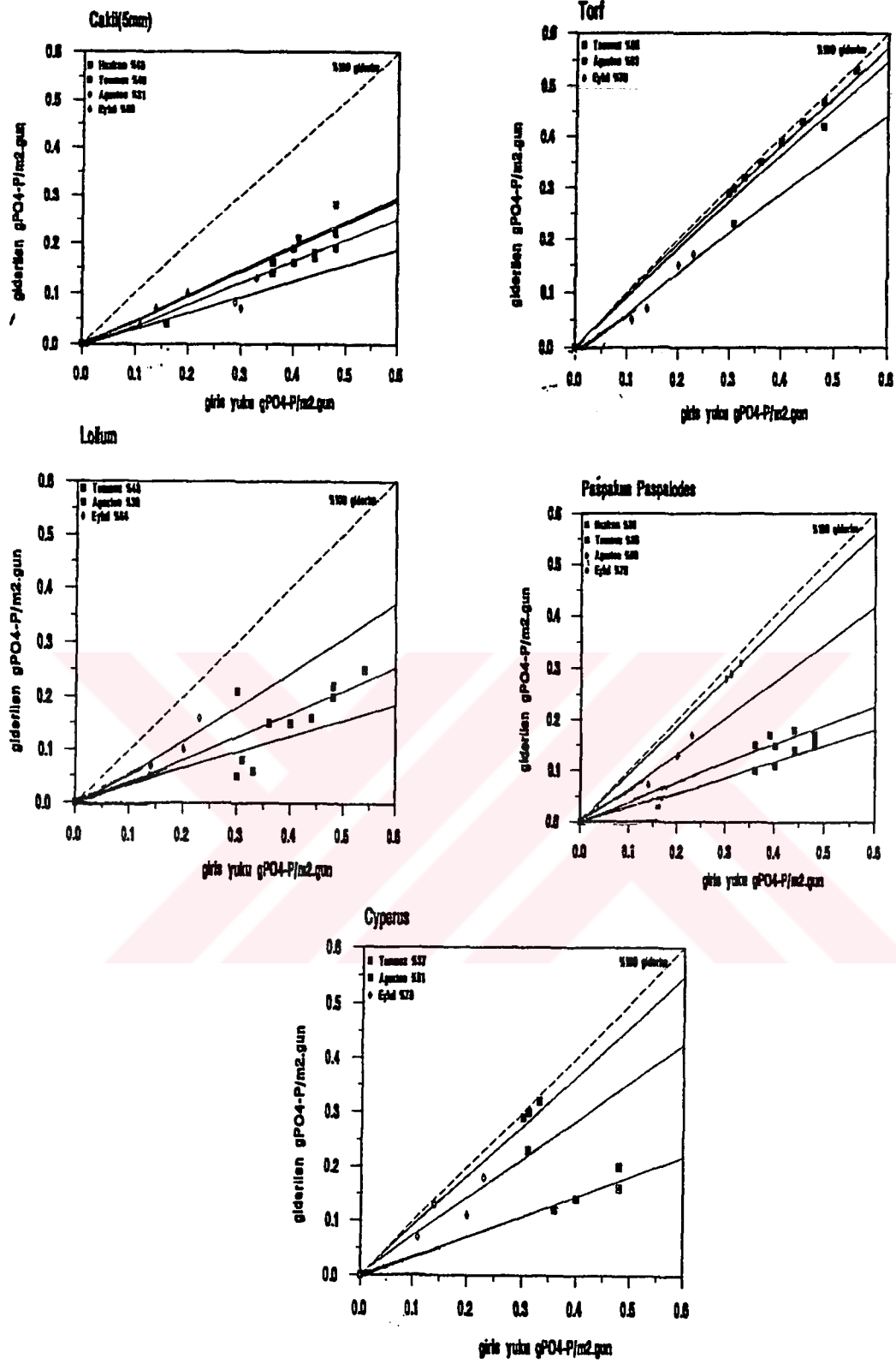
Şekil 22. Giriş PO₄-P Yüğü ile Giderilen PO₄-P (ortalama)



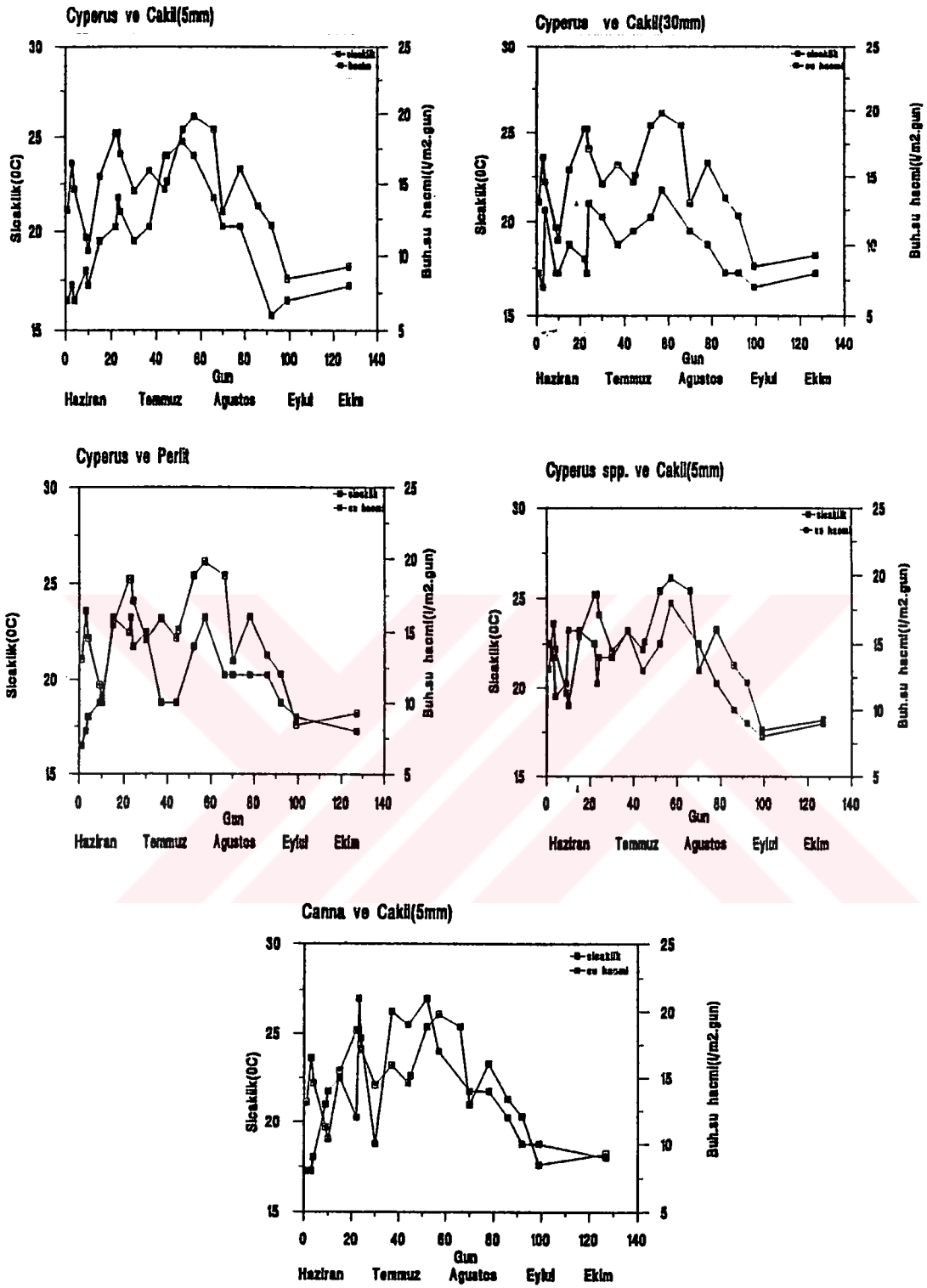
Şekil 22. Devamı



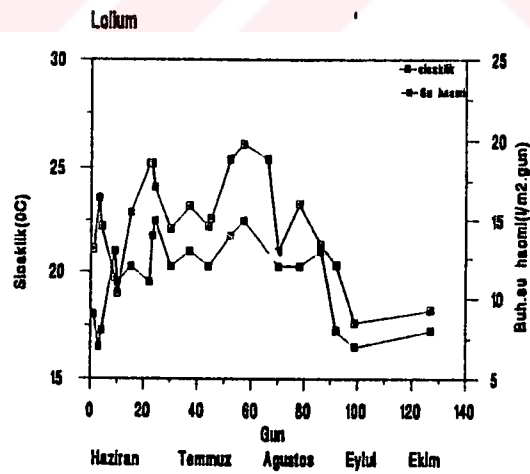
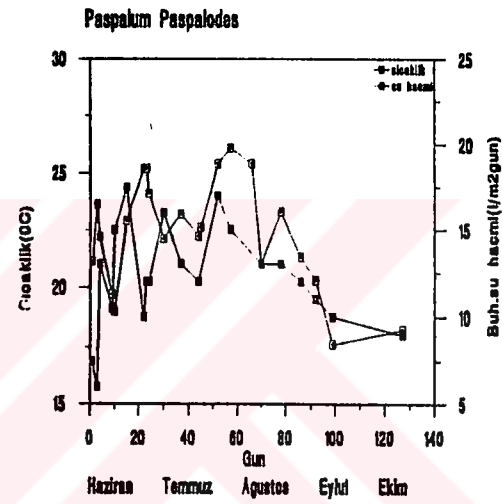
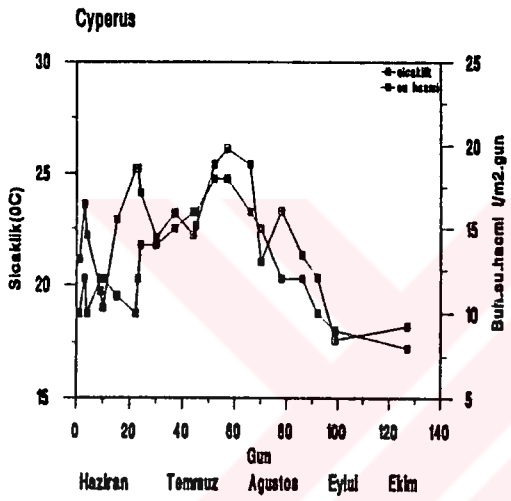
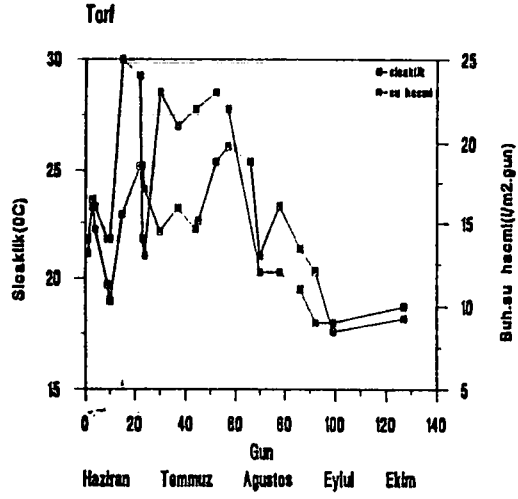
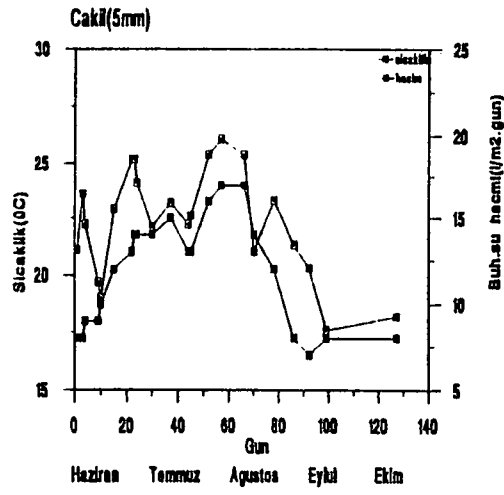
Şekil 23. Giriş PO_4-P Yüğü ile Giderilen PO_4-P (aylık)



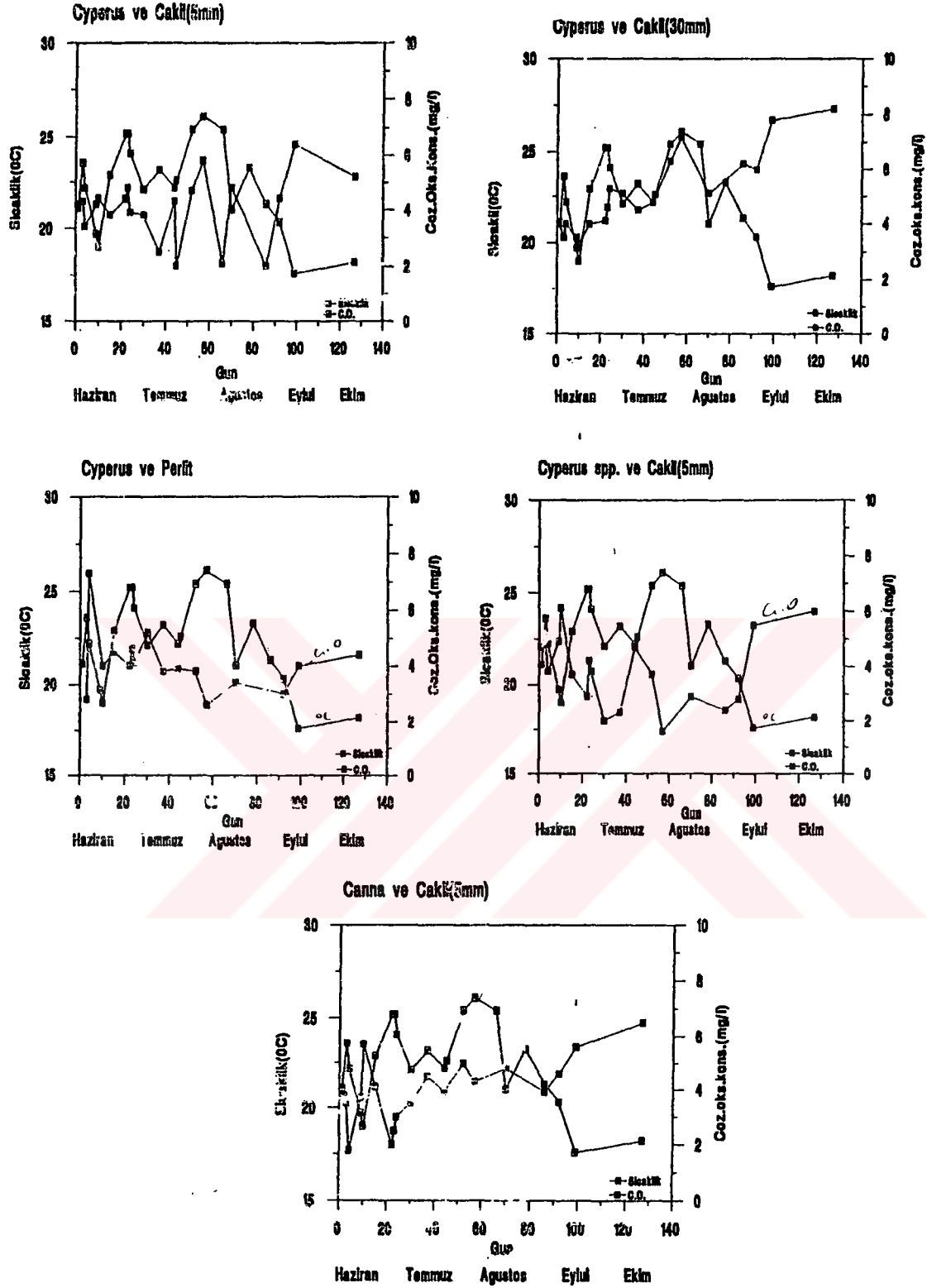
Şekil 23. Devamı



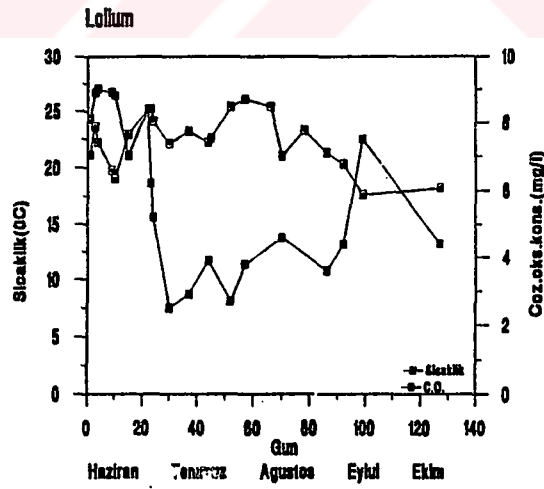
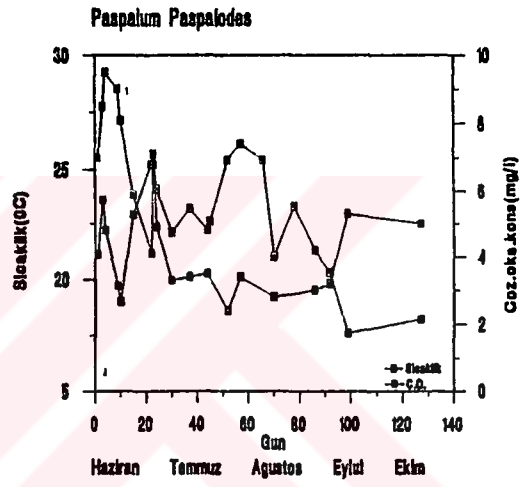
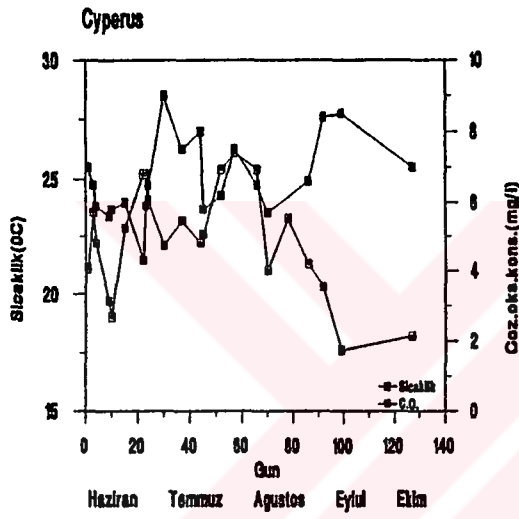
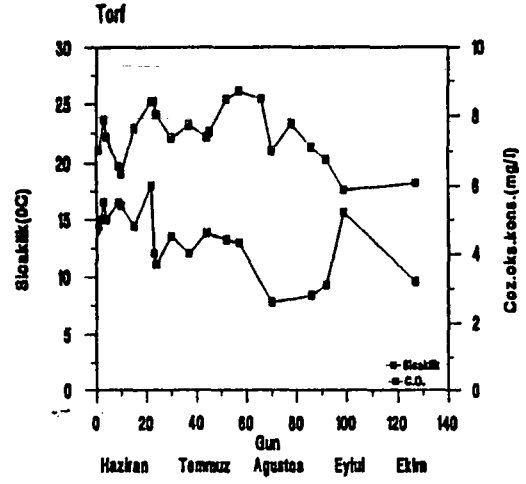
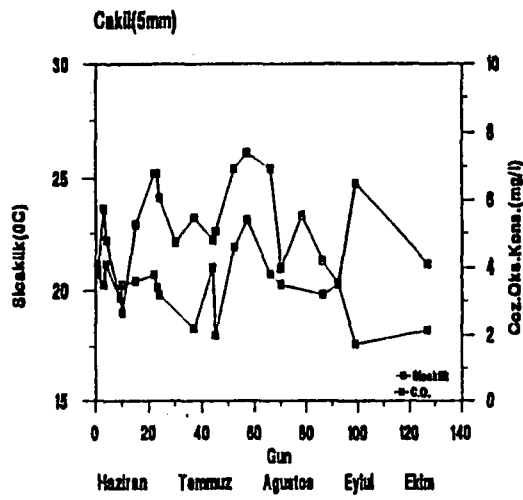
Şekil 24. Aylara Göre Sıcaklık ve Buharlaştırma



Şekil 24.Devamı



Şekil 25. Aylara Göre Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijen

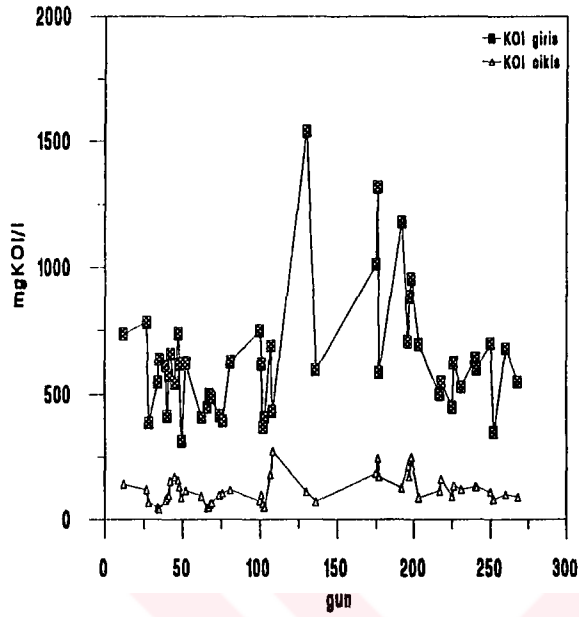


Şekil 25. Devamı

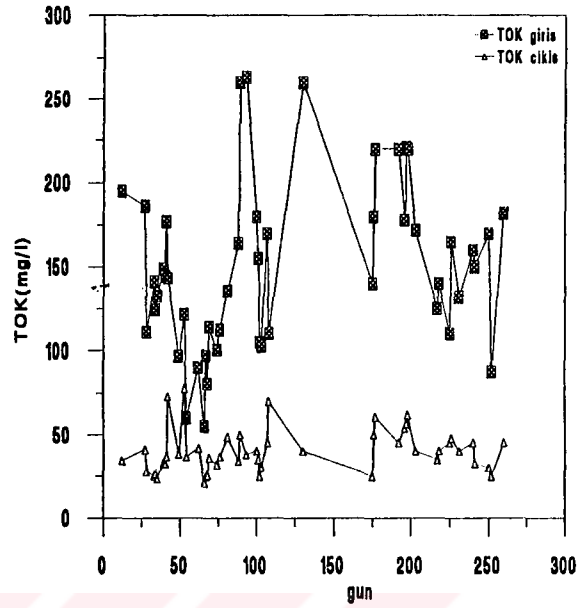
IV.4. Geri Devirli (Pilot Tesis Düzeyinde) Arıtma Sisteminde, Organik Karbon ,Azot ve Fosfor Giderimi(sürekli sistem 1996-1997)

Laboratuvar ölçekli ve kesikli olarak yapılan çalışmanın, sürekli çalışma şartlarındaki verimi, uygulama açısından önemlidir. Bu nedenle sistem pilot tesis ölçeğinde kurularak 10 ay boyunca incelenmiştir. Sisteme verilen atıksu plastik bir depoya doldurulup, homojen hale geldikten sonra giriş suyu örneği alınmış ve 24 saat sonra sistemden çıkan arıtılmış atıksuyun biriktiği tankdan alınan çıkış suyu örneğinde ilgili ölçüm ve analizler yapılmıştır. Bu inceleme ile ilgili ölçüm ve analiz sonuçları grafik haline getirilerek, Şekil 26-36 arasında verilmiştir.

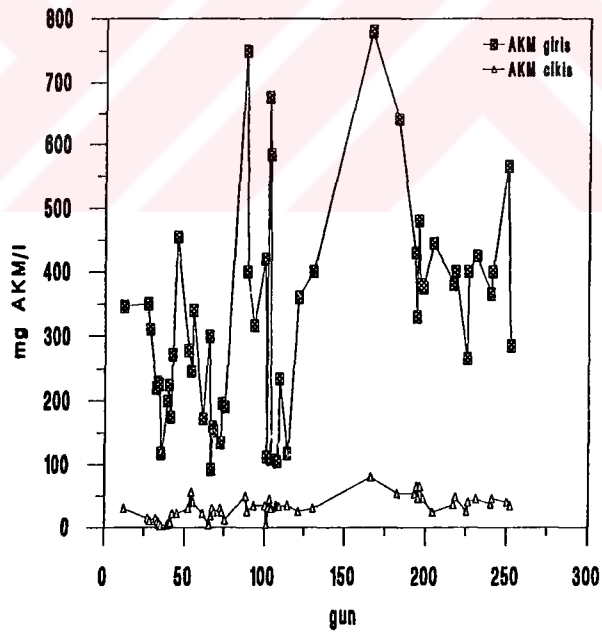
Şekil 26'da Haziran 1996-Şubat 1997 arasındaki KOİ, TOK ve AKM konsantrasyonları gösterilmiştir. Giriş KOİ konsantrasyonu 350-1500 mg/l arasında değişirken, çıkış KOİ konsantrasyonu ise 30-250mg/l aralığında tesbit edilmiştir. TOK konsantrasyonundaki değişimler incelendiğinde; giriş TOK konsantrasyonu 50-250 mg/l arasında iken, çıkış TOK konsantrasyonu 20-70 mg/l aralığında bulunmuştur. AKM giriş konsantrasyonu ise 120-750 mg/l iken, AKM çıkış konsantrasyonu 10-50 mg/l arasında değişmektedir. Bu grafiklerdeki, çıkış konsantrasyon değerlerindeki artma ve azalmaların giriş konsantrasyondaki değişmelere bağlı olduğu görülmektedir. Şekil 27' de yine aynı dönemlerdeki $\text{NH}_4\text{-N}$ ve $\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonları gösterilmiştir. Bu konsantrasyon değerlerinden aylar içerisinde artma ve azalmalar olduğu belirlenmiştir. Şekil 28'de aylara göre $\text{SO}_4\text{-S}$ ve Cl konsantrasyon değişimleri yer almaktadır. Ancak her iki grafikte de özellikle Cl konsantrasyonunda, giriş ve çıkış konsantrasyonları arasında büyük farklar gözlenmemiştir. Şekil 29'da, yukarıdaki aylar içerisindeki, bulanıklık ve AKM arasındaki ilişki gösterilmiş ve AKM konsantrasyonun büyüklüğü oranında, bulanıklığında arttığı tesbit edilmiştir.



Haziran Temmuz Ağustos Eylül Ekim Kasım Aralık Ocak Subat

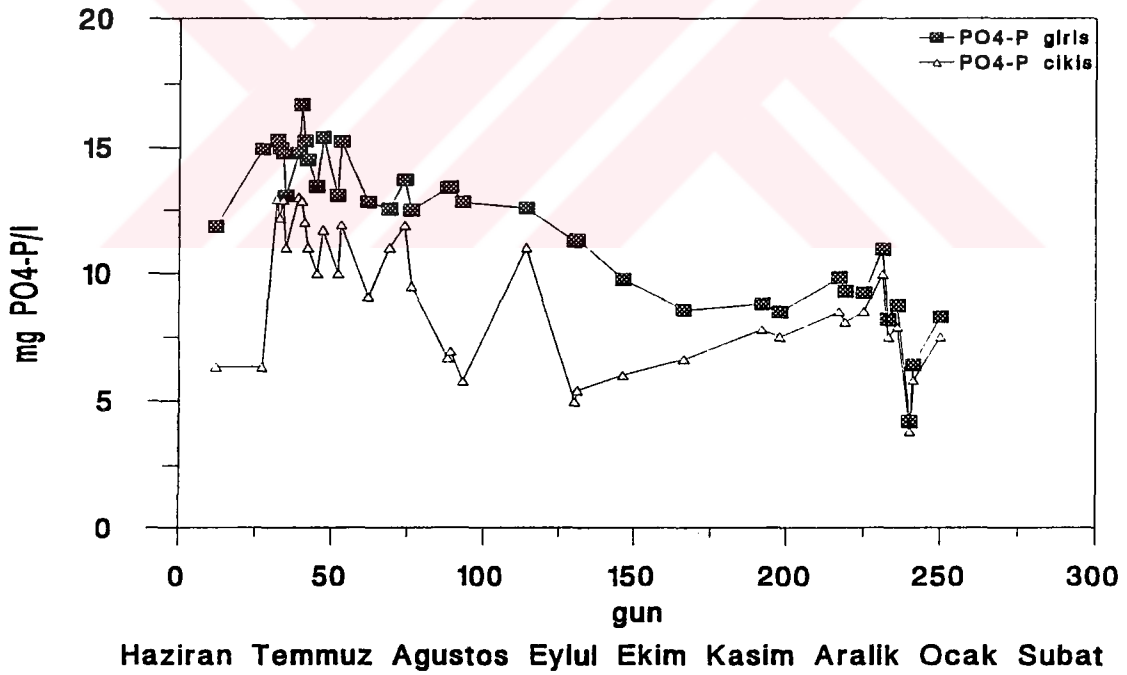
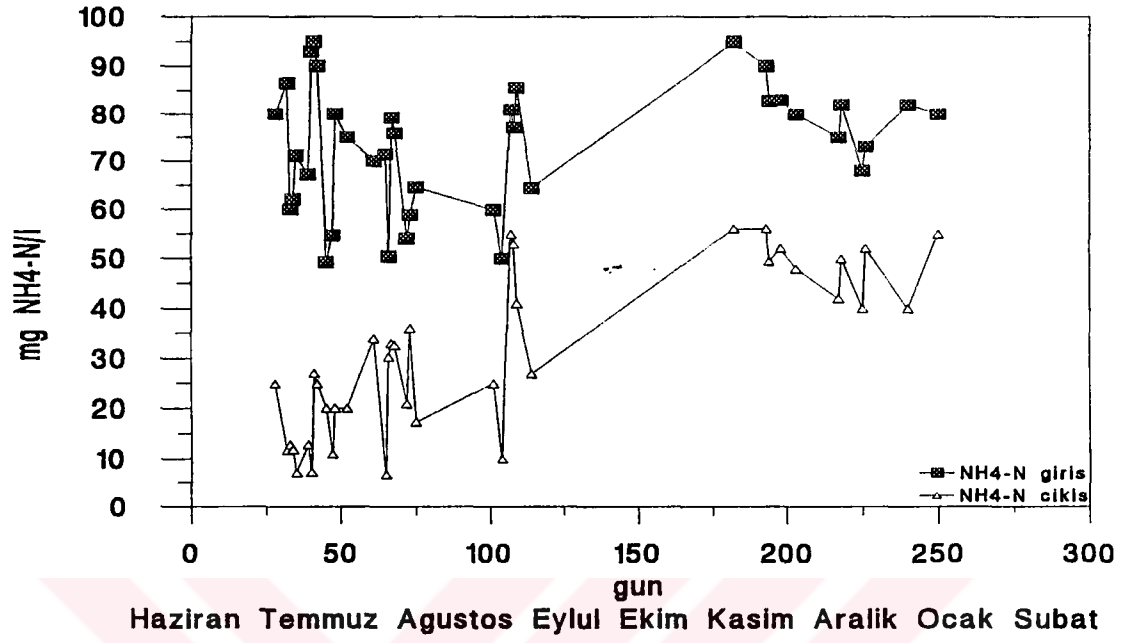


Haziran Temmuz Ağustos Eylül Ekim Kasım Aralık Ocak Subat

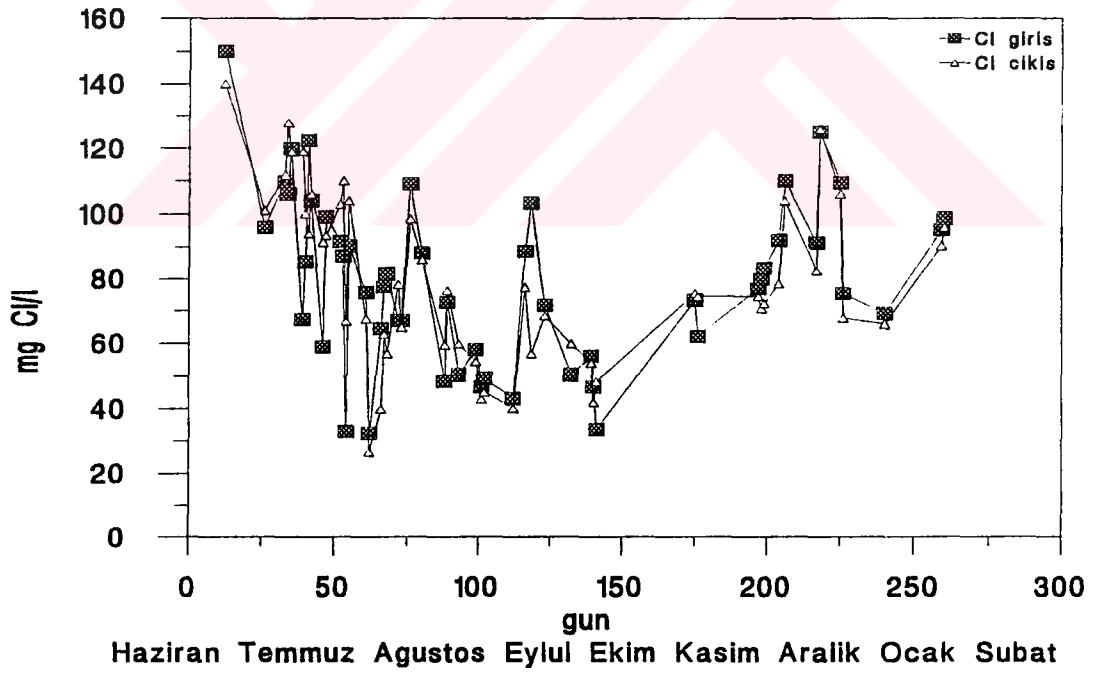
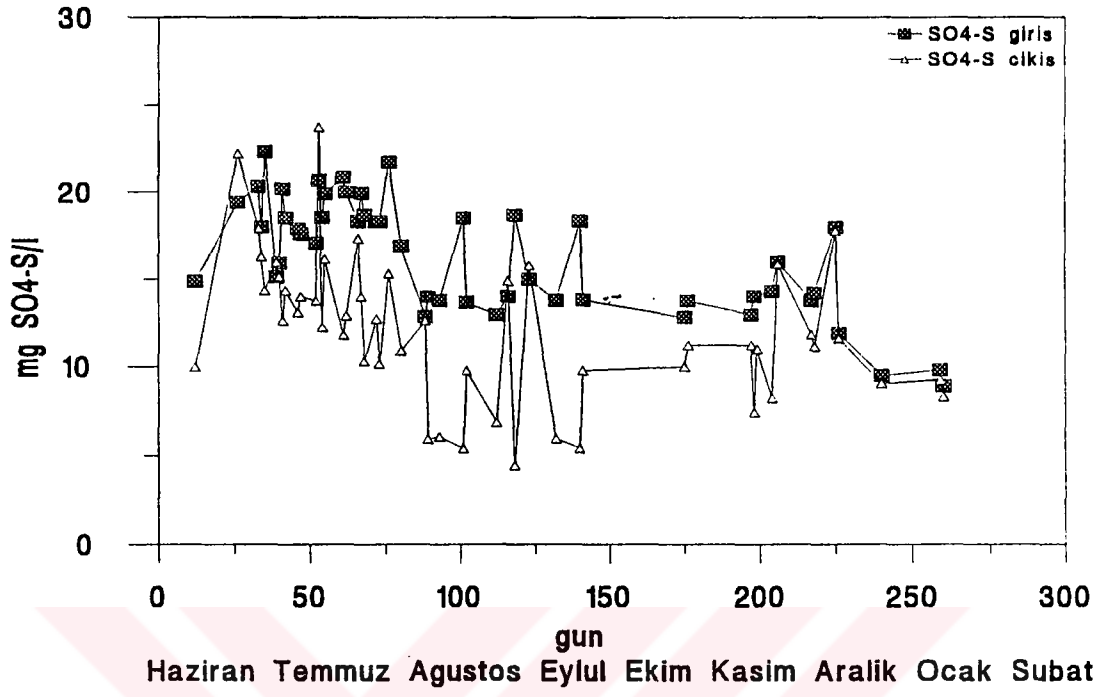


Haziran Temmuz Ağustos Eylül Ekim Kasım Aralık Ocak Subat

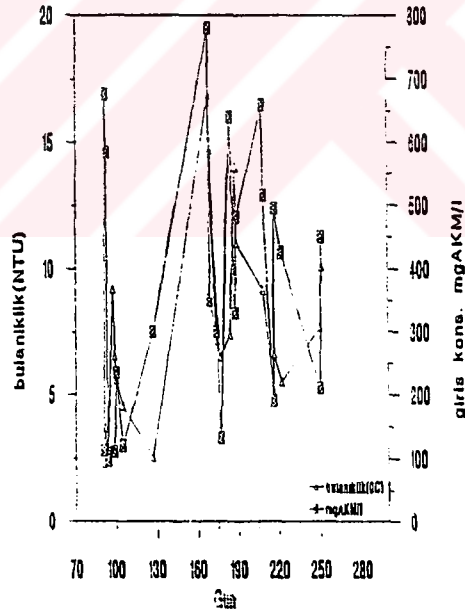
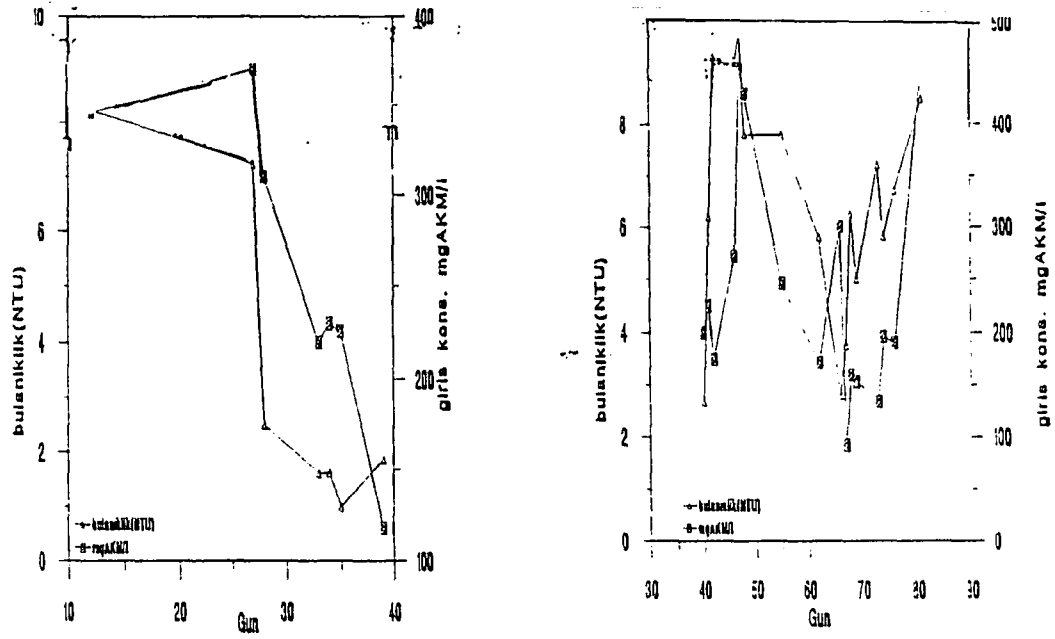
Şekil 26. Aylara Göre KOİ,TOK ve AKM konsantrasyonları



Şekil 27. Aylara Göre NH₄-N ve PO₄-P Konsantrasyonları



Şekil 28. Aylara Göre SO₄-S ve Cl Konsantrasyonları

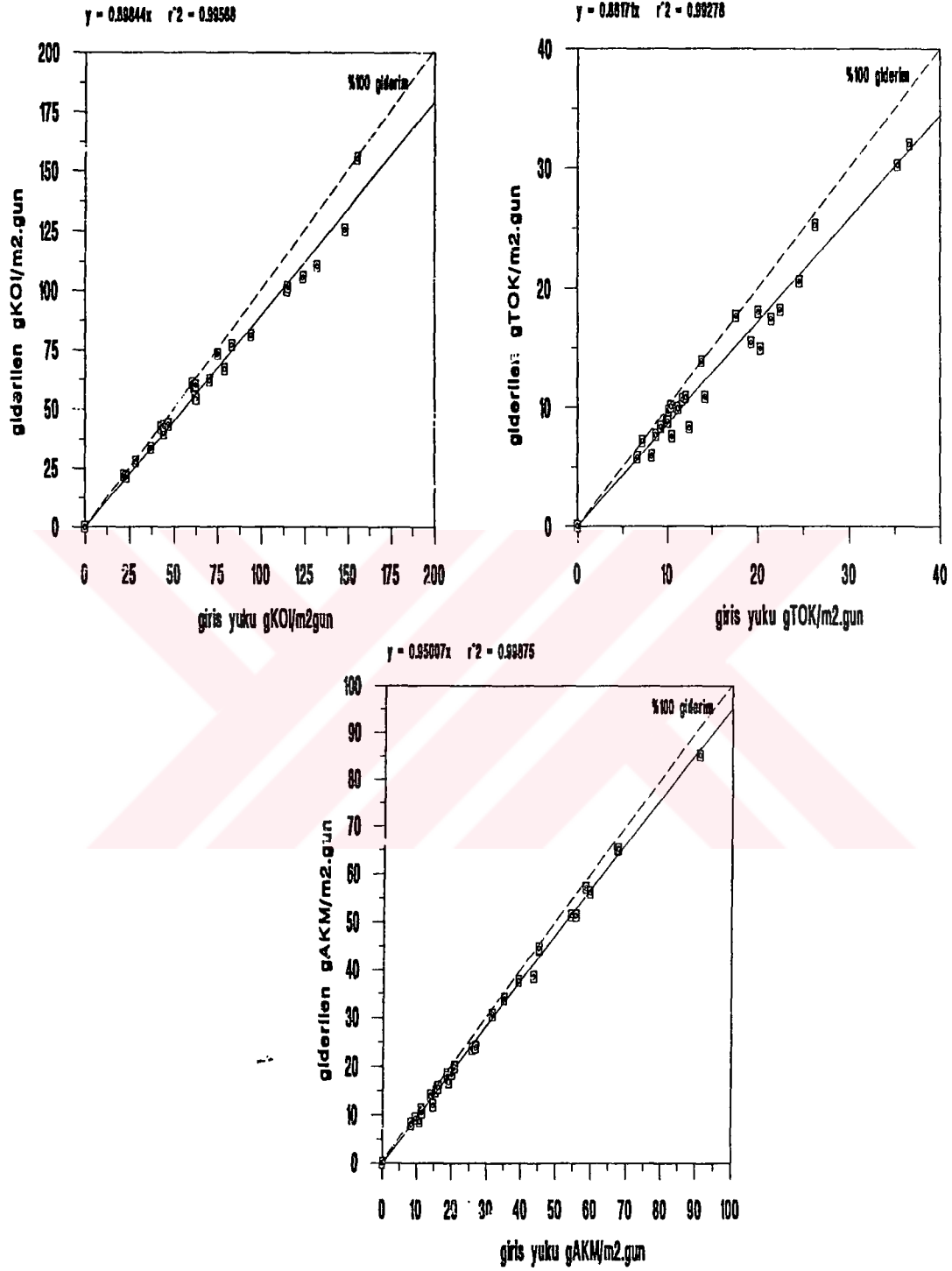


Şekil 29. Aylara Göre Bulanıklık ve AKM Çıkış Konsantrasyonları(Haziran 1996-Şubat 1997)

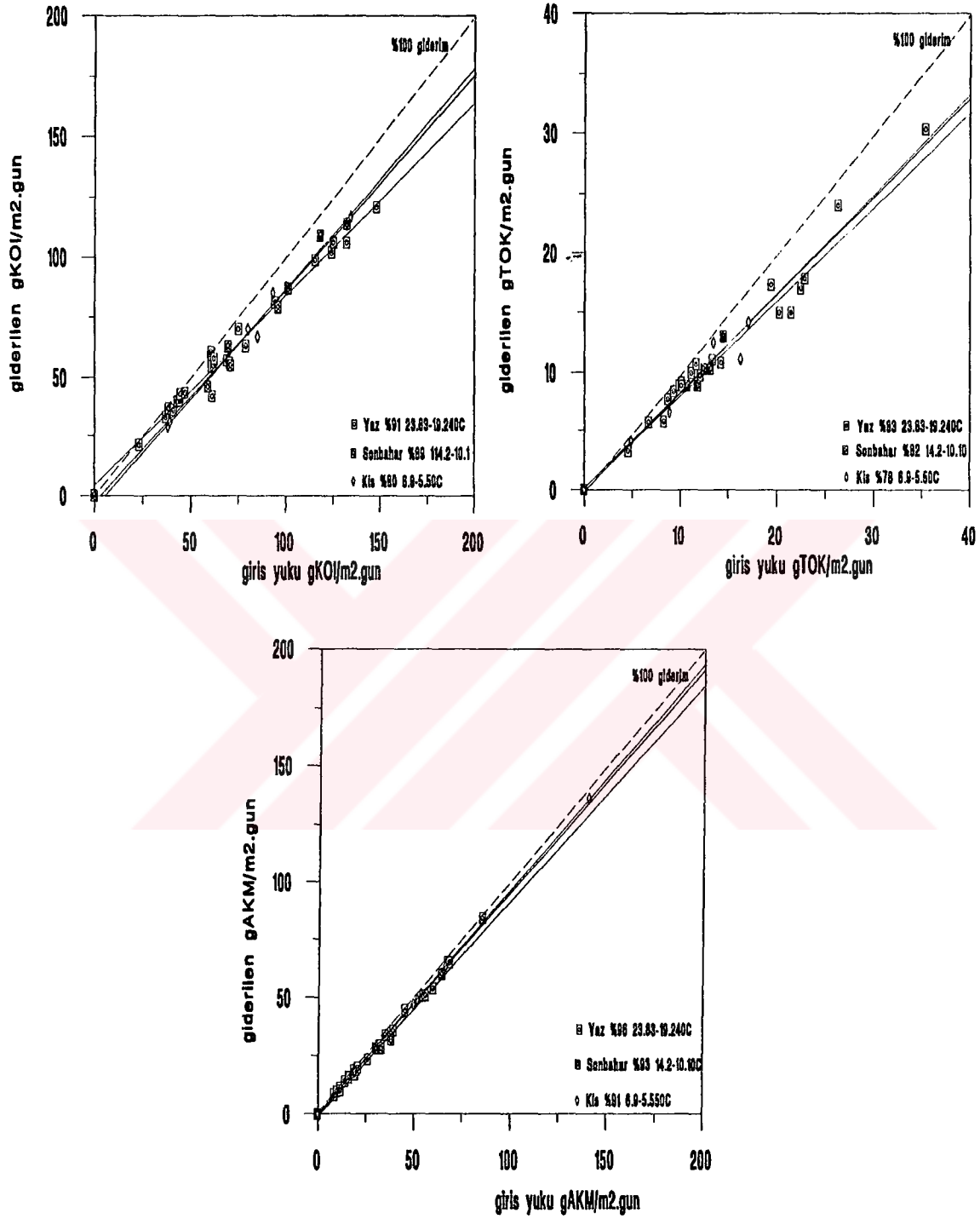
Giderimlerle ilgili grafikler Şekil 30 ile 31 arasında verilmiştir. Buna göre sisteme giren atıksuyun bir kısmı ideal bir geri devir yapamadığı ve kısa devre yaptığı, organik karbon yüklemesinin kesikli sisteme nazaran daha fazla olması, buna karşılık hidrolik bekletme süresinin daha az olması nedeniyle giderim verimleri, kesikli sisteme göre düşük olarak meydana gelmiştir.

Kesikli sistemdeki organik karbon giderimi KOİ olarak %95 iken bu değer sürekli sistemde %89 KOİ(25-125 g/m².gün) 'a düşmüştür. Organik karbon gideriminde diğer bir parametre olan TOK bazında ise bu değer %86-91 iken kesikli sistemde bu oran %86(5-30 g/m².gün) olarak tesbit edildi. Karbon giderimi, hem aerobik hemde aneorobik proseslerle karbonlu bileşiklerin tüketilmesi sonucunda gerçekleşmektedir. Atık ve çökeleklerin ayrışmasıyla da çözünebilir karbonlu bileşikler üretilir. Sonuçta en basit kütle dengesi modeli hem tüketimi ve hemde bu maddelerin tekrar üretimini içerir. Dolayısı ile bu yapay sulakalanlarda büyüme, ölüm ve kısmi ayrışmada Organik karbon giderimi bitki köklerinde ve dolgu malzemesinin yüzeyinde tutunmuş olarak bulunan mikroorganizmalar tarafından gerçekleşmektedir. AKM giderimi ise kesikli sistemde %97 iken, sürekli sistemde %95 (10-60 g/m².gün)tir.

Aylık verilerin grafik halinde gösterildiğinde, giderimlerin artmasında veya azalmasında sıcaklığın etkisi gözlemlendi. Organik karbon giderimi KOİ bazında ele alındığında, 23.83-19.14°C(yaz)'de %91, 14.2-10.10°C(sonbahar)'de %89 ve 6.9-5.5°C(kış) 'de %80 civarında elde edilmiştir. Aynı sıcaklıklar göz önüne alındığında, TOK bazında giderimlerde yaz ayında %83, sonbaharda %82 ve kış mevsiminde ise %78 lik giderimler göstermişlerdir. AKM gideriminde ise bu giderimlerde sıcaklıkla birlikte bir miktar değişimler görülmüştür. Bunlar sırası ile; aynı sıcaklıklarda yaz mevsiminde %96, Sonbaharda %93 kış ise %91 oranında gerçekleşmiştir.



Şekil 30. Giriş KOİ,TOK, ve AKM Yüğü ile Giderilen KOİ,TOK, ve AKM(ortalama)



Şekil 31. Giriş KOİ,TOK, ve AKM Yüğü ile Giderilen KOİ,TOK, ve AKM(aylık)

Pilot tesis çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre, sistem çıkışındaki KOİ konsantrasyonları ile giriş KOİ yükleri arasındaki ilişki Şekil 32'deki gibi elde edilmiştir. Çalışılan giriş KOİ yüküne bağlı olarak çıkış KOİ konsantrasyonu 50-160 mg/l arasında değişmektedir. Ülkemizde geçerli olan yönetmeliklerde öngörülen atıksu deşarj standartlarına göre (SKKY, 1988) , KOİ deşarj standardı 120 mg/l dir. Bu çıkış değerinin elde edilebilmesi için sisteme verilen KOİ yükünün 120 gKOİ/m².gün civarında olması gerekmektedir.

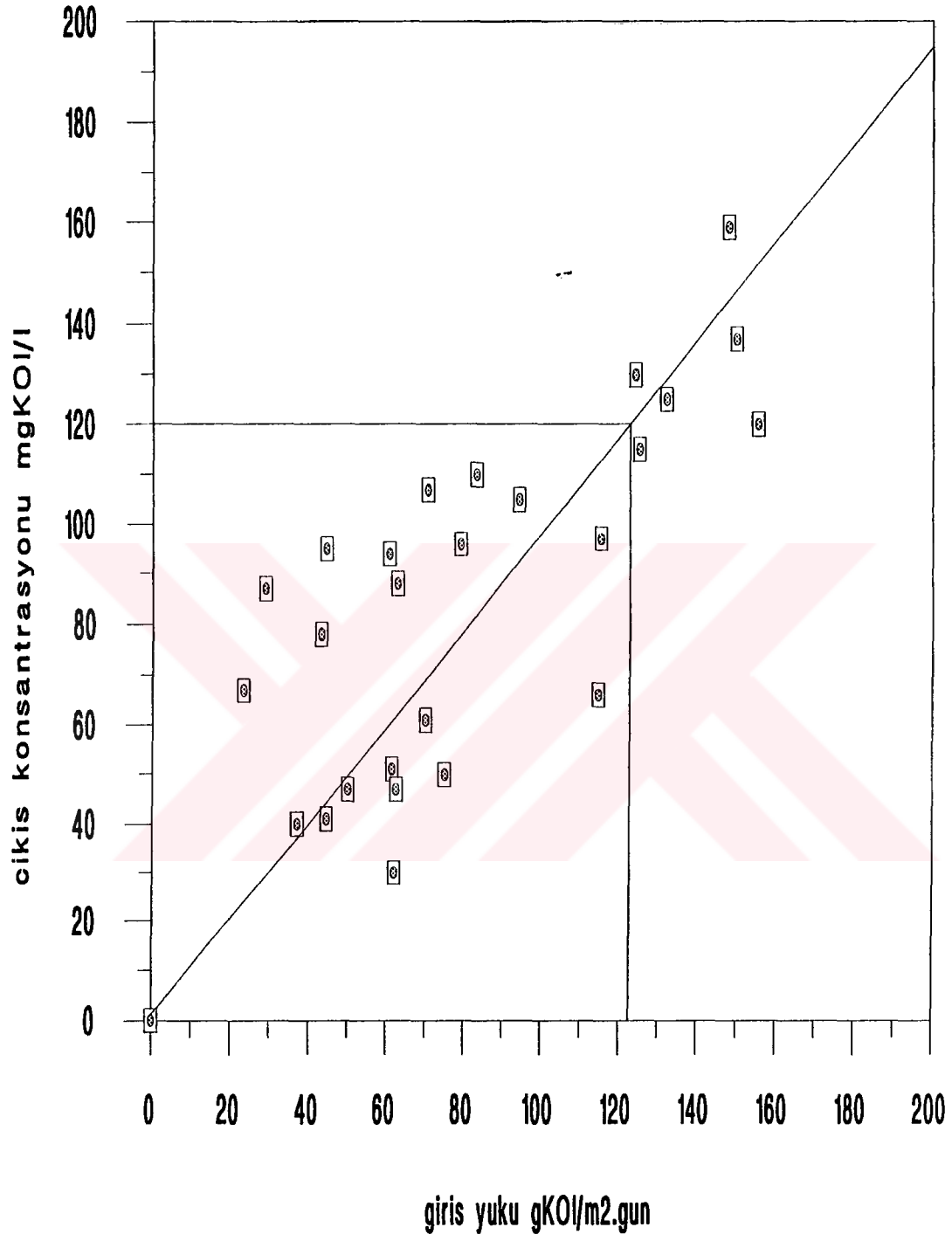
Kişi başına KOİ yükü, literatürde 70-220 g/kişi.gün olarak verilmektedir.

Ülkemiz şartlarında ortalama bir değer olarak 100 gKOİ/kişi.gün kabul edildiğinde; birim alan başına atıksuyu antabilecek nüfus:

$$122 \text{ gKOİ/m}^2.\text{gün}/100 \text{ gKOİ/kişi.gün} = 1.22 \text{ kişi/m}^2 \text{ olarak bulunmaktadır.}$$

Kişi başına gerekli alan ise 0.81 m² olarak bulunmaktadır.

Buradan şu sonucu çıkarmak mümkündür: Bu çalışmanın yapıldığı coğrafi ve iklimsel şartlar, atıksu özellikleri, arıtma bahçesi ve bitki özellikleri çerçevesinde, evsel atıksuyu, su kirliliği kontrol yönetmeliğinde istenen deşarj standardına göre arıtmak için, kişi başına 0.81 m² alan gereklidir. Bu çalışmada kullanılan sistemin her konut için ayrı ayrı yapıldığı düşünülürse, bir konutta ortalama olarak 5 kişinin yaşadığı kabulü ile, her bir konut için gerekli arıtma bahçesi alanı 4 m² olarak bulunmaktadır. Müstakil evlerden meydana gelmiş dağınık yerleşim alanlarında, her evin bahçesinde 4 m² alan ayrılarak, son derece ekonomik bir sistemde atıksu arıtma problemi çözülebilmektedir. Eğer kişi başına verilen organik yük 70 gKOİ/kişi.gün (minumum değer) kabul edilirse alan ihtiyacı 0.57m²/kişi, 220 gKOİ/kişi.gün (maksimum değer) kabul edildiğinde ise 1.81m²/kişi olmaktadır. Sulak alanlarda genelde literatürde kişi başına gerekli alan 2-10 m² olduğundan, bu çalışmada uygulanan geri devir sisteminin gerekli alanı ne kadar azalttığı görülmektedir.

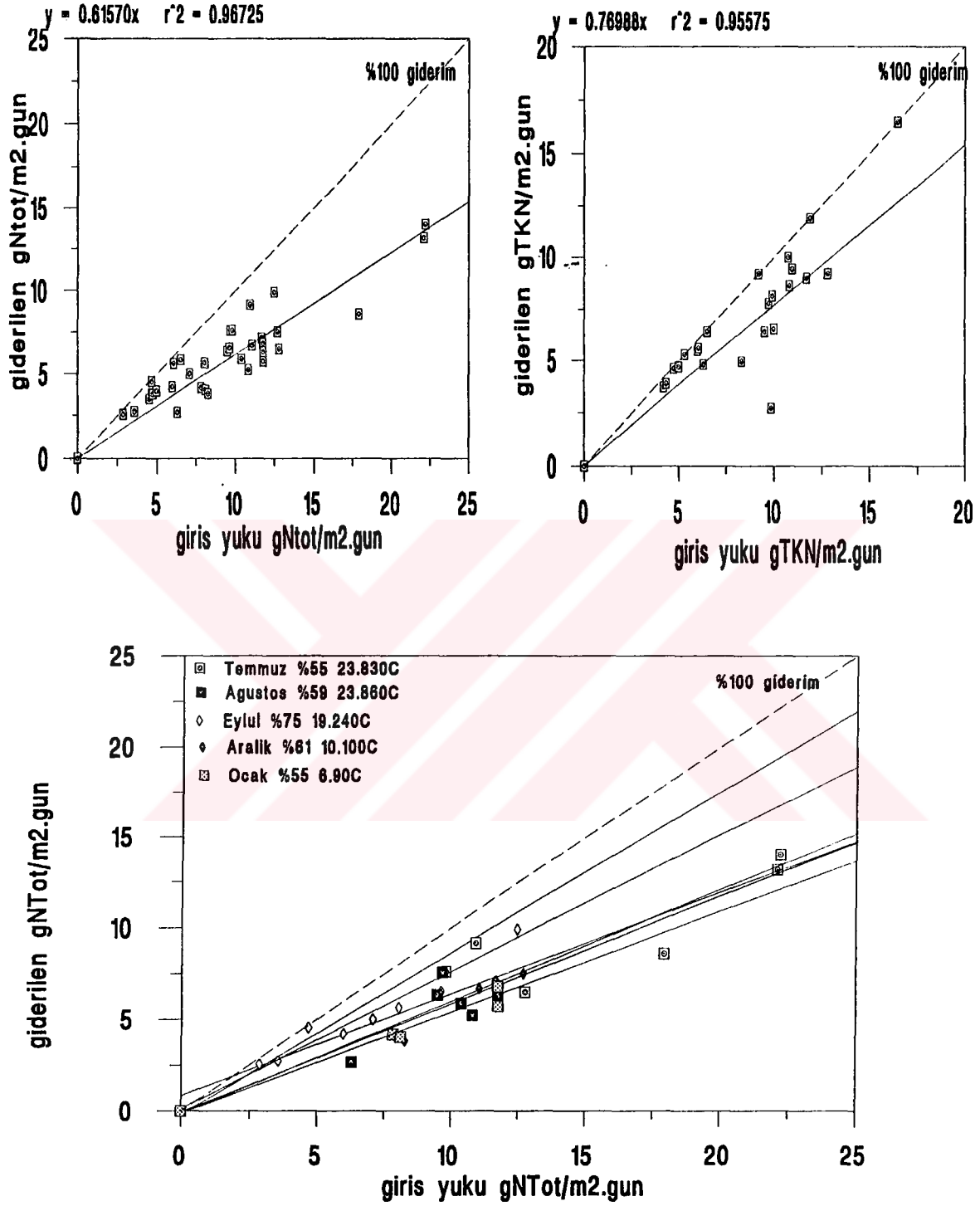


Şekil 32. Giriş KOİ Yüğü ile Çıkış KOİ konsantrasyonu

Şekil 33'de Giriş TKN ve toplam azot (ortalama-aylık) yüküne karşı giderilen TKN ve toplam azot(ortalama,aylık) ilişkisini göstermektedir. TKN'de ortalama giderim %77 (2.5-12.5g/m².gün) dir. Burada sürekli sistemdeki TKN gideriminin de yine kesikli sisteme göre düşük olduğu belirlenmiştir. Amonyum azotunun %77 giderim verimi, bitkilerin hücre oluşumlarında amonyak azotunu kullanmaları, absorblama, amonyak uçması ve dolgu malzemesinin yüzeyinde biyofilm oluşturan mikroorganizmaların ihtiyacı olan azotu kullanmaları neticesinde sağlanmaktadır. Toplam azot cinsinden ortalama verim %61 olup, farklı giriş yüklerine göre 2.5-10 g/m².gün aralığında top-N giderimi sağlanmıştır. Toplam azot giderimi aylara göre incelendiğinde, kesikli sistemde olduğu gibi Eylül ayının en yüksek giderimi (%75) sağladığı belirlenmiştir. Bu giderimler sırası ile Temmuzda %55, Ağustos'ta %59, Eylülde maksimum değere ulaşarak %75 , Aralık ayında %61 ve Ocakta %55 olarak tesbit edilmiştir. Literatür bilgilerinden nitrifikasyon prosesi için sıcaklığın büyük önemi olduğu bilinmekte ve ideal sıcaklığın 20°C olduğu ifade edilmektedir. Bu durumda bitkinin büyüme ve gelişme ayları olan Temmuz ve Ağustos aylarında özellikle sıcaklığın da uygun olduğu düşünülürse bu aylardaki toplam azot gideriminin normal olarak Eylül ayından düşük olması beklenmemektedir. Ancak, bitkiler Eylül ayında en gelişmiş durumda olmaktadır ve arıtma veriminin yüksek olmasının bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Atıksudan giderilen toplam azot miktarı 1050 g/m².yıl ' lık olarak hesaplanmıştır. Bu değer, bir yıllık giderilen toplam azot miktarlarının, aritmetik olarak toplanması ile elde edilmiştir. Arıtma bahçesi içerisinde yer alan Cyperus'tan sistemi temsil edecek şekilde bir adet seçilerek(Ekim ayında) kökü ile birlikte analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, bitki içerisindeki azot miktarı 40 g/kg olarak tesbit edilmiş ve aşağıdaki hesaplama ile 125g/m².yıl olarak azot miktarı tesbit edilmiştir.

$$g \text{ N/m}^2.\text{yıl} = \text{kök (gN/kg)} \times \text{kök biyoması(kg/m}^2.\text{yıl)} \times \text{kuru madde (\%)} + \text{gövde(gN/kg)} \times \text{gövde biyoması(kg/m}^2.\text{yıl)} \times \text{kuru madde(\%)}$$

Bu durumda 1050-125 = 925 g/m².yıl'lık fark bize denitrifikasyonla giderilen azot miktarını vermektedir. Bir oranlama yapılırsa, çalışılan sistemde azot gideriminin, %12 oranında bitki bünyesine alınma, %88 oranında denitrifikasyon yoluyla gerçekleştiği, sonuç olarak azot gideriminin büyük oranda denitrifikasyonla gerçekleştiği belirlenmiştir.

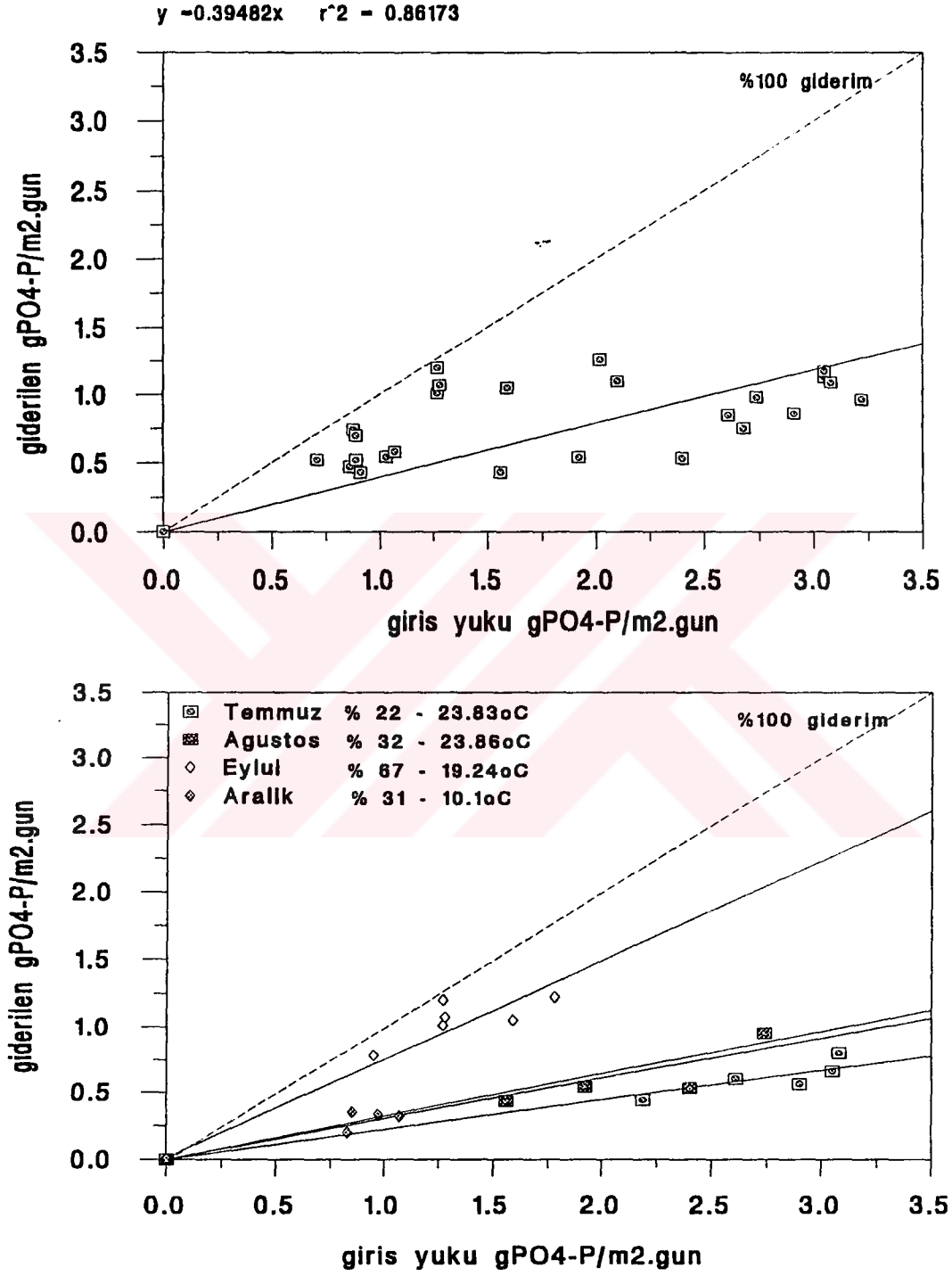


Şekil 33. Giriş TKN, top-N(ort. ve aylık) Yüğü ile Giderilen TKN, top-N(ort.ve aylık)

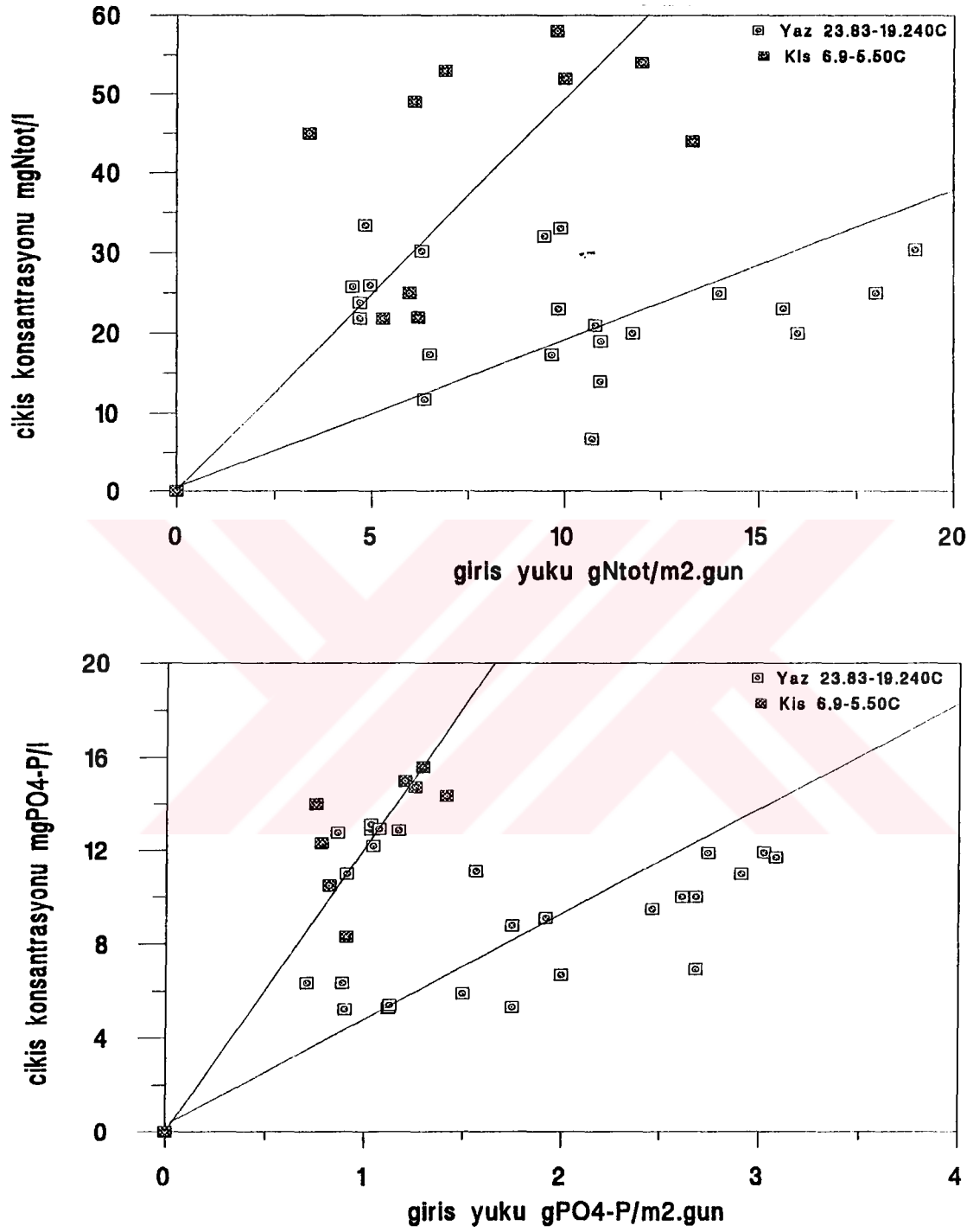
Şekil 34'de, ortalama-aylık, giriş PO_4-P yüküne karşı giderilen PO_4-P (ortalama-aylık) ilişkisi gösterilmiştir. PO_4-P gideriminde ortalama giderim %39 (0.25-1.25 g/m².gün) dür. Atıksudan giderilen PO_4-P 75g/m².yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değer bir yıllık giderilen PO_4-P analiz sonuçlarının toplanması ile elde edilmiştir. Bitki analizlerinden bitkinin aldığı fosfor miktarı ise 4.24 g/kg olarak bulunmuş ve aşağıdaki hesaplama ile 13g/m².yıl PO_4-P olarak belirlenmiştir.

$$g \text{ P/m}^2.\text{yıl} = \text{kök} (g, P/kg) \times \text{kök biyoması} (kg/m^2.\text{yıl}) \times \text{kuru madde}(\%) + \text{gövde} \\ (g, P/kg) \times \text{gövde biyoması} (kg/m^2.\text{yıl}) \times \text{kuru madde}(\%)$$

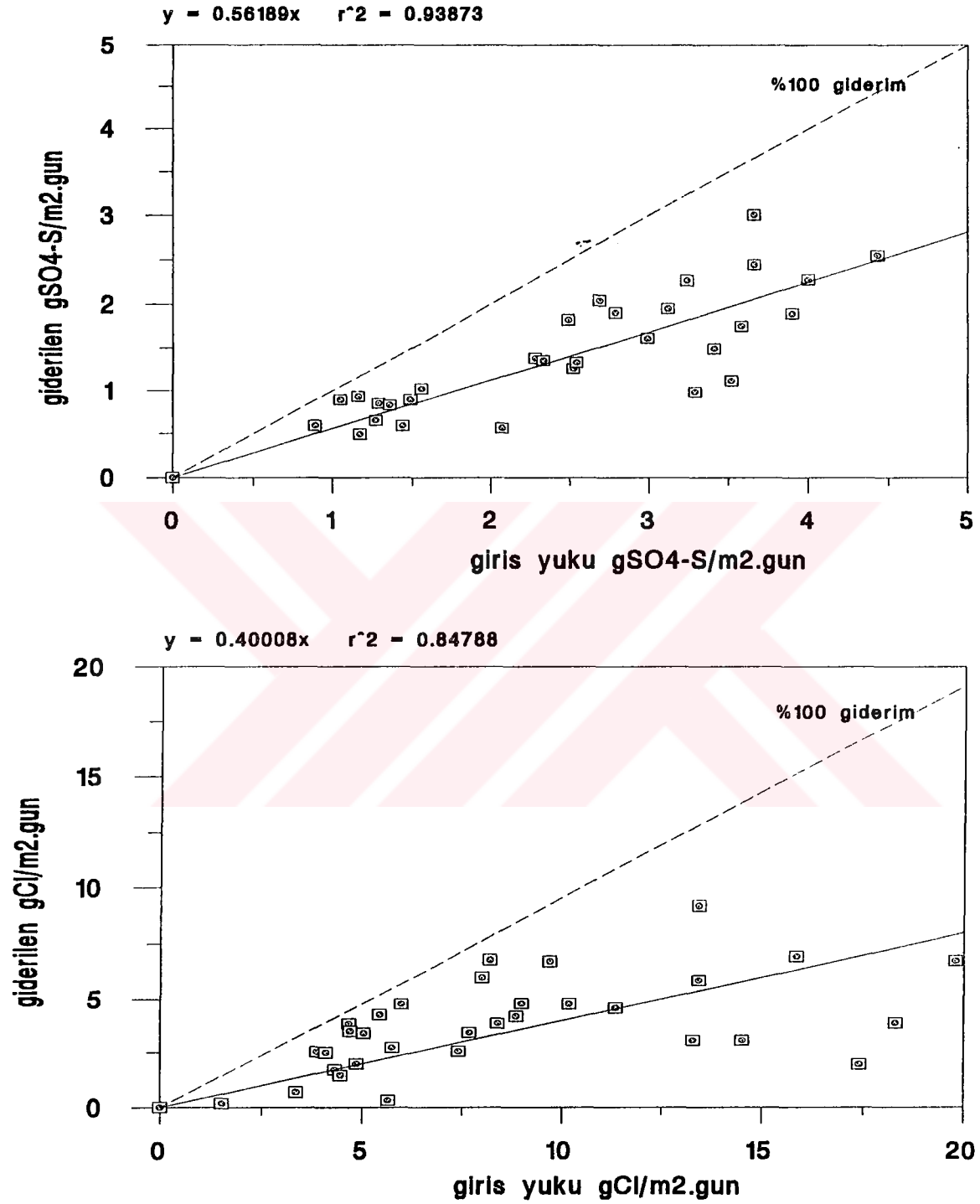
Aradaki 62 g/m².yıl'lık fark çakılla giderilen fosfor miktarını vermektedir. Bu durum, fosforun dolgu malzemesine, fiziksel bir tutunma ile adsorplandığı ve giderimin bu şekilde meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca dolgu malzemesinin yüzeyinde biyofilm oluşturan ve çok yüksek oranda büyüyen ve gelişen mikroorganizmalarda (bakteri, fungi, alg) ihtiyaçları olan fosforu hızlı bir şekilde atıksudan alarak fosfat giderimine katkıda bulunmaktadır. Aylara göre incelendiğinde, Temmuz ayında %22 ile başlayıp, Ağustos'ta %32, Eylül'de yine bitkilerin kök gelişmişliğinin en yüksek olması dolayısıyla maksimum değerine çıkarak %67, Aralık'ta ise %31 giderim sağlanmıştır. Şekil 35'de, giriş top-N ve PO_4-P yüküne karşı çıkış top-N ve PO_4-P konsantrasyonu arasındaki ilişki gösterildi. Toplam azot gideriminde farklı yüklemelere (3-20 g/m².gün) karşı çıkış konsantrasyonu (5-60mg/l) değişmektedir. Toplam azot gideriminde sıcaklık farkı bariz bir şekilde görülmektedir. Yaz mevsimini temsil eden ve ortalama sıcaklığı 23.83-19.24 °C olan dönemde, toplam azot çıkış konsantrasyonu 5-35 mg/l arasında değişmektedir. Ortalama sıcaklığın 6.9-5.5°C arasında değiştiği kış döneminde ise çıkış konsantrasyonu 20-60 mg/l arasında değişmektedir. PO_4-P 'de yine değişik yüklemelere (0.5-3.4 g/m².gün) karşı çıkış konsantrasyonu (4.5-16 mg/l) arasında değişmektedir. Azotta olduğu gibi, mevsim şartlarına göre iki ayrı doğru elde edilmiştir. 23.83°C-19.24° de bu değer 5-13 mg/l arasında iken, 6.9-5.5°C'de ise 8-16mg/l arasında değişmektedir. Şekil 36'da, SO_4-S giderimi %56 (0.5-2.5 g/m².gün) ve Cl giderimi %40, (0.01-6 g/m².gün) olarak tesbit edilmiştir.



Şekil 34. Giriş PO₄-P (ort ve aylık) Yüğü ile Giderilen PO₄-P (ort ve aylık)



Şekil 35. Giriş top-N ve PO₄-P Yüğü ile Çıkış top-N ve PO₄-P Konsantrasyonu



Şekil 36. Giriş $\text{SO}_4\text{-S}$ ve Cl Yüğü ile Giderilen $\text{SO}_4\text{-S}$ ve Cl

IV. 5. Geri Devirli (Pilot Tesis Düzeyindeki) Arıtma Sisteminde Organik Karbon, Azot ve Fosfor Gideriminin Müstakil Bir Evde Uygulanması (sürekli sistem 1997)

Sürekli şartlarda sistemin verimli bir şekilde çalıştığı belirli bir süre izlendikten sonra bu sistemin hakiki şartlarda nasıl çalışacağı , ani, yüklemelere karşı göstereceği tepki ve sistemin performansının incelenmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Bu arıtma tesisi iki kişilik bir ailenin bahçesine, Şubat 1997’de, kurularak, sistemin dengeye gelmesi, taşma , tıkanma gibi problemlerin olup olmayacağı gözlemlendikten sonra deneysel çalışmalara başlandı. Sistemle ilgili incelemeler halen devam etmektedir. Bu datalarla ilgili bulgular Tablo 25’ de verilmiştir. Buna göre KOİ ve AKM konsantrasyonları atıksu deşarj standartlarına uygundur. Su debisinin kontrol edilmediği bu ortamda incelenen süre içerisinde, sistemde herhangi bir taşma , tıkanma , koku, vs. meydana gelmemiştir.

Tablo 25. Arıtılmış Atıksu Özellikleri

Tarih-Parametre	KOI mg/l	TOK mg/l	AKM mg/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	PO ₄ -P mg/l	Bul. NTU	Ç.O. mg/l	pH
3.4.97	150	-	30	45	0.2	3.9	4.2	8.5	7.2
7.4.97	45	18	30	58	0.36	6.3	2.5	8.2	7.15
10.4.97	45	20	35	60	0.52	5.48	3.15	8.1	7.40
11.4.97	40	18	45	75	0.27	7.76	2.89	8.3	7.18
15.4.97	70	25	50	72	0.28	7.87	3.15	8.2	7.6
6.5.97	80	23	20	45	8.7	13.8	2.74	7.9	7.41
9.5.97	90	25	15	34	11.8	11.8	2.98	6.7	7.08
28.5.97	70	20	10	36	6.6	15.2	3.20	7.7	7.51
30.5.97	40	22	5	33	11.2	13.4	0.8	7.8	7.30
4.6.97	45	20	10	35	10.6	12.5	1.2	7.5	7.5

IV.6. Bitkinin Hasad Edilmesi, Çoğalması ve Elde Edilen Bulgular

Bitki hasadı ile ilgili değerler Tablo 26-27'de verilmiştir. Tablo 26' da deneysel olarak saptanan % kuru madde ve biyomas miktarları dikkate alınarak incelenen süre içerisindeki her bir bitkinin kuru madde miktarları $\text{kg/m}^2\cdot\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru madde (kg/m}^2\cdot\text{yıl)} = \text{kök biyoması (kg/m}^2\cdot\text{yıl)} \times \% \text{ kuru madde} + \text{gövde biyoması (kg/m}^2\cdot\text{yıl)} \times \% \text{ kuru madde}$$

Kuru madde miktarını büyükten küçüğe doğru Paspalum Paspalodes($9.28 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$), Cyperus($6.15 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$), Canna($4 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$), Lolium ($2.35 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$) ve Cyperus spp.($1.80 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$) olarak, sıralanmaktadır. Paspalum Paspalodes ile ilgili çalışmada Saygın Ö., diğerleri yıllık kuru madde miktarını $7.80 \text{ kg /m}^2 \cdot \text{yıl}$ olarak tesbit etmişlerdir. Yine bu tablodaki deneysel olarak saptanan % kuru madde, biyomas ve % kül, dikkate alınarak incelenen süre içerisindeki her bir bitkinin bünyesine aldığı inorganik madde miktarı $\text{kg/m}^2\cdot\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

$$\text{inorganik madde(kg/m}^2\cdot\text{yıl)} = \text{kök biyoması(kg/m}^2\cdot\text{yıl)} \times \% \text{ kuru madde} \times \% \text{ kül} + \text{gövde biyoması (kg/m}^2\cdot\text{yıl)} \times \% \text{ kuru madde} \times \% \text{ kül}$$

Inorganik madde miktarının büyükten küçüğe doğru Paspalum Paspalodes($0.63 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$), Canna($0.48 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$), Cyperus($0.38 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$) , Lolium($0.16 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$) ve Cyperus spp.($0.12 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$) olarak sıralanmaktadır. Toplam biyomas açısından bir sıralama yapıldığında, yukarıdaki sıralamalarda olduğu gibi yine Paspalum Paspalodes ilk sırayı almış olup bu değer $43 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıldır}$. Canna $35 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$ ile bunu takip ederken, Cyperus $31 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$, Lolium $15 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$ olup en son sırada ise Cyperus spp. $11 \text{ kg/m}^2\cdot\text{yıl}$ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 26. Bitkilerin Kuru Madde, İnorganik Madde, Kül ve Toplam Biyokütle İçeriği(1996)

Bitkiler	% Kuru M.	Kuru M.% Kül oranı	T.Biyomas kg/m ² .yıl	Kuru M. kg/m ² .yıl	İnorg.M kg/m ² .yıl
Canna					
kök	14	15	13 35	4.01	0.48
gövde	10	10	22		
Cyperus					
kök	25	10	15 31	6.15	0.38
gövde	15	3	16		
Pasp. P.					
kök	24	8	30 43	9.28	0.63
gövde	16	4	13		
Lolium					
kök	20	8	11 15	2.35	0.16
gövde	5	2	3		
Cyperus					
spp. kök	20	8	7 11	1.80	0.12
gövde	10	5	4		

Tablo 27' de sistemin incelendiği süre içerisinde bitkilerin özümlediği veya atıksudan giderdiği N,P değerleri yer almaktadır. 1m² deki N, P değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$g \text{ N,P/m}^2.\text{yıl} = \text{kök (gN,P/kg)} \times \text{kök biyoması(kg/m}^2.\text{yıl)} \times \text{kuru madde(\%)} + \text{gövde (gN,P/kg)} \times \text{gövde biyoması(kg/m}^2.\text{yıl)} \times \text{kuru madde(\%)}$$

Bitkilerin atıksudan giderdiği N,P yi sıraladığımızda g/m².yıl olarak yine Paspalum Paspalodes(192N-21.41P) ilk sıralarda yer alıp , bunu Cyperus (125N-13.02P), Canna (60.22N-6.94P), Lolium(30.78N-5.05P), Cyperus spp.(27.53N-2.34P) takip etmişlerdir. Paspalum Paspalodes ile ilgili çalışmada Saygın Ö., ve diğerleri yıllık N giderimini 113.2

g/m^2 , P giderimini ise 28.6 g/m^2 olarak tesbit edilmiştir. Tablo 27' deki değerler incelendiğinde Paspalum Paspalodes, Lolium, ve Cyperus spp.'de azot ve fosforun bitkinin kök kısmında yoğun olarak biriktiği görülmektedir.

Tablo 27. Bitkilerdeki Azot ve Fosfor Miktarları

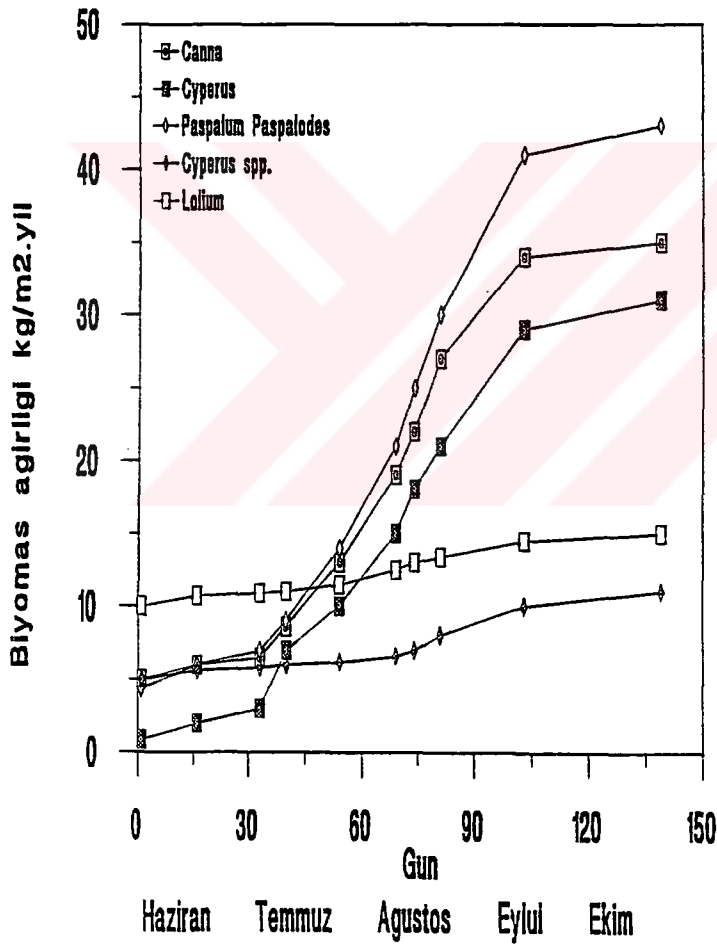
Bitkiler	N (g/kg)	N(g/m^2 .yıl)	P(g/kg)	P(g/m^2 .yıl)
Canna (6 adet/m^2)				
kök	14.1	25.7	1.89	3.44
gövde	15.7	34.5	1.59	3.46
Toplam	30	60.22	3.48	6.94
Cyperus (10 adet/m^2)				
kök	20.5	77	2.10	7.88
gövde	19.9	48	2.14	5.14
Toplam	40	125	4.24	13.02
Paspalum Paspalodes				
kök	20.46	147.3	2.29	16.48
gövde	21.40	44.5	2.37	4.92
Toplam	41.86	192	4.66	21.41
Lolium				
kök	12.40	27.28	2.12	4.66
gövde	23.30	3.5	2.40	0.39
Toplam	35.7	30.78	4.52	5.05
Cyperus spp (10 adet/m^2)				
kök	16.72	23.4	1.4	1.96
gövde	10.32	4.12	0.96	0.38
Toplam	27	27.53	2.36	2.34

Tablo 28' de bitkilerde bulunan ve tesbit edilen bazı elementlerin miktarları verilmiştir. Bu elementlerden Ca, Mg, Na, K'un bütün bitkilerde benzer olduğu , Paspalum Paspalodes ve Lolium'un hemen hemen aynı oranda Fe aldığı görülmektedir. Ayrıca Paspalum Paspalodes'in giderdiği Cu,Zn, ve Co miktarları diğer bitkilerin yaklaşık 2-5 katıdır.

Tablo 28. Bitkilerdeki Bazı Elementlerin Miktarları

Bitkiler	Ca g/kg	Mg g/kg	Na g/kg	K g/kg	Fe g/kg	Si g/kg	Cu g/kg	Zn g/kg	Co g/kg
Canna									
kök	17.5	3.06	9.5	8.35	6.13	<.013	0.03	0.23	.0045
gövde	5.94	2.25	15.5	19.4	0.89	<.013	0.01	0.14	.0025
Cyperus									
Kök	13.7	1.91	9	20.8	2.82	<.013	0.015	0.17	.0017
Gövde	17.8	1.72	1.48	21.71	0.445	<.013	0.0035	0.076	.0025
Paspalum									
Kök	15.9	6.4	4.62	4.75	10.6	<.013	0.046	0.68	.0085
gövde	5	2.2	4	19.3	0.84	<.013	0.004	0.12	.0025
Lolium									
Kök	9.4	21.7	5.12	7	10.7	<.013	0.017	0.21	.005
Gövde	12.8	1.3	29.8	26.12	4.6	<.013	0.122	0.15	.003
Cyp. spp.									
Kök	12.5	0.9	4.45	4.01	4.64	<.013	0.008	0.09	.0035
gövde	71.8	1.62	12.74	9.0	0.63	<.013	0.003	0.08	.0025

Bitki büyümesinin $\text{kg/m}^2.\text{yıl}$ olarak aylara göre değişimi Şekil 37'de verilmiştir. Bitki Haziran ayında filizlenme dönemindeyken , Temmuz, Ağustos aylarında maksimum büyüme ve gelişme periyoduna girmiştir. Sonbahar dönemini kapsayan Eylül ve Ekim aylarında bu büyüme oldukça yavaşlamıştır. Şekil 37'de görüldüğü gibi yaş ağırlık olarak en fazla büyümeyi *Paspalum Paspalodes*(43 $\text{kg/m}^2.\text{yıl}$) sağlamıştır. Bunu sırası ile *Canna* (35 $\text{kg/m}^2.\text{yıl}$), *Cyperus*(31 $\text{kg/m}^2.\text{yıl}$), *Lolium*(15 $\text{kg/m}^2.\text{yıl}$) ve *Cyperus spp.* (11 $\text{kg/m}^2.\text{yıl}$) takip etmişlerdir. Bu bitkilerin ağırlıkların tesbitinde, kök ve gövde kısımları ayrı ayrı tesbit edilmiştir.



Şekil 37. Aylara Göre Bitki Biyokütlesindeki Artışlar

SONUÇ

Bu çalışmada, evlerden veya diğer faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların yapay sulakalan sistemlerinde arıtılması ile ilgili olarak değişik sistemler geliştirilerek bu sistemlerin ılıman iklim kuşağında yer alan Marmara Bölgesinde uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu sistemler sırası ile; Bitkisel filtre sistemi ile azot ve fosfor giderimi, geri devirli laboratuvar ölçekli bitkisel filtre sistemi ile organik karbon, azot ve fosfor giderimi, geri devirli laboratuvar ölçekli arıtma sistemi ile organik karbon azot ve fosfor giderimi ile geri devirli pilot tesis düzeyindeki arıtma sisteminde organik karbon, azot ve fosfor giderimi ve bu tesisin müstakil bir evde uygulaması ile ilgilidir.

Birinci çalışmada, " Bitkisel Filtre Sistemi " adı verilen ve içinde yalnız Cyperus, Canna ve Paspalum Paspalodes'in bulunduğu bir sistemde, azot ve fosfor giderimi incelenmiştir. İstanbul iklimi şartlarında biyolojik bir arıtma tesisi çıkış suyu ile yapılan deneylerde üç yıllık vejetasyon periyodunda ortalama arıtım değerleri şu şekildedir: Haziran-Eylül aylarında azot ve fosfor gideriminin maksimum olduğu gözlenmiş ve toplam azot giderimi $0.5-2.6 \text{ g/m}^2.\text{gün}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ giderimi $0.1-0.5 \text{ g/m}^2.\text{gün}$ olarak tespit edilmiştir. Günlük su kaybı $20-25 \text{ l/m}^2.\text{gün}$ ve bitkilerdeki N,P içeriği sırasıyla $23-26 \text{ g/kg}$ ve $2.3-3.8 \text{ g/kg}$ olarak bulunmuştur.

İkinci çalışmada bitkiler tarafından organik karbon, azot ve fosfor gideriminin incelenmesi amacıyla " Geri Devirli Laboratuvar Ölçekli Bitkisel Arıtma Sistemi " arazi şartlarında incelenmiştir. Arıtma veriminin artırılması amacıyla aynı sistem dolgu malzemeleri kullanılarak incelenmiştir. Dördüncü çalışmada ise dolgu malzemesi ve Cyperus kullanılarak kurulan " Geri Devirli Pilot Tesis" te, çeşitli çalışma şartlarında elde edilen arıtma verimleri yaklaşık bir yıl süre ile incelenmiştir. Pilot tesis çalışmasında KOI giderimi %89 oranında gerçekleşmiştir. Bu çalışmadaki KOI yükleme hızı $20-122 \text{ g/m}^2.\text{gün}$ aralığında iken çıkış KOI konsantrasyonu $38-120 \text{ mg/l'lik}$ bir değişim göstererek Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğindeki deşarj standartlarını sağlamıştır. Literatürden (Gearheart,1988) 40

mg/l KOİ çıkış konsantrasyonunu sağlayacak yükleme hızı 14 g KOİ/m².gün iken bu çalışmada aynı çıkış konsantrasyonunu sağlayan yükleme hızı 40 g KOİ/m².gün olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan (Reed ve diğ.,1988) yüzeyaltı akışlı sulakalanlara verilebilecek maksimum organik yük 60 g KOİ/m².gün olarak tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada, uygulanan çok daha yüksek yükleme hızlarında (150 g KOİ/m².gün) herhangi bir işletme problemiyle karşılaşmadan kabul edilebilir KOİ giderimleri sağlanmıştır. Buna göre çalışılan sistemin, rastlanan diğer sistemlere göre yaklaşık 3 kat daha verimli çalıştığı belirlenmiştir.

Bu sisteme orta kuvvette evsel bir atıksuyun verilmesi durumunda, çalışılan giriş yükleme hızı ile çıkış KOİ konsantrasyonu arasındaki ilişkiden KOİ giderimi için kişi başına düşen ortalama arıtma alanı 0.8 m² olarak tesbit edilmiştir. Bu şartlardaki AKM giderimi %95 olarak belirlenmiş ve çıkış suyu konsantrasyonlarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ni sağladığı belirlenmiştir. Yine aynı şartlardaki diğer giderimler sırasıyla TKN %77, toplam azot %61, PO₄-P %39, SO₄-S %56 ve Cl % 40 olarak elde edilmiştir.

Toplam azot cinsinden giriş yükleme hızı yaz mevsimi için(23.83°C-19.24°C) 4-19.5 g/m².gün arasında değişirken, çıkış konsantrasyonları 5-35 mg/l olarak tespit edilmiştir. Kış mevsimi için (6.9°C- 5.5°C) giriş yükleme hızı 2.5-13 g/m².gün iken çıkış konsantrasyonları 0-58 mg/l olarak belirlenmiştir. Buradan mevsim şartlarının azot giderimi üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu sonucuna varılmaktadır. Literatürde(Reed, ve diğ.,1988) verilen toplam azot giderimi %79, buna karşılık maksimum yükleme hızı 4.4 g/m².gün'dür. Bu durumda verilen değerlere göre 5 kat hızlı bir yük ile çalışılarak aynı mertebelerde azot giderim verimi elde edilmiştir. Bu sistemde denitrifikasyonla giderilen azotun toplam azot gideriminin %88 i, bitki bünyesine alınan azot miktarının ise %12 si olduğu tespit edilmiştir. Reed ve diğ.,1988, bitki tarafından giderilen azot miktarının %10-16 olduğu belirtmişlerdir. Bu durum çalışılan bitkinin azot alma kapasitesinin literatür ile uyum içinde olduğunu göstermektedir.

PO₄-P giriş yükleme hızı, yaz mevsiminde(23.83°C-19.24°C) 0.6-3.2 g/m².gün iken, çıkış PO₄-P konsantrasyonu 5-13 mg/l olarak belirlenmiştir. Kış mevsimi için (6.9°C-5.5°C) giriş yükleme hızı 0.8-1.4 g/m².gün iken çıkış konsantrasyonları 8-16 mg/l olarak belirlenmiştir. Bitki tarafından alınan fosfor miktarı ise 13 g/m².yıl olarak belirlenmiştir.

Geri devirli pilot tesis düzeyindeki sistemin incelenmesinden sonra, bu sistemin veriminin gerçek şartlarda şartlarda denenmesi ve ani yüklemelere karşı sistemin performansının incelenmesi amacıyla müstakil bir evde uygulaması yapılmıştır. Bu evin ham atıksuları doğrudan bu sisteme verilerek sistemin çalışması incelenmiştir. İncelenen süre içerisinde sistemde herhangi bir taşma, tıkanma, koku, vs. gibi problemlerle karşılaşılmasızın arıtma tesisi çıkış suyu kalitesinin KOİ(<120mg/l) ve AKM (<45 mg/l olacak şekilde, yönetmeliklere uygun olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu araştırmanın sonucunda imalatı basit, çok düşük bir elektrik enerjisi sarfiyatıyla kişi başına düşen alanın küçüldüğü ve içi bitkilerle dolu olduğundan estetik bir görüntüye sahip bir arıtma tesisi ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan bu arıtma sistemi, özellikle deniz kıyısına yakın bahçeli evlere, otel, motel gibi yerlere ve su havzalarına yakın kirletici noktalarına , kırsal yerleşim bölgeleri gibi küçük yerleşim birimlerine uygulanması mümkündür.

Özellikle bu çalışmada kullanılan sistemin her konut için ayrı ayrı yapıldığı düşünülürse, bir konutta ortalama 5 kişinin yaşadığı kabulü ile her bir konut için gerekli arıtma bahçesi alanı 4 m² olarak bulunmaktadır. Müstakil evlerden meydana gelmiş dağınık yerleşim alanlarında, her evin bahçesinde 4 m² alan ayrılarak, son derece ekonomik bir sistem ile atıksu problemi çözülebilmektedir.

BÖLÜM V. ÖZET

Evlerden veya diğer faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların, yapay sulakalan sistemlerinde arıtılması ile ilgili olarak yapılan bu çalışma kapsamında, bir çok değişik bitkinin, evsel atıksular içerisinde deneme maksadıyla yetiştirilmesinden sonra, bulunduğu iklim koşullarında problemsiz büyüdüğü görülen ve çevreye kattığı güzellik, nutrient alma kapasitesi gibi özelliklerinden dolayı seçilen *Cyperus* , *Cyperus spp.*, *Canna*, *Paspalum Paspalodes* ve *Lolium* bitkilerinin yalnız başlarına veya dolgu malzemeleriyle birlikte kullanılarak değişik arıtma sistemleri geliştirilmiştir.

Birinci çalışmada, " Bitkisel Filtre Sistemi " adı verilen ve içinde yalnız *Cyperus*, *Canna* ve *Paspalum Paspalodes*'in bulunduğu bir sistemde, azot ve fosfor giderimi incelenmiştir. İstanbul iklimi şartlarında biyolojik bir arıtma tesisi çıkış suyu ile yapılan deneylerde üç yıllık vejetasyon periyodunda ortalama arıtım değerleri şu şekildedir: Haziran-Eylül aylarında azot ve fosfor gideriminin maksimum olduğu gözlenmiş ve toplam azot giderimi 0.5-2.6 g/m².gün, PO₄-P giderimi 0.1-0.5 g/m².gün olarak tespit edilmiştir. Günlük su kaybı 20-25 l/m².gün ve bitkilerdeki N,P içeriği sırasıyla 23-26 g/kg ve 2.3-3.8 g/kg olarak bulunmuştur.

İkinci çalışmada bitkiler tarafından organik karbon, azot ve fosfor gideriminin incelenmesi amacıyla " Geri Devirli (Laboratuvar Ölçekli) Bitkisel Arıtma Sistemi " arazi şartlarında incelenmiştir. Arıtma veriminin artırılması amacıyla aynı sistem dolgu malzemeleri kullanılarak incelenmiştir. Dördüncü çalışmada ise dolgu malzemesi ve *Cyperus* kullanılarak kurulan " Geri Devirli Pilot Tesis" te, çeşitli çalışma şartlarında elde edilen arıtma verimleri yaklaşık bir yıl süre ile incelenmiştir. Pilot tesis çalışmasında KOİ giderimi %89 oranında gerçekleşmiştir. Bu çalışmadaki KOİ yükleme hızı 20-122 g/m².gün aralığında iken çıkış KOİ konsantrasyonu 38-120 mg/l'lik bir değişim göstererek Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğindeki deşarj standartlarını sağlamıştır. Literatürden (Gearheart,1988) 40 mg/l KOİ çıkış konsantrasyonunu sağlayacak yükleme hızı 14 g KOİ/m².gün iken bu

karşılaştırılmış ve çalışmada aynı çıkış konsantrasyonunu sağlayan yükleme hızı 40 g KOİ/m².gün olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan (Reed ve diğ.,1988) yüzeyaltı akışlı sulakalanlara verilebilecek maksimum organik yük 60 g KOİ/m².gün olarak tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada, uygulanan çok daha yüksek yükleme hızlarında (150 g KOİ/m².gün) herhangi bir işletme problemiyle karşılaşmadan kabul edilebilir KOİ giderimleri sağlanmıştır. Buna göre çalışılan sistemin, literatürde rastlanan diğer sistemlere göre yaklaşık 3 kat daha verimli çalıştığı belirlenmiştir.

Bu sisteme orta kuvvette evsel bir atıksuyun verilmesi durumunda, çalışılan giriş yükleme hızı ile çıkış KOİ konsantrasyonu arasındaki ilişkiden KOİ giderimi için kişi başına düşen ortalama arıtma alanı 0.8 m² olarak tesbit edilmiştir. Bu şartlardaki AKM giderimi %95 olarak belirlenmiş ve çıkış suyu konsantrasyonlarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ni sağladığı belirlenmiştir. Yine aynı şartlardaki diğer giderimler sırasıyla TKN %77, toplam azot %61, PO₄-P %39, SO₄-S %56 ve Cl % 40 olarak elde edilmiştir.

Toplam azot cinsinden giriş yükleme hızı yaz mevsimi için(23.83°C-19.24°C) 4-19.5 g/m².gün arasında değişirken, çıkış konsantrasyonları 5-35 mg/l olarak tespit edilmiştir. Kış mevsimi için (6.9°C- 5.5°C) giriş yükleme hızı 2.5-13 g/m².gün iken çıkış konsantrasyonları 0-58 mg/l olarak belirlenmiştir. Buradan mevsim şartlarının azot giderimi üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu sonucuna varılmaktadır. Yapılan çalışmalarda (Reed, ve diğ.,1988) verilen toplam azot giderimi %79, buna karşılık maksimum yükleme hızı 4.4 g/m².gün'dür. Bu durumda, literatürde verilen değerlere göre 5 kat hızlı bir yük ile çalışılarak aynı mertebelerde azot giderim verimi elde edilmiştir. Bu sistemde denitrifikasyonla giderilen azotun toplam azot gideriminin %88 i, bitki bünyesine alınan azot miktarının ise %12 si olduğu tespit edilmiştir. Literatürde(Reed ve diğ.,1988) bitki tarafından giderilen azot miktarının %10-16 olduğu belirtilmektedir. Bu durum çalışılan bitkinin azot alma kapasitesinin literatür ile uyum içinde olduğunu göstermektedir.

PO₄-P giriş yükleme hızı, yaz mevsiminde(23.83°C-19.24°C) 0.6-3.2 g/m².gün iken, çıkış PO₄-P konsantrasyonu 5-13 mg/l olarak belirlenmiştir. Kış mevsimi için (6.9°C-5.5°C) giriş yükleme hızı 0.8-1.4 g/m².gün iken çıkış konsantrasyonları 8-16 mg/l olarak belirlenmiştir. Bitki tarafından alınan fosfor miktarı ise 13 g/m².yıl olarak belirlenmiştir.

Geri devirli pilot tesis düzeyindeki sistemin incelenmesinden sonra, bu sistemin veriminin hakiki şartlarda denenmesi ve ani yüklemelere karşı sistemin performansının incelenmesi amacıyla müstakil bir evde uygulaması yapılmıştır. Bu evin ham atıksuları doğrudan bu sisteme verilerek sistemin çalışması incelenmiştir. İncelenen süre içerisinde sistemde herhangi bir taşma, tıkanma, koku gibi problemlerle karşılaşılmaaksızın arıtma tesisi çıkış suyu kalitesinin KOİ ve AKM bazında, yönetmeliklere uygun olduğu tespit edilmiştir.

Bu sistemlerde kullanılan bitkiler, beklenildiği üzere sadece vejetasyon periyotlarında nutrient giderimi sağlayabilmektedirler. Yapılan deneylerde bu giderimlerin en yüksek olduğu dönemin Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına rastladığı belirlenmiştir. Bitkiler tarafından en yüksek N,P giderimi genel olarak Paspalum Paspalodes'e ait olup bu değer azot için 192 g top-N/m².yıl, fosfor için 21 gP/m².yıl olarak tespit edilmiş ve bu değer literatürdeki benzer çalışmalar ile uyum sağladığı belirlenmiştir. Bunu sırası ile Cyperus(125 gN/m².yıl-13 gP/m².yıl), Canna (60 gN/m².yıl, 6 gP/m².yıl), Lolium(30 gN/m².yıl-5 gP/m².yıl) ve Cyperus spp.(27 gN/m².yıl-2 gP/m².yıl) olarak takip etmişlerdir.

Yıllık toplam bitki biyokütlesi artışında bir sıralama yapıldığında, Paspalum Paspalodes 43 kg/m².yıl ile ilk sırayı almış ve bunu Canna 35 kg/m².yıl, Cyperus 31 kg/m².yıl, Lolium 15 kg/m².yıl, Cyperus spp. 11 kg/m².yıl ile takip etmişlerdir. Kuru bitki ağırlığındaki sıralamada Paspalum Paspalodes 9 kg/m².yıl ile ilk sırada olmak üzere, Cyperus 6 kg/m².yıl, Canna 4 kg/m².yıl, Lolium 2 kg/m².yıl, Cyperus spp. 1 kg/m².yıl şeklinde tespit edilmiştir. Bitki bünyesindeki inorganik madde miktarının büyükten küçüğe doğru sıralaması ise Paspalum Paspalodes 0.63, Canna 0.48, Cyperus 0.38, Lolium 0.16 ve Cyperus spp. 0.12 kg/m².yıl şeklinde belirlenmiştir.

BÖLÜM V. SUMMARY

TREATMENT OF WASTEWATER BY CONSTRUCTED WETLAND IN COASTAL AREAS

At the scope of this study about treatment of domestic wastewater by using Constructed Wetland System, after the previous results obtained by using many kind of plants which are tested by growing in domestic wastewater, the original(novel) treatment systems were developed by using *Cyperus*, *Cyperus* spp., *Canna*, *Paspalum Paspalodes*, *Lolium* plants which were choosen as treatment plant medium because of they grows very easily in present climate conditions, seems so decorative and have high nutrient uptake capacity, by alone or with fillers.

At the first stage the model titled "Vegetal Filtration System" which contains only *Cyperus*, *Canna* and *Paspalum Paspalodes* was used and nitrogen and phosphorus removal was investigated. From the experiments results obtained from the biologic treatment plant effluent for İstanbul climate conditions, the average treatment values for three years vegetation periods are as follows: the nitrogen and phosphorus removal is maximum for June-September period and total nitrogen removal is 0.5-2.6 g/m².day, PO₄-P removal is 0.1-0.5 g/m².day. Daily water loss and N,P contents of plants were obtained as 20-25 l/m².day, 23-26 g/kg and 2.3-3.8 g/kg, respectively.

At the second stage, in order to examine the removal of organic carbon, nitrogen and phosphorus by plants, "Recycled vegetal treatment system on laboratory scale" was investigated for field(land) conditions. In order to increase the treatment yield, the same system was investigated by using suitable fillers. At the fourth stage, the treatment yields were monitored in different conditions by using "Recycled Pilot Plant" settled up with fillers and *Cyperus* as treatment media in one year period. COD removal was obtained as 89% in pilot plant scale. While the range of COD load rate is 20-122 g/m².day for this study, the

effluent COD concentration differentiates as 38-120 mg/l. So this system provides the discharge standards Water Pollution Control Regulation. In literature(Gearheart,1988), the loading rate 14 g COD/m².day which provides 40 mg/l COD effluent concentration but in this study the loading rate which provides the same effluent concentration was obtained as 40 gCOD /m².day. On the other hand, the maximum organic load suitable for subsurface wetland is recommended as 60 gCOD/m².day in the literature(Reed et al,1988). In this study, the acceptable COD removal was provided while more higher loading rates(150 gCOD/m².day) without any operational problem. So, it is indicated that the system is three times more productive than the systems mentioned in literature.

When the medium intense domestic wastewater are used as effluent, the average treatment area per person for COD removal was determined as 0.8 m² by the relation between influent loading rate and effluent COD concentration. In this conditions, SS(suspended solid) removal is 95% and effluent concentration is suitable for Water Pollution Control. Other removal values in same condition are as follows: TKN is 77%, total nitrogen is 61%, PO₄-P is 39%, SO₄-S is 56% and Cl is 40%.

The influent loading rate as total nitrogen are varied between 4-19.5 g/m².gün for summer season(23.83°C-19.24°C) but effluent concentrations were obtained as 5-35 mg/l. For winter season(6.9-°C-5.5°C), influent loading rate is between 2.5-13 g/m².day but effluent concentrations are 0-58 mg/l. Hence, it is indicated that climate season conditions are very effective for nitrogen removal. The total nitrogen removal is 79% and maximum loading rate is 4.4 g/m².day, in the literature(Reed at al, 1988). In this system, the nitrogen removal as same degree was obtained while the loading is 5 times more rapid than the literature. In this system, 88% of the total nitrogen is eliminated by denitrification while the remaining 12% is consumed by plant uptake. These values of plant uptakes are in accordance with those given in the literature; being 10% to 16%.

In summer(23.83°C-19.24°C), the PO₄-P influent load rates were determined to be 0.6 to 3.2 g/m².day while effluent concentration of PO₄-P were 5-13 mg/l. However, in winter(6.9°C-5.5°C) influent load rates varied from 0.8 to 1.4 g/m².day, while effluent concentrations were between 8 and 16 mg/l. Plants uptake of phosphorus was 13 g/m².year.

Following this pilot-plant scale experiment, the efficiency of this approach in real system was tested by utilizing a single household. The wastewater of this household was directly introduced to the system to test its efficiency. Within duration of the test, no floating, or clogging, or smelling of the system was observed and the quality of waters collected from the purification plant performed with KOI(<120 mg/l) and AKM(<45 mg/l) in accordance with regulations.

The utilized plants, as expected, are effective in removal of nutrients only during the vegetation periods. From the experiments it has been found that the highest removal is during July, August, and September. The highest removal of N and P are realized by Paspalum Paspalodes 192 g top-N/m².year and 21 gP/m².year, respectively; again these values are in accordance with literature values. The N and P removal for the remaining plants are; Cyperus(125 gN/m².year -13 gP/m².year), Canna(60 gN/m².year-6 gP/m².year), Lolium(30 gN/m².year-5 gP/m².year) and Cyperus spp(27 gN/m².year-2 gP/m².year).

Yearly total increase in plant biomass values indicate that Paspalum Paspalodes ranks first with 43 kg/m².year; followed by Canna (35 kg/m².year), Cyperus (31 kg/m².year), Lolium(15 kg/m².year) and Cyperus spp(11 kg/m².year). Based on dry plant biomass again Paspalum Paspalodes is first with 9 kg/m².year, followed by, Cyperus, Canna, lolium and Cyperus spp. With 6,4,2 and 1 kg/m².year, respectively. The amount of inorganic matter contained in plants in decreasing order is for Paspalum Paspalodes 0.63 kg/m².year, followed by Canna 0.48, Cyperus 0.38, Lolium 0.16, and Cyperus spp. 0.12 kg/m².year.

BÖLÜM VI. KAYNAKLAR

AKÇA, L., BAYHAN, H., ALTAY, D.A., ÖVEZ, S.(1997) : Water and Wastewater Treatment by Natural Systems, International Conference on Water Problems in the Mediterrenian Countries(Baskıda).

AYAZ, S.Ç., SAYGIN, Ö. (1996) : Hydroponic Tertiary Treatment, Water Research vol.30, No.5, pp.1295-1298.

AYAZ, S.Ç., SAYGIN, Ö. (1996) : Hydroponic Wastewater Treatment Garden: An Intermittant Recirculating Constructed Wetland., 5th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control, Viyana.

BAYHAN, H. (1995) : Su Bitkilerinden *Salvinia Natans*(L.) ALL. ve *Lemna Minör* L. İçeren Arıtma Sistemlerinin Besi Maddesi Giderimindeki Etkinliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İst. Üniv. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enst.

BÖRNER, T.(1992) : Einflussfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenklaranlagen, Schriftenreihe Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung, Band 58, TH Darmstad.

BRİX, H.(1993) : Macrophyte-Mediated Oxygen Transfer in Wetlands : Transport Mechanisms and Rates,pp.391-398.

BRİX, H and SCHLIERUP, H . (1990) : Soil Oxygenation in Constructed Reed Beds the Role of Macrophyte and Soil-Atmosphere Interface Oxygen Transport,pp.53-66. In P.F.Cooper and B.C. Findlater(Eds), Proceedings of the International Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control.Oxford,U.K. Pergamon Press.

BRİX, H.(1990) : Gas Exchange Through the Soil-Atmosphere Interphase and Through Dead Culms of *Phragmites Australis* in a Constructed Reed Bed Receiving Domestic Sewage. Water Res.,24(2): 259-266.

BRODRİCK, S.J., CULLEN, P., MAHER, W., (1988) : Denitrification in a Natural Wetland Receiving Secondary Treated Effluent. Wat.Res., 22(4): 431-439.

BURGOON, P.S. (1993) : Oxidation of Carbon and Nitrogen in the Root Zone of Emergent Macrophytes Grown in Wetland Microcosm .Ph.D.Dissertation, university of Florida, Gainesville.

CARACO ,N., COLE, J.J., LIKEN , G.E., (1991) : A Cross-system study of Phosphorus Release from Lake Sediments.In: Comparative Analysis of Ecosystems, Springer Verlag,pp.241-258.

CHIAUDANI, G., MARCHETTI, R., VIGHI, M. (1980) : Eutrophication in Emilia-Romagna Coastal Waters(North Adriatic Sea,Italy): A Case Study. Prog.Wat.Tech., 12, 185-192.

COOPER, P.F., FINDLATER, B.C. (1990) : Constructed Wetlands in Water Pollution Control.Oxford, U.K: Pergamon Press.

CRITES, W. R. (1995) Design Criteria and Practice for Constructed Wetlands Wat.Sci. and Tech.Vol.29,No.4, pp.1-6.

ÇİKOĞLU, S. (1992) : Kara kaynaklı Deterjan Yüklerinin Belirlenmesi ve Sapanca Gölü'ne Uygulanması İst. Univ. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enst., Yüksek Lisans Tezi .

D'ANGELO,E.M., REDDY, K.R (1994) : Diagenesis of Organic Matter in a Wetland Receiving Hypereutrophic Lake Water. I.Distribution of Dissolved Nutrients in the Soil and Water Column. J. Environ .23.937-943).

DUMLU,G. (1979) : " Kirlı Sular ve Analiz Metodları" T.C Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Bakanlığı.

EPA-625/1-88/022. (1988) : Design Manuel of Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment U.S.EPA Cont. Environ. Res.Inf., Cincinnati, Ohio.

FLORA of TURKEY. (1985) : Vol.IX. Edingburgh, P.H.D.Avis.

FISHER,M.M., REDDY, R.K.(1987) : Water Hyacinth for Improvoming Eutrophic Lake Water: Water Quality and Mass Balance,pp.969-976.

GACHTER, R., MAYER ,J.S., (1993) : The role of Microorganisms in Mobilization and fixationof Phosphorus in Sediments., Hydrobiologia 253,103-121.

GALE, P.M., REDDY, K.R., GRAETZ, D.A.(1993) : Nitrogen Removal from Reclaimed Water Applied to Constructed and Natural Wetland Microcosms. Water Environment Research Volume 65(2) : 162-168.

GALE, P.M., REDDY,K.R. and GRAETZ, D.A.(1992) : Denitrification Potential of Soils from Constructed and Natural Wetlands. Ecol.Eng.2,229-130.

GEARHEART, R.(1988) : Constructed Free Surface Wetlands to Treat and Receive Wastewater-Pilot Project to Full Scale, Prooceeding of the International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Chatanooga.

GÜNLÜK SICAKLIK ORTALAMALARI, (1996- 1997) :T.C Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğü

HABERL, R., PERFERLER, R., MAYER H. (1995) : Constructed Wetlands in Europe , Wat. Sci. Tech. Vol.32, No.3, pp.305-315.

HABERL,R., PERFERLER ,R., MAYER,H. (1995) : Wat.Sci.Tech. Vol.32, No,3pp 305-445.

HAMMER, D.A.(1989) : Constructed Wetlands for Treatment of Agricultural Waste and Urban Stormwater. Chapter 27, pp.333-348.

HAMMER, D.A.(1989) : Constructed Wetlands for Wastewater Treatment : Municipal, Industrial and Agricultural. Chelsa, MI: Lewis Publishers.

HERSKOWITZ,J.(1986) : Listowel Artificial Marsh Project Report. Ontario Ministry of the Environment , Water Resources Branch, Toronto.

HOUSE, C.H., BROME, M.T., (1994) : Treatment of Nitrogen and Phosphorus by a constructed Upland-Wetland Wastewater Treatment System Wat.Sci. Tech.Vol 29, No.4 pp 177-184.

HOWARD-WILLIAMS, C. and DOWNES, M.T.(1993). Nitrogen Cycling in Wetlands. In Nitrate: Processes, Patterns and Management.

HUTCHINSON, G.E. (1969) : Eutrophication, Past and Present. In " Eutrophication: Causes, Consequences " ., National Academy of Sciences., Washington D.C.

KADLEC, R. H., and KNIGHT, L.R.(1996) . Treatment Wetland CRC.Press. The University of Michigan, Ann Arbor and Wetland Management Services Chelsea, Michigan.

KNIGHT, L. R. (1997) : Wildlife Habitat and Public Use Benefits of Treatment Wetlands, Wat.Sci.Tech. Vol. 35, No. 5, pp.35-43.

KADLEC, H.R., (1995) : Overview Surface Flow Constructed Wetlands Wat.Sci.Tech.Vol.32, No.3, pp.1-2.

MANDI, L. (1994) : Marrakesh Wastewater Purification Experiment Using Vascular Aquatic Plants Eichhornia Crassipes and Lemna Gibba Wat.Sci. Tech., 29(4), 283-287.

MARTÍN, J.F., REDDY, K.R. (1996) : Interaction and Spatial Distribution of Wetland Nitrogen Processes. Ecol. Modelling.

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

METCALF and EDDY. (1991) : Wastewater Engineering; Collection, Treatment and Disposal McGraw-Hill Inc., New York.

MITSCH, W.J. and GOSSELINK, J.G. (1993) : Wetlands. New York : Van Nostrand Reinhold.

MILLER, W.E., GREEN, J.C., SHİROYAMA, T.,(1978) : Selenastrum Capricornutum Printz Algal Assay Bottle Test. Experimental Design, Application and Data Interpretation Protokol EPA 600/9-78-018.

MOSHİRİ, G.A.,Ed.(1993) : Constructed Wetlands for Water Quality Improvoment. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

ORHON, D and ARTAN, N.(1994) : Modelling of Activated Sludge Systems, Technomic Press, Lancaster,PA.

ORHON D., SÖZEN, S ve GÖRGÜN, E. (1995) : Ulusal Çevre Eylem Planı Atıksu Yönetimi, DPT Yayını.

PATENT BAŞVURUSU. (1997) : T.C. Türk Patent Enstitüsü. Patent Dairesi Başkanlığı, Başvuru no., B.14.1.TPE.0.07.01.02.97/00051.

REDDY,K.R., D'ANGELO, E.M. (1997) : Biogeochemical Indicators to Evaluate Pollutant Removal Efficiency in Constructed Wetlands, Wat.Sci.Tech.Vol.35, No.5, pp1-10.

REDDY, K.R., PATRİCK, W.H. (1984) : Nitrogen Transformation and loss in Flooded Soils and Sediments. CRC Crit.Rev.Environ Control, 13:273-309.

REDDY,K.R., RAO, P.S.C., JESSUP, R.E. (1982) : The Effect of Carbon Mineralization and Denitrification Kinetics in Mineral and Organic Soils.Soil Sci. Soc.Am.J.46,62-68 .

REDDY, K.R. (1987) : Water Hyacinth for Improvoming Eutrophic Lake Water; Water Quality and Mass Balance, pp. 969-976.

REDDY, K.R., DEBUSK, W. F. (1987): Nutrient Storage Capabilities of Aquatic and Wetland Plants.pp. 337-357.

REED ,S.C. (1985) : Nitrogen Removal in Wastewater Stabilization Ponds., J .Water Pollut. Control Fed., 57(1): 39-45.

REED, S.C., CRİTES, R.W., MİDDLEBROOKS, E.J. (1995) : Natural Systems for Waste Management and Treatment .2nd Ed. Newyork:McGraw-Hill.

REED, S.C., CRİTES, R.W., MİDDLEBROOKS, E.J. (1990) : Natural Systems for Wastewater Treatment , JWPCF 601 Wythe Street Alexandra.

REED, S.C., MİDDLEBROOKS, E.J. CRİTES, R.W. (1988) : Natural Systems for Waste Management and Treatment Mc GrawHill Book Co., Newyork , NY.

REED, S.C., CRİTES, R.W., MİDDLEBROOKS, E.J. (1985) : Nutrient Removal Potentail of Selected Aquatic Macrophytes Journal of Environmental Quality, V.14 Num. 4 Oct-Dec.pp 459-462.

SAYGIN, Ö ., TOMRUK A. (1994) : Phosphorus and Nitrogen Removal from Wastewater by the Plant Paspalum Paspalodes. Fresenius Envir Bull 3: 439-443.

SEİDEL, K. (1996): Reinigung Von Gewaessern Durch Hoehere Wasserpflanzen Die Naturwissenschaften 53, s.289-297.

SEN, A.K., MONDAL, N.G. (1990) : Removal and Uptake of Copper(II) by Salvinia Natans from Wastewater , Water, Air and Soil Pollut., 49(1-2), 1-6.

SHERWOOD, C., REED, S.C., MİDDLEBROOKS, E.J. and CRİTES, W.R.(1995) : Natural System for Waste Manegement and Treatment. 2nd Ed.New York: McGraw-Hill.

Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater(1992). 18 th Ed. APHA. AWWA.WPCF.

SYED, R.QASIM. (1985) : U.S. Wastewater Treatment Plants, CBS, College Publishing .
The analysis of Agricultural Materials. (1981) : Ministry of Agricultural Fisheries and Feed (RB427). London.

TÜRKMAN, A.(1994) : Evsel atıksuların Deniz suyu Üzerine Etkileri ve Birincil Üretimin Ölçülmesi, Kıyı Sorunları ve Çevre Sempozyumu, 169-181.

URBAN,N.R., EISENRICH.(1988) : Nitrogen Cycling in a Forested Minnesota Bog.Can J.Bot.,66:435-449.

ULUORAK, N. (1994) : Yer Örtüsü Bitkileri, İ.Ü.Or.Fak.yayın no:428.

ÜRGENÇ, S.(1992) : Ağaç ve Süs Bitkileri Fııdanlık ve Yetiştirme Tekniği, yayın no:3676 fak yayın no:418 İST.

WILLIAM, RUDOLF., Çev. Muslu,Y. (1967) : Pissu ve Tasfiye Prensipleri, İst.Tek.Üniv.Kütüphanesi .

ZAK, D.R and GRIGAL, D.F.(1991) : Nitrogen Mineralization, Nitrification and Denitrification in Upland and Wetland Ecosystem Oecologia,88:189-196.

BÖLÜM VII. EKLER

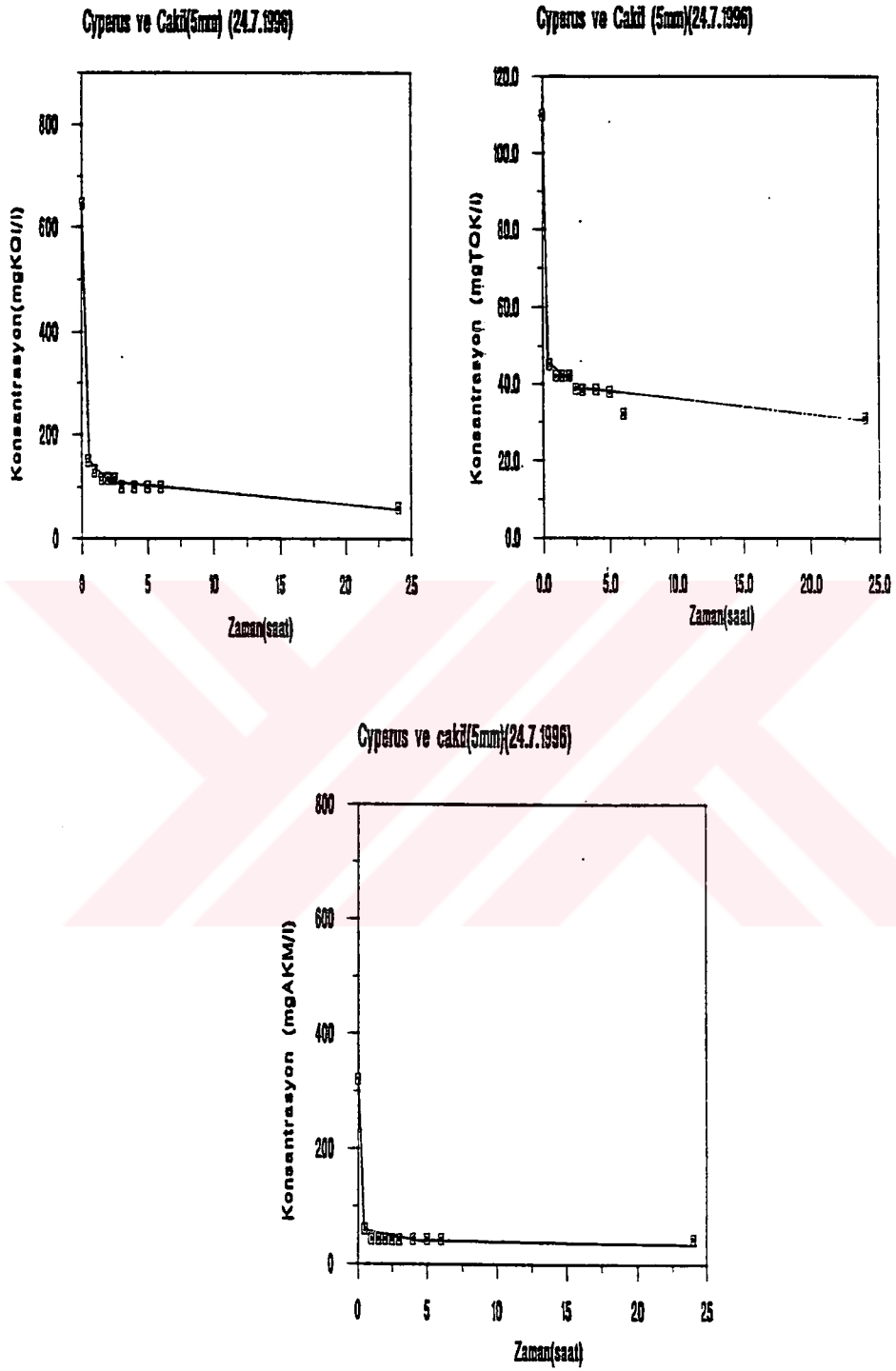
Gel-Git Modeli: Maket Tesis düzeyinde İkincil ve Üçüncül Artım(kesikli sistem1996)

Bu çalışmada dolgu malzemelerinden; Çakıl(5mm) ile bitkilerden; Cyperus seçilerek, 24.7-15.8.1996 tarihlerindeki bir günlük KOİ, TOK, AKM, NH₄-N, PO₄, SO₄,ve Cl konsantrasyonlarındaki değişimler izlenmiştir. İlgili grafikler Şekil 38-45 arasında verilmiştir. Bu parametreler 3 yıl boyunca incelendiğinden ve bununla ilgili değerlendirmeler 4.cü bölümde ayrıntılı bir şekilde yer aldığından, saatlik denemeleri kapsayan bu kısımdaki grafikler ek'de yer almıştır.

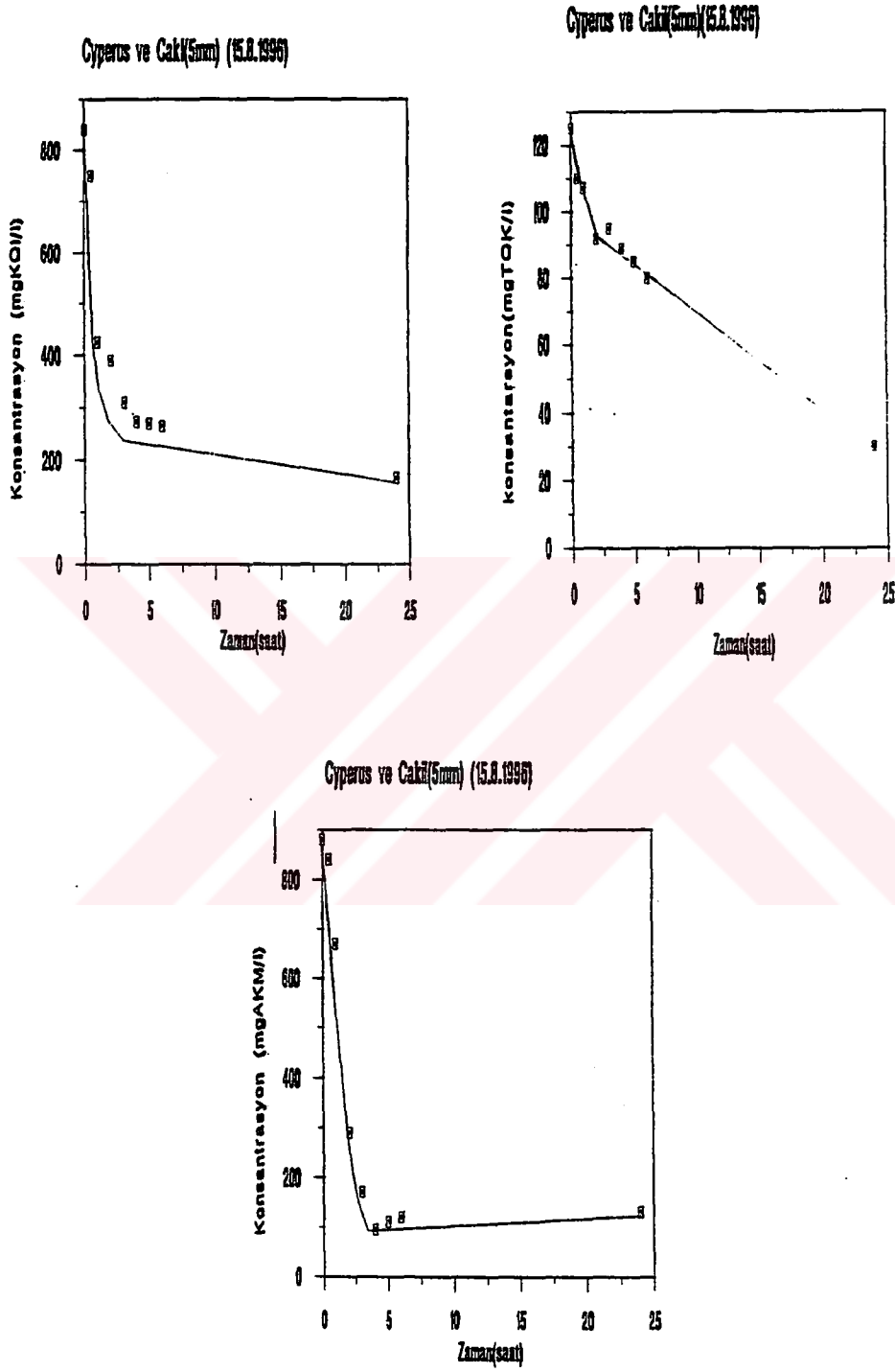
Grafiklerden KOİ,TOK, AKM konsantrasyonları ilk iki saat içerisinde oldukça hızlı bir şekilde azalmakta bundan sonraki sürelerde(24. saate kadar) ki azalmalar oldukça yavaş gerçekleşmektedir.

NH₄-N konsantrasyonunda yine bu saatler arasında nitrifikasyonun etkisi ile oldukça azalmıştır.

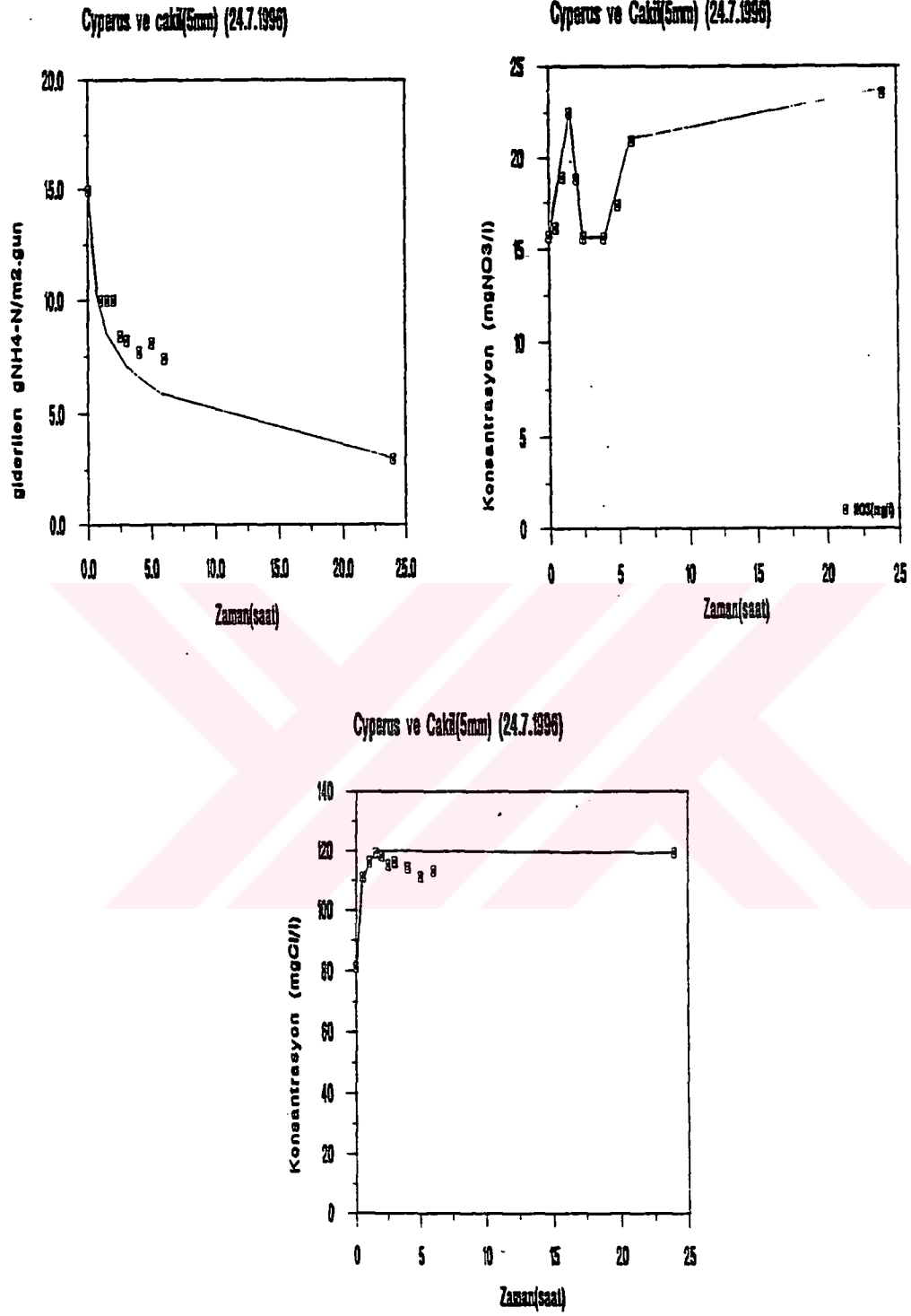
PO₄-P konsantrasyonunda ise çok düşük bir azalma gözlenmiştir. SO₄ ve Cl konsantrasyonları ise genelde artmıştır.



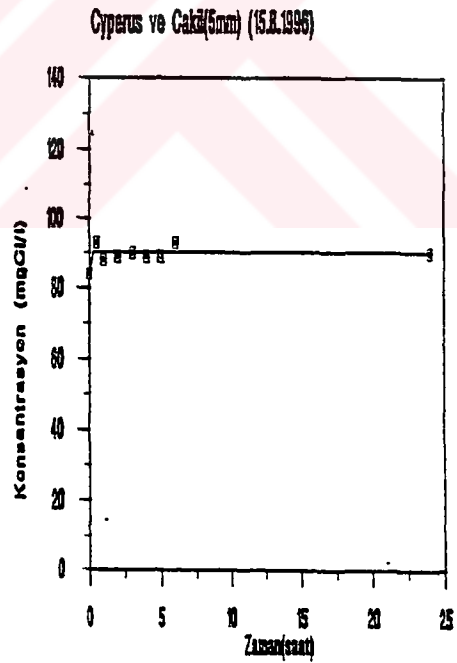
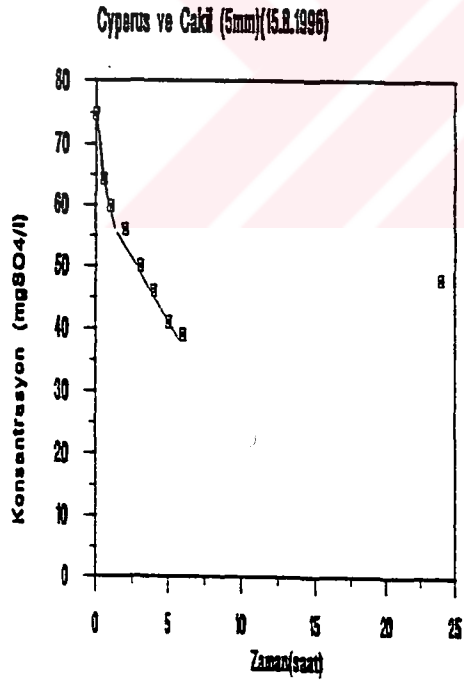
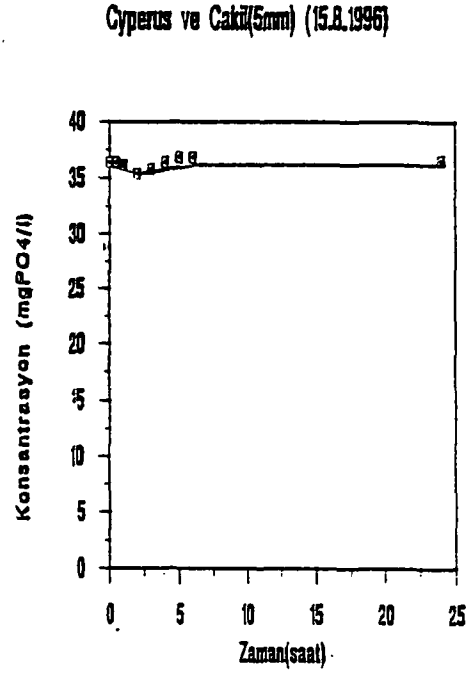
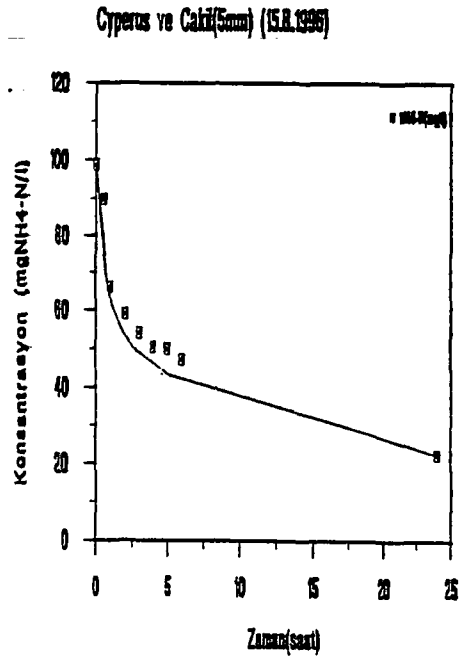
Şekil 38. Zamana Karşı KOI, TOK, AKM Konsantrasyonu



Şekil 39. Zamana Karşı KOI, TOK, AKM Konsantrasyonu

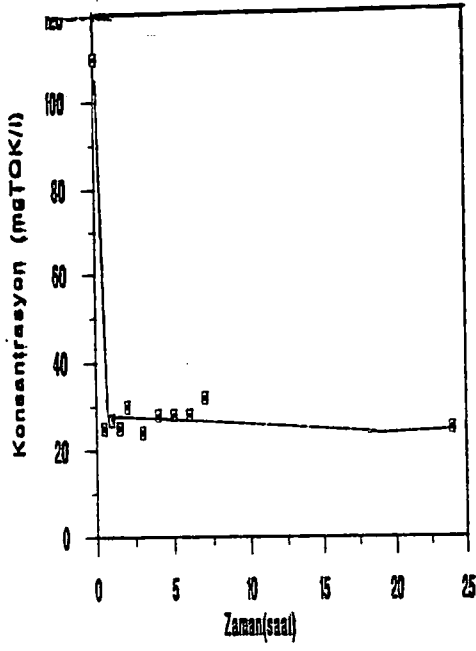


Şekil 40. Zamana Karşı KOİ, TOK, AKM Konsantrasyonu

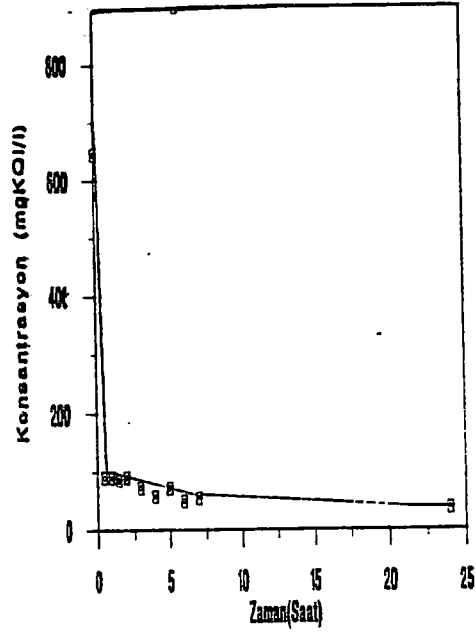


Şekil 41. Zamana Karşı NH₄-N, PO₄, SO₄, Cl Konsantrasyonu

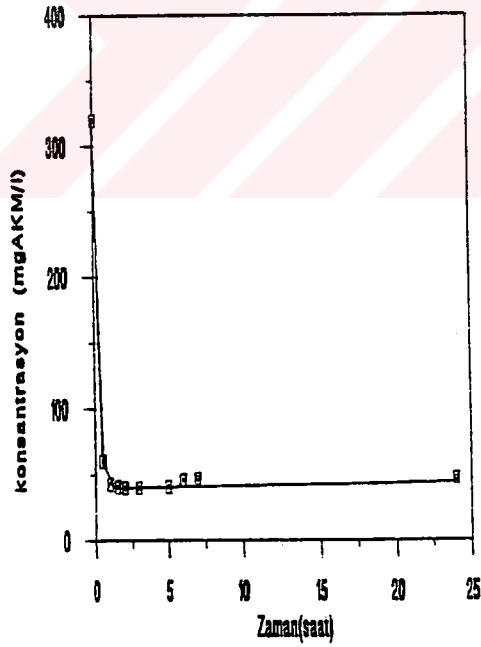
Cakıl(5mm) (24.7.1996)



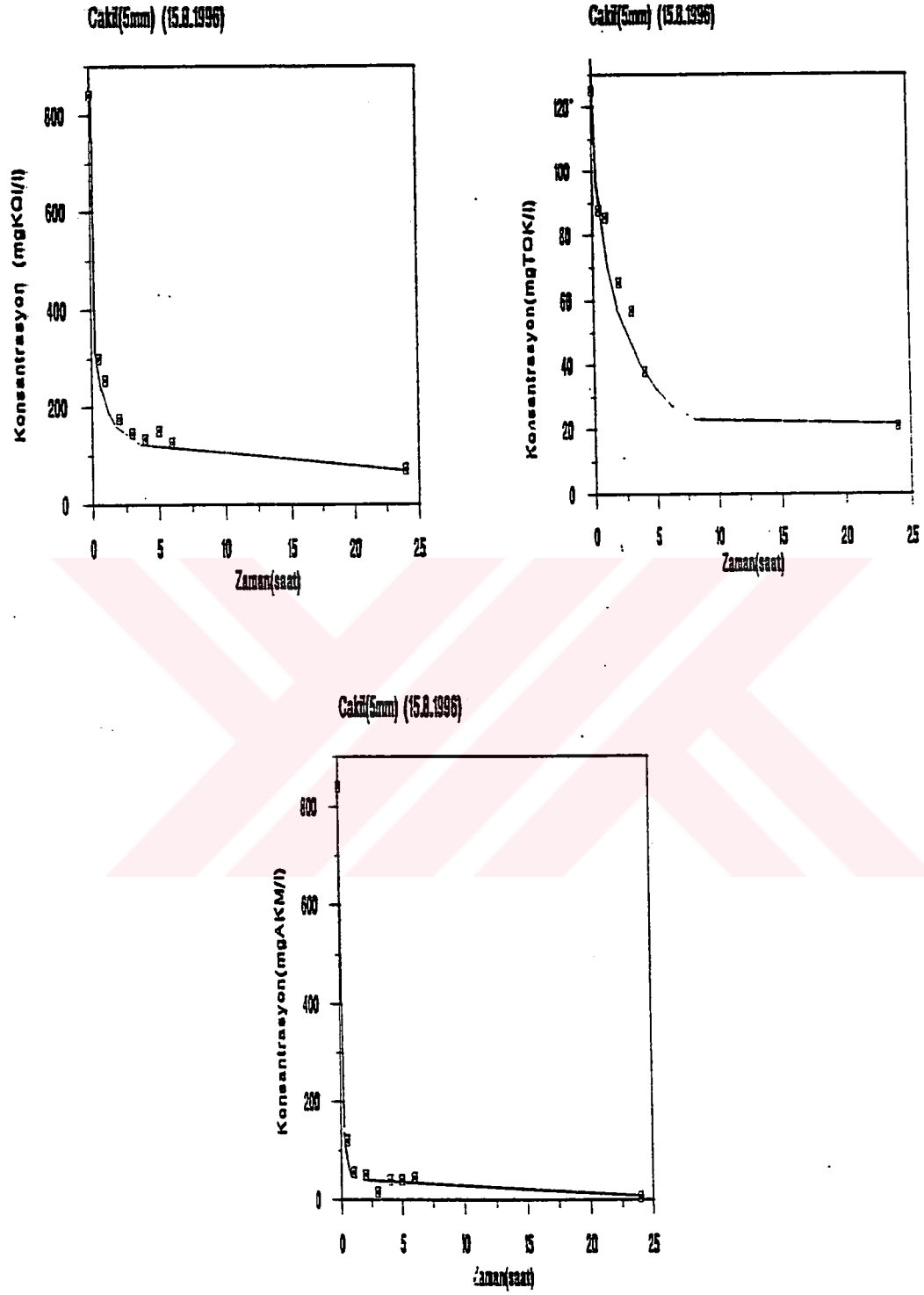
Cakıl(5mm) (24.7.1996)



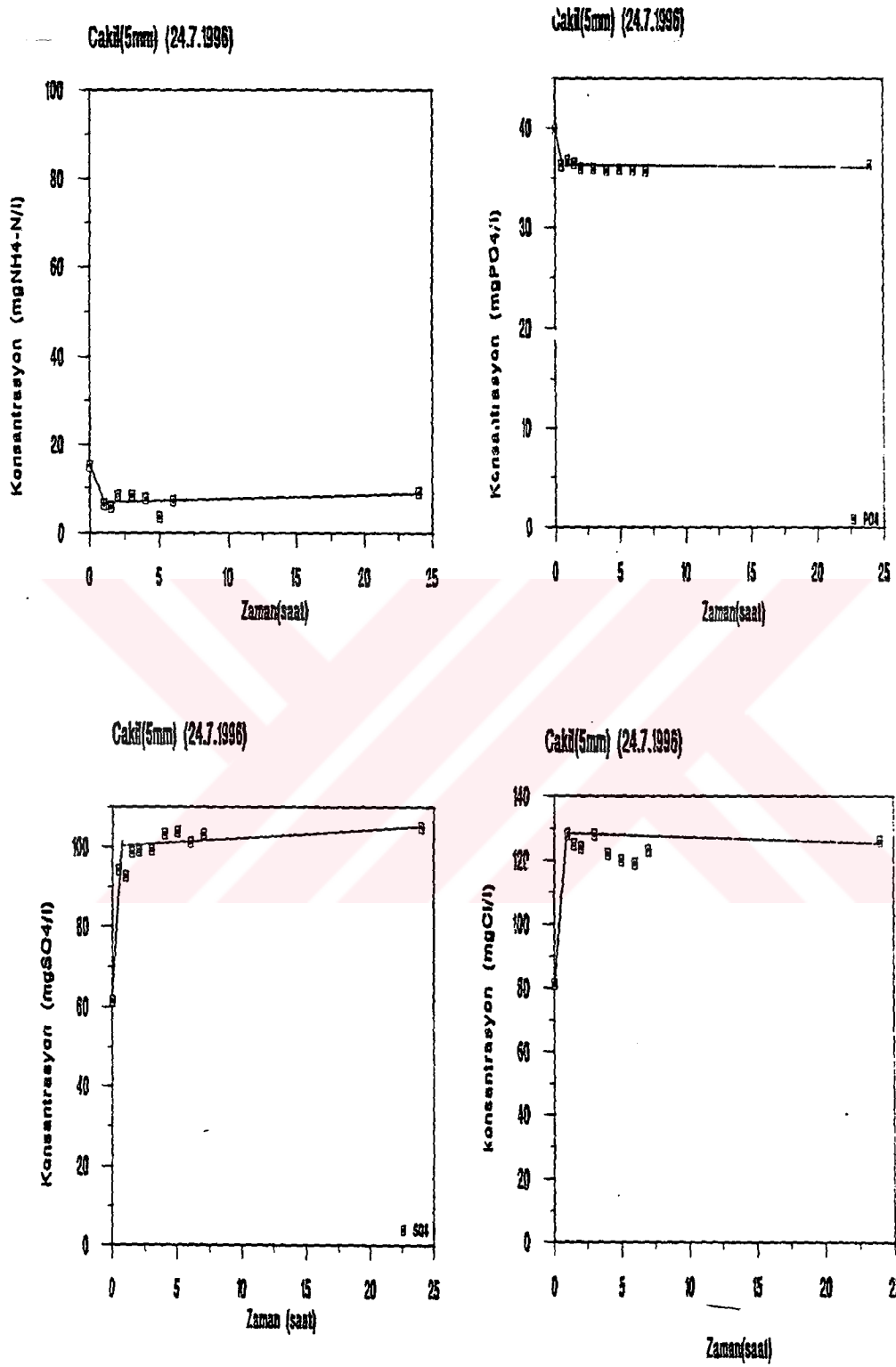
Cakıl(5mm) (24.7.1996)



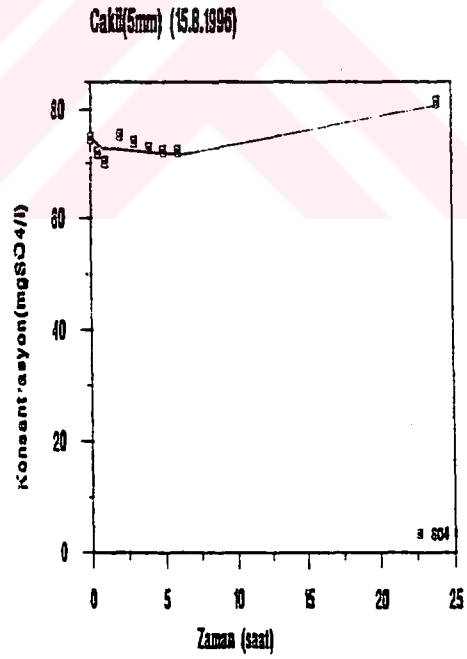
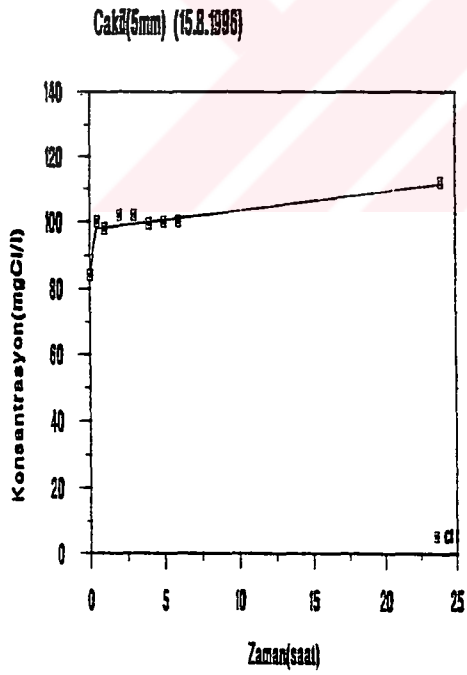
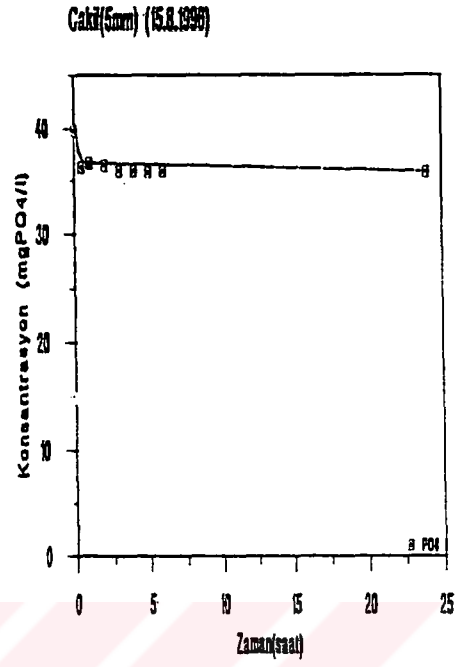
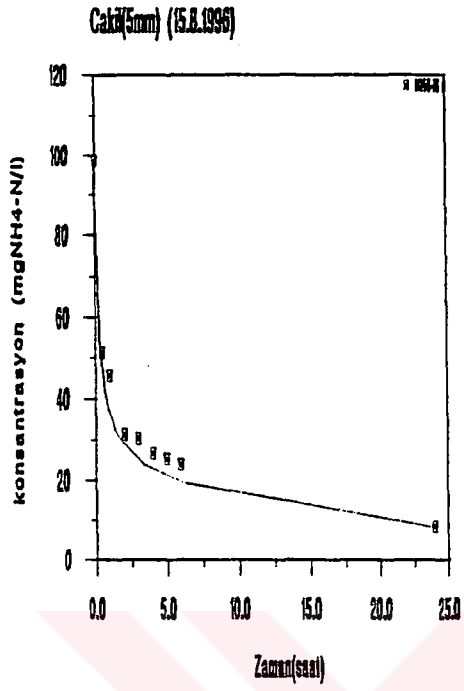
Şekil 42. Zamana Karşı KOİ, TOK, AKM Konsantrasyonu



Şekil 43. Zamana Karşı KOİ, TOK, AKM Konsantrasyonu



Şekil 44. Zamana karşı NH₄-N, PO₄, SO₄, Cl Konsantrasyonu



Şekil 45. Zamana karşı NH₄-N, PO₄, SO₄, Cl Konsantrasyonu

BÖLÜM VIII. ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Elazığ'da doğdu. İlk,orta ve lise tahsilini Elazığ'da tamamladı. 1987 yılında Fırat Üniv. Müh. Fak. Kimya Müh. Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl TÜBİTAK-MAM Kimya Mühendisliği Bölümü'nün Çevre Grubunda araştırmacı olarak çalışmaya başladı. 1992 yılında İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü 'nde Yüksek Lisan Eğitimi tamamlayarak aynı enstitüde doktora programına başladı. Çalışmaları Göl limnolojisi , Endüstriyel atıksu karakterizasyonu , Evsel atıksu arıtımında Yapay Sulak Alan Modelleri ile ilgilidir. Halen TÜBİTAK-ESÇAE ' de araştırmacı olarak çalışan Selma Ayaz evli ve bir çocuk annesidir.

