

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY SULAKALAN SİSTEMLERİNDE AZOT
GİDERİMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN
İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Bilal TUNÇSİPER**

Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

KASIM 2005

**YAPAY SULAKALAN SİSTEMLERİNDE AZOT
GİDERİMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN
İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Bilal TUNÇSİPER
(501972402)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Ocak 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Kasım 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Lütfi AKÇA
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Cumali KINACI (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Ömer SAYGIN (B.Ü.)
Doç.Dr. Erdem GÖRGÜN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Erdoğan OKUŞ (İ.Ü.)**

KASIM 2005

ÖNSÖZ

Öncelikle doktora eğitimim boyunca karşılaştığım güçlükleri aşmamda bana yardımcı olan, tez çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerinden yoğun olarak yararlandığım danışmanım, hocam, Sayın Prof. Dr. Lütfi AKÇA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda kullandığım sistemlerin tasarımında, ölçüm ve analizlerinde büyük desteğini gördüğüm TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü personeli Sayın Dr. Selma ÇİKOĞLU AYAZ'a ve deneylerimde bana yardımcı olan Uzman Özcan İNAL, Uzman İlker BAKIR, Uzman Sedat ÇELİK, Uzman Kenan SAPMAZ, Uzman Gülcan ENGİNSOY 'a ve doktora çalışmam sırasında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Sayın Prof.Dr. Cumali KINACI, Sayın Doç.Dr. Erdem GÖRGÜN ve Sayın Doç.Dr. Erdoğan OKUŞ'a, bitki tanımlamaları için bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Sayın Dr. Hürrem BAYHAN'a ve çalışmamın her aşamasında bana yardımlarını esirgemeyerek beni sürekli motive eden sevgili eşim Nur TUNÇSİPER'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tezimi, sevgili oğlum Berke ve Alp Eren ile Sevgili Eşime ithaf etmek istiyorum.

Aralık, 2005

Bilal TUNÇSİPER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Konu	2
1.3 Amaç ve Kapsam	2
2. SULAKALAN SİSTEMLERİ	4
2.1 Su Bitkilerine Dayanan Arıtım Sistemleri	4
2.2 Havuz Sistemleri	4
2.3 Sulakalanlar	5
2.4 Doğal Sulakalanlar	5
2.5 Yapay Sulakalanlar	6
2.5.1 Serbest yüzey akışlı sulakalan (SYAS)	6
2.5.1.1 Yüzücü bitkilerin hakim olduğu SYAS sistemleri	7
2.5.1.2 Batık bitkilerin hakim olduğu SYAS sistemleri	8
2.5.1.3 Köklü bitkilerin hakim olduğu SYAS sistemleri	9
2.5.2. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalanlar (YAAS)	9
2.5.2.1 Yatay yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemi (Y-YAAS)	9
2.5.2.2 Düşey yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemi (D-YAAS)	10
2.6 Sulakalan Arıtma Sistemlerinin Klasik Sistemlerle Karşılaştırılması	10
3. AZOT GİDERİMİ VE TASARIM ESASLARI	14
3.1 Azot Çevrimi	14
3.2 Azot Giderimi	15
3.3 Kinetik	15
3.4 Arıtma Performansı	18
3.5 Tasarım Esasları	19
3.6 Azot Giderimini Etkileyen Faktörler	21

3.6.1 Ön arıtım	21
3.6.2 Atıksu karakterizasyonu	21
3.6.3 Hidroloji	22
3.6.4 Mikroorganizma faaliyetleri	23
3.6.4.1 Mikroorganizmalarla azotun bağlanması	24
3.6.4.2 Amonyakın gazlaştırılması	24
3.6.4.3 Amonyaklaşma	24
3.6.4.4 Nitrifikasyon	25
3.6.4.5 Denitrifikasyon	27
3.6.4.6 Azot bağlanması	28
3.6.5 Bitkilerin rolü	29
3.6.5.1 Bitkilerle kullanım	29
3.6.5.2 Kök penetrasyonu	30
3.6.5.3 Oksijen transferi	30
3.6.5.4 Bitkilerle terleme ve buharlaşma	31
3.6.5.5 Hasatlama	31
3.6.6 Substrat (dolgu malzemesi)	31
3.6.7 Adsorpsiyon	32
3.6.8 Hidrolik yük	32
3.6.9 Azot yükü	32
3.6.10 Organik yük	33
3.6.11 Çevre koşulları	33
3.6.12 Konfigürasyon	34
3.7 Sulakalan Uygulamaları	34
3.7.1 Dünyadaki uygulamaları	35
3.7.1.1 Yağmursuyu arıtımı	36
3.7.1.2 Evsel atıksuların arıtımı	36
3.7.1.3 Çiftlik atıksuları	38
3.7.1.4 Tarımsal atıksular	39
3.7.1.5 Depo sızıntı suları	39
3.7.2 Türkiye'deki uygulamaları	39
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
4.1 Deneysel Çalışma Düzeneği I	43
4.2 Deneysel çalışma düzeneği II	44
4.3 Deneysel çalışma düzeneği III	44
4.3.1 Seçilen bitki türleri	46
4.3.1.1 Yüzücü bitkiler	46

4.3.1.2 Batık bitkiler	46
4.3.1.3 Köklü bitkiler	47
4.4 Hasatlama	49
4.5 Analiz Metodları	49
5. DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	51
5.1 Atıksu Karakterizasyonu	51
5.2 Bitkilerin Hasatlanması ve Kütle Dengeleri	51
5.2.1 Bitkilerin azot kütle dengeleri ve azot kullanım kapasiteleri	52
5.2.2 Hasatlama ve verim ilişkileri	54
5.3 Çıkış Konsantrasyonları	57
5.3.1 Elektriksel iletkenlik, pH, çözülmüş oksijen ve sıcaklığın çalışma periyodu süresince değişimi	58
5.3.2 Giriş ve çıkış azot konsantrasyonlarının zamansal değişimi	59
5.4 Verimler	60
5.5 Seri bağlı sistem	64
5.6 Madde Yükleme Hızı ile Giderim Hızı Arasındaki İlişki	66
5.7 Giriş Konsantrasyonu ile Verim İlişkisi	68
5.8 Giriş Yüğü ile Giderim Hızı Arasındaki İlişki	70
5.9 Hidrolik Bekletme Süresi Verim İlişkisi	71
5.10 Çıkış Konsantrasyonlarının Kestirimi	75
5.10.1 Kinetik model	75
5.10.2 Çoklu regresyon modeli	78
5.10.3 Modellerin karşılaştırılması	80
5.10.4 Performansların istatistiksel karşılaştırılması	84
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	94
EKLER	100
ÖZGEÇMİŞ	127

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: Doğal arıtma sistemlerinin tipik inşaat, işletme ve bakım masrafları (US-EPA,1980).....	11
Tablo 2.2: YAAS ve SYAS sulakalanlar (378.5m ³ /gün debiyle) için tesis, işletme ve bakım masrafları (WEF, 2000).....	12
Tablo 2.3: YAAS ve SYAS sulakalanlar ile klasik atıksu arıtım sistemlerinin masraf karşılaştırması (WEF, 2000).....	12
Tablo 2.4: Klasik sistemlerle yüzey akışlı (çakıl dolgulu) yapaya sulakalan sistemlerinin masraf karşılaştırması (Cueto,1993)....	13
Tablo 3.1: Toplam azot giderimi için denklem 3.21’de kullanılan hız sabitleri (Reddy ve DeBusk, 1987).....	16
Tablo 3.2: Literatürde kaydedilen kinetik hız katsayılarının (k_{20}) özeti	18
Tablo 3.3: Avrupa ve Amerika’daki bazı yapay sulakalanlardan elde edilen ortalama azot verimleri (Börner, 1992; Knight ve diğ., 1992).....	18
Tablo 3.4: Kuzey ABD’deki bazı pilot ölçekli yapay sulakalan sistemlerinin performansları (Reed ve diğ., 1988).....	19
Tablo 3.5: Yapay sulakalanlar için tasarım kriterleri (Knight ve diğ., 1993).....	21
Tablo 3.6: Sucul organizmalar için gerekli su kalite parametreleri (Payne, 1992).....	22
Tablo 3.7: Sulakalanlardaki bazı bitki türleri için azot depolama ve kullanım kapasiteleri (Reddy ve De Busk, 1987).....	29
Tablo 3.8: Kuzey ABD sulakalanlarının ortalama yükleme hızlarına karşı performansları (Knight ve diğ., 1993).....	33
Tablo 3.9: Atıksu arıtımında yaygın kullanılan çeşitli bitkilerin özel çevre koşulları (Stephenson ve diğ., 1980).....	34
Tablo 4.1: YAAS ve SYAS sulakalan sistemlerinin özellikleri.....	46
Tablo 4.2: Ölçülen parametreler ve analiz yöntemleri.....	50
Tablo 5.1: Atıksu karakterizasyonu.....	51
Tablo 5.2: Köklü (Phragmites, Typhia ve İris) ve yüzücü bitkilerin (Lemna) sabit hidrolik yüklerdeki azot kütle dengeleri ve azot kullanım kapasiteleri.....	53
Tablo 5.3: Köklü ve yüzücü bitkilerin sabit hidrolik yük altında hasatlı ve hasatsız arıtma verimlerinin karşılaştırılması.....	55
Tablo 5.4: Bitkili ve bitkisiz sistemlerin yıllık ortalama arıtma verimleri..	61
Tablo 5.5: YAAS ve SYAS sistemlerinin ortalama giriş ve çıkış azot konsantrasyonları ile arıtma verimlerinin karşılaştırılması.....	62
Tablo 5.6: Bitkilerin yaz ve kış periyodundaki ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile giderimlerinin (%) karşılaştırılması.....	62

Tablo 5.7:	Bitkili ve bitkisiz sistemlerin yıllık ortalama arıtma verimlerinin karşılaştırılması.....	63
Tablo 5.8:	Bitkilerin yaz ve kış periyodundaki ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile arıtma verimlerinin karşılaştırılması.....	63
Tablo 5.9:	YAAS ve SYAS sistemlerinin yaz ve kış periyodundaki ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile arıtma verimlerinin karşılaştırılması.....	64
Tablo 5.10:	Seri sistem düzeneğinden elde edilen yıllık ortalama konsantrasyon ve performans değerleri.....	65
Tablo 5.11:	Seri sistem düzeneğinin yaz ve kış yıllık ortalama konsantrasyon ve performans değerleri.....	66
Tablo 5.12:	Hız sabitleri (20°C’de) ve sıcaklık düzeltme katsayıları (θ).....	77
Tablo 5.13:	Çoklu regresyonla elde edilen tahmini çıkış konsantrasyon denklemleri.....	79
Tablo 5.14:	Gözlenen ve tahmini NH_4^+ -N çıkış konsantrasyonları.....	80
Tablo 5.15:	Gözlenen ve tahmini NO_3^- -N çıkış konsantrasyonları.....	81
Tablo 5.16:	Gözlenen ve tahmini Organik-N çıkış konsantrasyonları.....	82
Tablo 5.17:	Gözlenen ve tahmini TN çıkış konsantrasyonları.....	83
Tablo 5.18:	Hidrolik yükün sabit olduğu farklı sıcaklık aralıklarındaki (0-10 ve 10-25°C) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları.....	85
Tablo 5.19:	Düşük (0-10 °C) ve yüksek (10-25 °C) sıcaklık aralıklarında farklı hidrolik yük altındaki ortalamaların (verimler) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları.....	86
Tablo 5.20:	Sistemlerin yıllık ortalama verimlerinin varyans analiz (tek yönlü-ANOVA) ve Tukey (HSD) test sonuçları.....	86
Tablo A.1:	Ortalama pH konsantrasyonları.....	100
Tablo A.2:	Ortalama sıcaklık konsantrasyonları (°C).....	101
Tablo A.3:	Ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (mg/L).....	102
Tablo A.4:	Ortalama TKN konsantrasyonları (mg/L).....	103
Tablo A.5:	Ortalama NH_4^+ -N konsantrasyonları (mg/L).....	104
Tablo A.6:	Ortalama NO_3^- -N konsantrasyonları (mg/L).....	105
Tablo A.7:	Ortalama organik-N konsantrasyonları (mg/L).....	106
Tablo A.8:	Ortalama TN konsantrasyonları (mg/L).....	107
Tablo D.1:	Sabit hidrolik yük ve farklı sıcaklık aralıklarındaki (0-10 ve 10-25 °C) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları.....	115
Tablo D.2:	Sabit sıcaklık ve farklı hidrolik yüklerdeki (50 ve 80 L/m ² /gün) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları.....	116
Tablo D.3:	Bitkili ve bitkisiz sistemler ile bitkili sistemler arasındaki ilişkileri gösteren varyans analiz (tek yönlü-ANOVA) ve Tukey (HSD) test sonuçları.....	117

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1: Doğal sulakalan.....	5
Şekil 2.2: SYAS sistemleri (a-yüzücü bitkiler, b-batık bitkiler, c-köklü bitkilerin hakim olduğu sistemler).....	6
Şekil 2.3: Yatay yüzeyaltı akışlı (Y-YAAS) bir sulakalan sistemi.....	10
Şekil 2.4: Düşey yüzeyaltı akışlı (D-YAAS) sulakalan.....	10
Şekil 2.5: Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle klasik sistemlerin karşılaştırılması (Kadlec ve Knight, 1996).....	11
Şekil 3.1: Serbest yüzey akışlı bir sulakalanda karbon dönüşümleri (US EPA, 1999).....	14
Şekil 3.2: Bitki köklerinde oksijen taşınımı ve azotun ayrışımı (Reddy ve diğ., 1989).....	30
Şekil 3.3: Köklü ve batık bitkili sulakalan sistemlerinin ikincil arıtmada kullanımı (SWDC, 1999).....	37
Şekil 3.4: Nitrifikasyon fitre yatağının şematik görünümü	37
Şekil 4.1: Pilot ölçekli tesisin fotoğrafı.....	42
Şekil 4.2: Deneysel çalışma düzeneğinin şematik görünümü.....	42
Şekil 4.3: Deneysel çalışma düzeneği I'nın şematik görünümü.....	43
Şekil 4.4: Deneysel çalışma düzeneği II'nin şematik görünümü.....	44
Şekil 4.5: Seri bağlı sistemin şematik görünümü.....	45
Şekil 4.6: Seri bağlı sistemin fotoğrafı.....	45
Şekil 4.7: Su sümbülü (a), Su marulu (büyük olanlar) ve Su eğreltisi (b), Su mercimeği (c).....	46
Şekil 4.8: Elodea (a), Egeria (b) ve Valisneria sp.(c).....	47
Şekil 4.9: Typhla angustifolia (a), İris pseudacorus (b), Kana çiçeği: Canna, Japon şemsiyesi: Cyperus(d).....	47
Şekil 4.9: (Devam) Kara kofa: Juncus efecus (e), Su kamışı: Typhla latifolia (f), Paspalum paspalodes (g), Iris foetidissima (h), Saz: Phragmites communis (i), Halaza: Poaceae (j).....	48
Şekil 4.10: Köklü bitkilerin hasat anından görüntü (1 Kasım 2003).....	49
Şekil 5.1: Giriş ve çıkış suyundaki iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklığın zamansal değişimleri.....	58
Şekil 5.2: YAAS ve SYAS sistemlerde azot yükleme hızları ile giderim hızları arasındaki ilişkilerin zamana bağlı değişimleri.....	67
Şekil 5.3: Arıtma verimlerinin (%) giriş konsantrasyona (mg/L) bağlı değişimleri.....	68
Şekil 5.4: Yük ($g/m^2/gün$) ile giderim hızları ($g/m^2/gün$) arasındaki ilişkiler.....	70
Şekil 5.5: HBS ile arıtma verimleri (%) arasındaki ilişkiler.....	71
Şekil 5.6: Hidrolik yüke bağlı nitrifikasyon (a) ve denitrifikasyon (b) hızlarının değişimi.....	73

Şekil 5.7: Azot için YAAS ve SYAS sistemlerindeki sıcaklık (T-20) ile LogK _T değerleri arasındaki polinom ilişkilerinin denklemleri.....	76
Şekil 5.8: YAAS ve SYAS sistemlerinde azot için çoklu regresyon (tahmin 1) ve kinetik model (tahmin 2) ile elde edilen tahmini çıkış konsantrasyonları.....	84
Şekil B.1: NH ₄ ⁺ -N.....	108
Şekil B.2: NO ₃ ⁻ -N.....	109
Şekil B.3: Organik-N.....	110
Şekil B.4: TN.....	111
Şekil C.1: Canna.....	112
Şekil C.2: Cana, Cyperus, Typhia ve Juncus.....	112
Şekil C.3: Juncus.....	112
Şekil C.4: Typhia Latifolia.....	113
Şekil C.5: Phragmies communis.....	113
Şekil C.6: Paspalum paspalodes.....	113
Şekil C.7: Iris foetidissima.....	114
Şekil C.8: Lemna minor.....	114
Şekil C.9: Seri bağlı sistem.....	114

YAPAY SULAKALAN SİSTEMLERİNDE AZOT GİDERİMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın esas amacı içme suyu kaynaklarına dereler ve yüzeysel akışlarla giriş yapan yayılı kaynaklardaki azotlu kirleticilerin yapay sulakalanlarla giderilmesidir. Deney sistemleri sürekli akış modunda olup performansları yaklaşık 2 yıllık bir periyotta incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar üç grupta gerçekleştirilmiştir. Birinci ve ikinci grupta yapılan deneysel çalışmalarda pilot ölçekli serbest su yüzeyli (SYAS) ve yüzeyaltı akışlı (YAAS) yapay sulakalanlar kurulmuştur. Omerli havzasını kirleten dereler ile Paşaköy Biyolojik Arıtma Tesisi çıkış sularının karakterlerinin benzer oldukları düşünüldüğünden tesisin çıkış suları sulakalan sistemlerinin beslenmesinde kullanılmıştır. Çalışma periyodu süresince uygulanan hidrolik yükleme hızları sırayla 30, 50, 70, 80 ve 120 L/m²/gün'dür.

Arıtma verimleri üzerine bitki türlerinin etkilerini incelemek için farklı türlerde köklü (*Canna*, *Cyperus*, *Typhia spp.*, *phragmites spp.*, *Juncus*, *Poaceae*, *Paspalum* ve *Iris*), yüzücü (*Pistia*, *Salvina* ve *Lemna*) ve batık (*Valisneria* ve *Elodea-Egeria*) bataklık bitkileri kullanılmıştır.

Phragmites, *Typhia*, *Iris* and *Lemna* bitkileri köklü ve yüzücü bitkilerdeki azot kullanım kapasitelerini yaklaşık olarak belirlemek için seçilmiştir. Köklü ve yüzücü bitkilerin azot kullanım kapasiteleri 1.20-2.84 kg/ha/gün aralığı içerisinde değişmektedir. Giriş suyundaki azotun yaklaşık %2-%9.8'i köklü ve yüzücü bitkilerin hasatlanmasıyla giderilmiştir.

Sistemlerin farklı hidrolik yükleme hızları, hidrolik bekletme süreleri ve azot yükleme hızlarındaki arıtma verimleri incelenmiş ve sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bitkili YAAS ve SYAS sistemlerindeki arıtma verimleri bitkisiz sistemlerden daha yüksektir. Bitkili YAAS ve SYAS sistemlerindeki yıllık ortalama NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, organik-N ve TN arıtma verimleri sırayla; %73 ve %57, %37 ve %58, %73 ve %68, %44 ve %60'dır. Bitkisiz YAAS ve SYAS sistemlerindeki yıllık ortalama NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, organik-N ve TN arıtma verimleri sırayla; %47 ve %34, %23 ve %22, %41 ve %24, %30 ve %27'dir. SYAS sulakalan sistemleriyle kıyaslandığında YAS sistemlerinde NH₄⁺-N arıtma verimleri daha yüksektir. Buna karşın SYAS sistemlerinde de denitrifikasyon ve amonyağın uçurulmasından dolayı nitrat ve TN arıtma verimleri daha yüksektir. Batık bitkilerdeki arıtma verimleri diğerlerine nazaran daha düşüktür.

Üçüncü grupta yapılan deneysel çalışmalarda, azotun daha ileri seviyelere kadar arıtılabilirliğini test edebilmek pilot ölçekli seri bağlı bir sistem kurulmuştur. Deney

sistemi sırayla köklü, yüzücü ve batık bitkilerden oluşan 3 adet reaktörden oluşmaktadır. Kullanılan bitkiler *Canna-Cyperus-Typhia-Juncus* (köklü), *elodea-egeria* (batık) ve *Lemna, Pistia* ve *Salvina* (yüzücü). Seri sistemin yıllık ortalama $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ve TN arıtma verimleri sırayla %89, %73 ve %77'dir. Bu sonuçlar bize seri bağlı sistemin azot giderimini iyileştirdiğini göstermektedir.

İstatistiksel analiz sonuçları YAAS ve SYAS sistemlerindeki ortalama verimler üzerine sıcaklık ve hidrolik yükleme hızlarının %95 olasılıkla ($p<0.05$) etkili olduğu fakat bitki türlerinin etkili olmadığını göstermiştir.

İki farklı türde model (birinci dereceden piston akım veya kinetik ve çoklu regresyon) konsantrasyonlarının tahmini için kullanılmıştır. Çoklu regresyon modelde gözlenen değerlerle tahmini değerler arasındaki hata karelerinin toplamı daha küçük olduğu için kinetik modele kıyasla gözlenen değerlere daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak çıkış konsantrasyonlarının tahmininde çoklu regresyon modelleri daha iyi sonuçlar alınmıştır. Çoklu regresyon modelleri giriş konsantrasyonları (mg/L), pH ve hidrolik yükleme hızları (HLR) ($\text{L}/\text{m}^2/\text{d}$)'na bağlı üç farklı değişkenden oluşmaktadır. Bu değişkenlerle elde edilen regresyon katsayıları (R^2 : 0.5-0.9) gözlenen ve tahmini çıkış konsantrasyonları arasında ılımlı derecede bir korelasyonun olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen diğer temel sonuçlar aşağıda verilmektedir;

- Yükleme hızları ($\text{g}/\text{m}^2/\text{gün}$) ile azot giderim hızları ($\text{g}/\text{m}^2/\text{gün}$) arasında güçlü doğrusal ilişkiler (R^2 : 0.72-0.94) bulunmuştur. Giderim hızları yükleme hızlarına bağlı olarak artmaktadır.
- Hidrolik bekletme süreleri ile arıtma verimleri (%) arasında zayıf üstel ilişkiler (R^2 : 0.009-0.61) bulunmuştur. Her iki sistemde de hidrolik bekletme sürelerindeki artışla verimler başlangıçta artmış ve daha sonra sabit bir değere doğru hızlıca düşmüştür. Bu sabit değerler ise çalışma periyotlarının dışına taşmıştır.
- YAAS ve SYAS sistemlerindeki nitrifikasyon, denitrifikasyon ve amonyaklaşma hızı sabitleri sırayla 0.898 d^{-1} ve 0.541 d^{-1} , 0.486 d^{-1} ve 0.502 d^{-1} , 0.986 d^{-1} ve 0.908 olarak bulunmuştur.

Bu araştırma sonuçları özellikle göl ve baraj sularının kirlenmesinde önem taşıyan azot kaynaklı kirlenme kontrolünde yapay sulakalan sistemlerinin etkin olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

INVESTIGATION OF PARAMETERS AFFECTING THE NITROGEN REMOVAL IN THE CONSTRUCTED WETLAND SYSTEMS

SUMMARY

The primary goal of this study was to decrease nitrogen from the waters joining the drinking water reservoirs like creeks and surface flows by constructed wetland. The experimental systems were carried out at continuous flow mode and the treatment performance of the systems were investigated during two-years period.

Experimental studies were carried out in three groups. In the first and the second group of experiments, pilot-scale free water surface (FWS) and subsurface flow (SSF) constructed wetland systems were built. Biologically treated wastewater from the outlet of the wastewater treatment plant (Paşaköy Biological Nutrient Removal Plant) was fed to the system because the effluents of plant and creek waters at the entrance of the Omerli dam were thought to have similar characteristics. During study period HLRs were 30, 50, 70, 80 and 120 L/m²/d respectively.

In order to investigate the effects of the plant species on the removal efficiencies, emergent (*Canna*, *Cyperus*, *Typhía spp.*, *Phragmites spp.*, *Juncus*, *Poaceae*, *Paspalum* and *Iris*.), submerged (*Valisneria* and *Elodea-Egeria*) and floating (*Pistia*, *Salvinia* and *Lemna*) marsh plants at different species.

Nitrogen removal efficiencies in different hydraulic loadings, hydraulic residence times and nitrogen loading rates (g/m²/gün) of the systems were examined and their results were evaluated statistically.

Phragmites, *Typhía*, *Iris* and *Lemna* plants were selected to determine rates of N uptake by emergent and floating plants. The total N uptake rate of submerged and floating plants are within the range of 1.20-2.84 kg/ha/d. The total N removal efficiencies by emergent and floating plants with harvesting are within the range of 2-9.8 %.

The planted SSF and FWS systems have higher performances than unplanted systems (control). The average annual NH₄-N, NO₃-N, organic N and TN treatment efficiencies in the planted SSF and FWS wetlands are 73% and 57%, 37% and 58%, 73% and 68%, 44% and 60%, respectively. The average annual NH₄-N, NO₃-N, organic N and TN treatment efficiencies in the unplanted SSF and FWS wetlands are 47% and 34%, 23% and 22%, 41% and 24%, 30% and 27%, respectively. The SSF systems demonstrated better performance for the removal of NH₄-N when compared with the FWS systems. However, the FWS systems demonstrated better performance for nitrate and TN removal due to volatilization of ammonia. Submerged plants demonstrated the lowest pollutant removal efficiencies within all systems.

In the third group of experiments, a pilot-scale serial (constructed wetland-aquatic pond) system was used in order to test the ability of the nitrogen (and other pollutants) to treat in more advanced levels. The experimental system consists of three serial-operated connected tanks. Plant species include *Canna-Cyperus-Typhia-Juncus* (emergent), *elodea-egeria* (submerged) and *Lemna, Pistia and Salvina* (floating).

The average $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and TN treatment efficiencies in the serial system are approximately 89%, 73% and 77%, respectively. These results showed that the serial system enhances nitrogen removal.

Statistical analysis results showed that variations in plants species produced significant effects the annual average removal efficiencies (at different temperatures and HLRs) in both systems at the significance level of 0.05. Variations in HLRs in SSF systems at constant temperatures were very significant for affecting removal efficiencies. On the other hand, variations in HLRs in FWS systems at constant temperatures were not very significant for affecting removal efficiencies.

Statistical analysis results showed that variations in temperature and HLRs were effective on the average removal efficiencies in both systems at the significance level of 0.05. On the other hand, variations in plants species at constant temperature and HLRs were not very significant on the average removal efficiencies.

Two different types of the models (first-order plug flow or kinetic and multiple regression model) were used to estimate the effluent concentrations of the systems. Since the sum of squares of the errors (STD) between the observed and the predicted concentrations indicated the least error in prediction, the results of regression model were deemed to be the best in predicting effluent concentrations. Multiple regression models include variables as influent concentration (mg/L), pH, and hydraulic loading rate (HLR) ($\text{L}/\text{m}^2/\text{d}$). The R values (R^2 : 0.5-0.9) obtained from these variables derived by multivariate analyses indicated a satisfactory correlation between predicted and observed effluent concentrations.

Other main results of studies are given below;

- The results indicated that relationships between nitrogen loading rates ($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$) and removal rates ($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$) are obviously linear (R^2 : 0.72-0.94), with removal rate increasing as loading rate increases.
- The results indicated that relationships between HRTs (day) and removal efficiencies (%) are exponential. These relationships are fairly poor (R^2 : 0.009-0.61). For each parameter in both system types, there is, at a minimum, a slight initial increase in removal efficiency as HRT increases. However, $\text{NH}_4\text{-N}$ removal efficiencies quickly level off to a fixed or nearly fixed value. This fixed values occur beyond the operational conditions.
- Nitrification, denitrification and ammonification rate constants (k_{20}) values in SSF and FWS systems have found as 0.898 d^{-1} and 0.541 d^{-1} , 0.486 d^{-1} and 0.502 d^{-1} , 0.986 d^{-1} and 0.908 respectively.

This thesis shows that constructed wetland systems can be used effectively for the control of nitrogen originated pollutants which have a great importance on the pollution of lakes and reservoirs.

1.GİRİŞ

1.1 Genel

Avrupa’da sulardaki organik ve inorganik kirleticilerin giderimini sağlamak için ilk pilot ölçekli sucul bitkilerle arıtım sistemlerinin deneysel çalışmaları 1950’li yıllarda başlamış ve halen de devam etmektedir. Danimarka, Almanya ve İngiltere’nin her birinde, sızıntı sularını arıtan yaklaşık 200 adet sulakalan mevcuttur (**Brix, 1994**). Günümüzde atıksu arıtımı için yapay sulakalanlar dünyanın pek çok ülkesinde ve hatta kışları oldukça uzun ve sert geçen Norveç (**Jenssen ve diğ., 1993**), Çek Cumhuriyeti (**Vymazal, 1993**) ve Sovyetler Birliği’nin dağılmasıyla ortaya çıkan yeni Cumhuriyetlerde (**Magmedov ve diğ., 1994**) dahi mevcuttur. Sonuç itibarıyla yapay sulakalanları Antartika hariç dünyanın her bir bölgesinde özellikle arazi masraflarının düşük olduğu küçük yerleşim bölgelerinde görmek mümkündür. Son yirmi yıl içerisinde sulakalanlar su kirliliği kontrolünde oldukça yaygın şekilde kullanılmaya başlanılmışlardır. Bunun en temel sebeplerinden birisi sulakalanların önemli ekolojik işlevleri olan birer habitat ortamları olmaları yanında ucuz ve basit atıksu arıtma sistemleri olarak da kullanılabilmeleridir (**Hammer ve Knight, 1994**). Klasik sistemlerle kıyaslandığında sulakalanlar hem daha iyi arıtma performansları sağlayan hem de daha ucuz ve çamur oluşturmeyen sistemlerdir.

Azot, su ortamında çok farklı formları bulunan bir elementtir. Bu sebeple azot yüzeysel su kaynaklarında çevresel faktörlerin de etkisiyle bir formdan diğerine sürekli bir geçiş halindedir. Ayrıca azot ve fosfor sucul organizmaların büyümesi için gerekli besin maddesidir. Noktasal ve yayılı kirletici yüklerin su kaynaklarında oluşturduğu ötrofikasyon neticesinde çürüyen alglerle suyun bulanıklaşması, kötü koku, çözünmüş oksijen eksikliği, canlı türlerinin ve sayılarının azalması gibi bir çok etkenlerle su kalitesi giderek bozulma süreci içerisine girmektedir. Bu sebeple su kaynaklarının korunması ve su kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Su kirlenmesi kontrolü, o bölgenin iklimine ve arazi durumuna uyan en ekonomik teknolojilerle sağlanmalıdır. Dünyanın pek çok yerinde bu problemler

doğal sistemlerle çözülmektedir. İklimin uygun ye arazi fiyatlarının düşük olduğu bölgelerde doğal arıtma teknolojileri arasında enerjiye bağımlılığı en az olan ve çamur problemi olmayan yapay sulakalan teknolojileri büyük önem kazanmaktadır. Bu sebeple de; çevre problemlerine ayrılabilir mali kaynakların sınırlı ve enerji sıkıntısının bulunduğu ülkemizde bu yeni metotların denenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Su kalitesinin iyileştirilmesi için kullanılan sulakalanların performansları hidrolik yükleme hızına (birim zamanda birim alan başına verilen atıksu miktarı) ve sulakalanların hidrolojik ve ekolojik özelliklerine bağlı değişmektedir. Azot giderim verimi uygun yükleme hızlarıyla, uygun hidrolik akım şartlarıyla ve dolgu malzemesi içerisine uygun adsorbantların ilave edilmesiyle optimize edilebilir **(Verhoeven ve Meuleman, 1999)**. Yapay sulakalanlarda kirletici giderimi ile giderimi etkileyen parametreler arasındaki ilişkileri tam olarak ortaya koyabilecek matematik modellemelerin geliştirilmesinde kinetikle ilgili çalışmalardan elde edilen verilerin büyük bir önemi vardır. Yapay sulakalan sistemleri genellikle biyofilm kullanan biyolojik reaktörler olarak kabul edilmekte, reaksiyonlar da piston şartlarının akım kinetiğiyle açıklanmaktadır **(Reed ve diğ., 1995)**.

1.2 Konu

Bu çalışmada, yüzeysel su kaynaklarına gelen azotlu kirleticilerin yapay sulakalan yöntemiyle arıtılması incelenmiştir. Bu amaç çerçevesinde çeşitli bitkilerden düşük arazi ölçekli serbest yüzey akışlı ve yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan sistemleri kurulmuştur. Farklı türde yüzücü, batık ve köklü bitkiler kullanılarak bitkilerin arıtma katkıları incelenmiştir. Değişik hidrolik yüklemelerdeki performansların bitki türlerine ve sıcaklığa bağlı olarak istatistiksel bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen dataların birinci dereceden kinetik modele uygunluğu test edilmiş ve çoklu lineer regresyon modeline dayanılarak kirleticiler için tahmini çıkış konsantrasyonlarını veren bağıntılar geliştirilmiştir.

1.3 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın esas amacı, pilot ölçekli yapay sulakalan sistemlerinde azotlu bileşiklerin giderimi ve performansı üzerine etkili parametrelerin araştırılmasıdır. Bu

maksatla çalışmanın ilk aşamasında, TÜBİTAK-MAM kampüsünde kurulmuş olan pilot ölçekli sistemler üzerinde yüzücü, batık ve köklü bataklık bitkileriyle piston akımlı yapay sulakalanlar teşkil edilerek su kaynaklarına gelen azotlu kirleticilerin giderimleri incelenmiştir. Ömerli havzasına dereler yoluyla giriş yapan kaynakların karakterizasyonu Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının karakterizasyonuna oldukça benzerlik gösterdiğinden sistemin beslenmesinde kullanılmıştır.

Bundan önceki çalışmalarda yapay sulakalanların genelde ikinci kademe çıkış sularının ya da yağmur sularının arıtımında kullanıldığı göz önüne alındığında bu çalışma sonuçlarının literatürde bu alandaki büyük bir boşluğu gidereceği düşünülmektedir. Bu çalışma aynı zamanda Türkiye'deki sulakalan çalışmaları için bir örnek teşkil etmesi sebebiyle bundan sonraki yapılacak sulakalan çalışmaları için de bir alt yapı özelliği taşımaktadır.

Yaklaşık bir yılı aşkın çalışma süreci içerisinde bitkilerin mevsimsel gelişimleri dayanıklılıkları izlenmiştir. Çalışma sonunda hidrolik yük, bitki türü, sıcaklık ve pH'a bağlı olarak her bir sistemin performansları tespit edilmiş ve karşılaştırılmaları yapılmıştır. Hidrolik yükleme hızının çıkış kalitesiyle olan ilişkisinin belirlenebilmesi için artan oranlarda 5 farklı hidrolik yükleme denenmiş ve bu hidrolik yükleme hızı ile arıtma verimleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bitkilerin arıtım üzerine etkilerinin ortaya konulması için bitkili ve bitkisiz sistemlerin arıtma verimleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın diğer bir aşamasında köklü, yüzücü ve batık bitkilerden kurulu seri bağlı sistemde azotun daha üst seviyelere kadar arıtılıp arıtilamayacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen deneysel verilerle azot giderimi üzerine etkili faktörler ve birinci derece kinetik sabitler belirlenmiştir. Bu maksatla kirletici giderim hızlarının ve bu hıza etki eden faktörlerin belirlenebilmesi için her bir sistemin ayrı ayrı birinci dereceden kinetik hız ifadeleri elde edilmiş ve bu hızlar üzerine sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Çoklu regresyon denklemleri ile giriş konsantrasyonları, hidrolik yükleme hızı ve pH'a bağlı olarak tahmini çıkış konsantrasyonları elde edilmiş ve kinetik modelle elde edilen tahmini çıkış konsantrasyonları ile karşılaştırılmıştır.

2. SULAKALAN SİSTEMLERİ

2.1 Su Bitkilerine Dayanan Arıtım Sistemleri

Doğal atıksu arıtımında fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler eşzamanlı olarak çalışır ve su, toprak (veya dolgu malzemesi), bitkiler, mikroorganizmalar ve atmosfer sürekli bir etkileşim içerisinde. Bu prosesler çökelme, süzülme, gaz taşınımı, yüzeye alınma, iyon değişimi, kimyasal çökelme, kimyasal oksitlenme ve indirgenme, yanında güneş ışığıyla oksitlenme, bitkilerle solunum ve bitkilerle kullanım gibi biyolojik dönüşümlerdir. Klasik sistemlerde arıtım enerji girdisiyle hızlandırılmıştır ve ardışık olarak ayrı ayrı reaktörlerde gerçekleşir. Doğal sistemlerde ise bunun tersine arıtım aynı reaktör içerisinde doğal hızlarda ve eş zamanlı olarak yürür. Bir doğal sistemde enerji ihtiyacı genellikle atıksuyun iletimi için gerekli olan enerji ile sınırlıdır. Bunun dışında arıtımın sürdürülmesi için harici bir enerjiye ihtiyaç duyulmaz. Doğal sistemler ya zemin ağırlıklı (arazi üzerinden akıtma, infiltrasyon, lagünler, stabilizasyon havuzları vb.) veya su bitkilerin hakim olduğu sucul ekosistemler (sulakalanlar) şeklinde yapılır. Havuz sistemlerinin performanslarını genelde mikroorganizmaların yaşamları ve köklü bitkilerden daha düşük yapılı bitkiler (algler gibi) ve hayvanlar etkilemesine karşın sulakalanlarda mikroorganizmaların yanısıra daha yüksek yapılı bitkiler (köklü bitkiler gibi) arıtım üzerinde etkilidirler (Qasım, 1999).

2.2 Havuz Sistemleri

Su bitkileriyle arıtım sistemleri içinde dahil edilen havuz sistemleri (lagünler, stabilizasyon havuzları gibi) genellikle atıksuları depolamak ve kısmi arıtım yapmak için kullanılırlar. Oksijene bağlı olarak aerobik, anaerobik ve fakültatif olmak üzere üç farklı türe ayrılır. Tümünde de temel arıtım mikroorganizmalarla mikroskobik bitkiler (algler) arasındaki temel ilişkilere yani mikrobiyolojik arıtmaya dayanmaktadır. Havuz sistemlerinin çoğunda hem performans hem de çıkış suyu kalitesi sistemdeki mevcut alglere bağlıdır. Algler biyolojik arıtmada rol oynayan

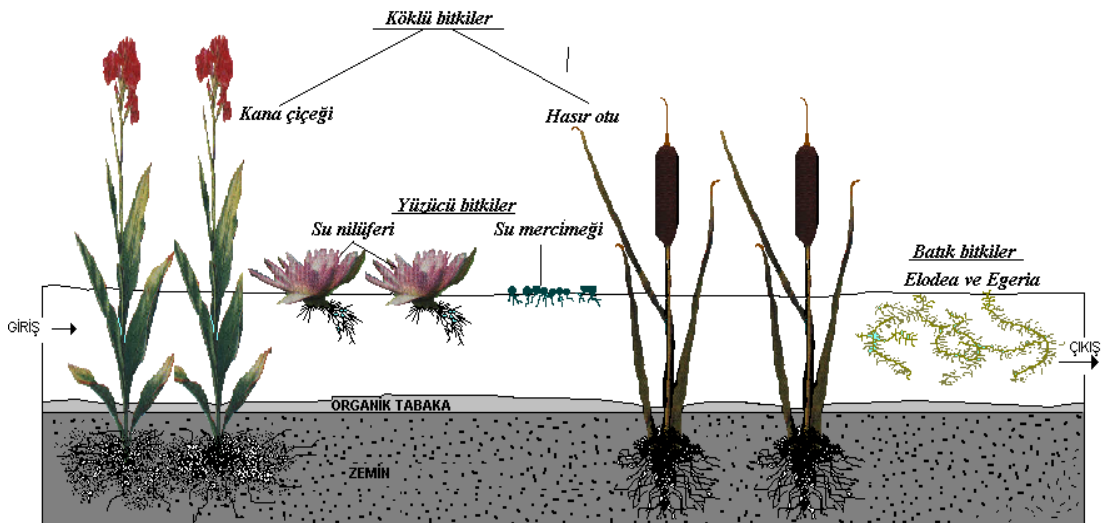
diğer canlılara oksijen temin ettikleri gibi alg-karbonat reaksiyonlarıyla etkili bir azot giderimini sağlarlar (Qasım, 1999).

2.3 Sulakalanlar

Sulakalanlar su tablasının toprak seviyesinde veya daha yukarısında (>0.6 m) olduğu suya bağımlı alanlardır. Sulakalanların yapısı içerisindeki vejetasyon hem bakteri filmlerinin teması için bir temas yüzeyi oluştururlar hem de atıksudaki kirleticilerin filtrasyonunda adsorpsiyonunda rol oynarlar. Bitkilerin yapraklarıyla köklerine transfer ettikleri oksijen sayesinde bu bölgede ve yakın çevresinde çok yoğun bir mikrobiyolojik faaliyet gerçekleşmektedir. Çok geniş bir aralıkta aerobik ve fakültatif bakteri grupları bitki kökleri tarafından desteklenmektedir. Sulakalanlarda alglerin büyümesi güneş ışığının penetrasyonun engellenmesiyle kontrol altına tutulmaktadır. Doğal ve yapay olmak üzere iki farklı sulakalan mevcuttur (Qasım, 1999).

2.4 Doğal Sulakalanlar

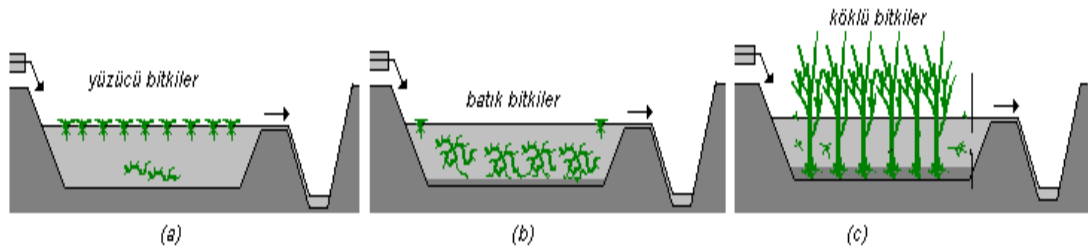
Doğal sulakalanlar çoğu kez alıcı suların bir parçası olarak kabul edilmektedir. Doğal sulakalanlara atıksu deşarjındaki maksat mevcut habitatın iyileştirilmesidir. Bu sebeple de sisteme ikinci veya ileri düzeyde arıtılmış atıksu deşarjları verilebilmektedir. Şekil 2.1’de yüzücü, batık ve köklü bitkilerin tümünü içeren bir doğal sulakalan sistemi görülmektedir.



Şekil 2.1: Doğal sulakalan

2.5 Yapay Sulakalanlar

Yapay sulakalanlar doğal bir ekosisteme olan deşarjla ilgili kısıtlamalar olmaksızın doğal sulakalanlardaki mevcut tüm arıtıma yeteneğini bünyesinde bulunduran sistemler olup doğal sulakların atıksu arıtımı için planlanmış şekilleridir. Yapay sulakalanlar ya serbest yüzey akışlı (SYAS) sistemler veya yüzeyaltı akışlı (YAAS) sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. SYAS sistemlerinde su yüzeyi atmosferle temas halinde, YAAS sistemlerinde ise su bir dolgu malzemesi arasından aktığı için atmosferle temas halinde değildir. SYAS sistemleri köklü, yüzücü ve batık türde olan üç farklı vejetasyonun sistemdeki baskınlığına bağlı olarak üç farklı alt kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar sırayla: köklü bitkilerle arıtım sistemleri, yüzücü bitkilerle arıtım sistemleri ve batık bitkilerle arıtım sistemleridir. YAAS sistemlerde ise yüzücü ve batık bitkiler değil tamamen köklü bitkiler kullanılmakta olup tamamen atıksuyun akışına bağlı olarak iki farklı türde incelenmektedir. Bunlar sırayla: yatay yüzeyaltı akışlı ve düşey yüzeyaltı akışlı sistemlerdir. Şekil 2.2’de vejetasyonun sistemdeki baskınlığına bağlı olarak değişen farklı SYAS sistemleri görülmektedir (**Tousignant ve diğ., 1999**).



Şekil 2.2: SYAS sistemleri (a-yüzücü bitkiler, b-batık bitkiler, c-köklü bitkilerin hakim olduğu sistemler)

2.5.1 Serbest yüzey akışlı sulakalan (SYAS)

Genelde ikinci veya ileri kademe arıtım amacıyla kullanılmaktadır. Havuz veya kanal biçiminde olup, geçirimsiz bir tabana sahip sığ (su derinliği 60 cm) havuzlardır. Bitkilerin sap, gövde ve kökleriyle akım yavaş ve düzenlidir. Özellikle dar ve uzun kanallarda kısa sirkülasyonlar minimum düzeydedir. Şekil 1’de görüldüğü gibi bu sulakalan içerisinde tüm bitki türleri (yüzücü, batık ve köklü) barınabilmektedir (**Reed ve diğ., 1995**).

Hidrolojik rejimi doğal sulakalanlarla benzerdir. Fakültatif lagünlere benzerse de bir çok farklı yapısal (giriş ve çıkış yapısı) ve fonksiyonel özellikler taşımaktadırlar. Sığ

olanları ise aerobik lagünlerle büyük benzerlik taşırlar. Bitkilerden dolayı net karbon üretimi fakültatif havuzlardan daha yüksektir. Çünkü oksijenin yetersiz olduğu su kolonunda hem organik karbonun yavaş ayrışımından hem de ayrışımına karşı direncin fazla olmasından dolayı yapısal karbon üretimi çok yüksektir.

SYAS sistemlerinde bazen yüzücü, batık ve köklü bitkilerin tümü belirli ağırlıklarda kullanılabilir. Buradaki amaç bir türün olumsuz tarafının başka bir türle dengelenmeye çalışılmasıdır. Örneğin sadece köklü bitkilerin kullanıldığı bir SYAS sisteminde yüzücü bitkilerde bu sisteme dahil edilerek sivrisinek problemi önlenir (Reed ve diğ., 1995).

2.5.1.1 Yüzücü bitkilerin hakim olduğu SYAS sistemleri

Atıksudaki nütrientleri gidermek ve algleri kontrol altına almak için baskın olarak su mercimeği (*Duckweed*) ve su sümbülü (*Water hyacinth*) gibi yüzücü bitkilerin kullanıldığı SYAS sistemleridir (Şekil 2.2.a). Bu tür sistemlerde genelde bitkilerin sürüklenerek bir yöne yığılmasını önlemek ve bitkiler üzerine rüzgarın olumsuz etkisini azaltmak için yüzücü bariyerler kullanılmaktadır. Atıksu arıtımında en yaygın kullanılan bitki türleri su sümbülü (*water hyacinth*), su mercimeği (*duckweed*), su eğreltisi, su marulu ve su nilüferi'dir.

Su sümbülü yüksek üretkenliği sebebiyle atıksu arıtımı uygulamalarında çok geniş yer bulmuştur. Hem ikincil (BOİ giderimi) hem de üçüncül arıtım (nütrient giderimi) için kullanılmaktadır. Organiklerin ayrışması ve azotun mikrobiyolojik dönüşümü (nitrifikasyon-denitrifikasyon) eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Bekletme süresi atıksuyun özelliklerine ve çıkış kalitesindeki beklentilere bağlı olarak (örneğin ileri arıtım için >6 gün) değişmektedir (Reddy ve diğ., 1989).

Askı maddeleri hem sedimentasyonla hem de biyolojik olarak ayrıştırmayla giderilirler. Bitki köklerindeki elektriksel yükler; askı maddeleri gibi kolloidal maddelerin üzerindeki zıt yüklü iyonlarla reaksiyona girmesine ve böylece onların köklere bağlanmasıyla orada ayrıştırılmalarına ve bitki ile mikroorganizmaların asimilasyonuna sebep olmaktadır. BOİ giderimindeki üstün performansı ve mikrobiyal denitrifikasyon için en iyi şartları sağlamasındaki yeteneği yapraklarından rizosfere oksijeni taşıma kapasitesiyle ilgilidir (Reddy ve diğ., 1989). Bitki dokuları kuru ağırlık olarak %1,6-3,7 (ort.:2,9) Kjeldahl azotu içermektedir. Bitki üreme hızı 220 kg/ha/gün olup bunun azot içeriği; 10kg/ha/gün'dür.

Su mercimeğinin atıksu arıtımında kullanılan en yaygın türleri *Lemna sp.*, *Spirodela sp.*, ve *Wolffia sp.*'dir. Atıksu arıtımında su sümbülünden daha fazla uygulama alanı bulmuştur. Çoğu BOİ ve AKM giderimi için tasarlanmışlardır. Bunlar 1-3°C'den daha düşük sıcaklıklarda bile büyüebilmektedirler.

Su sümbülüyle kıyaslandığında; kök sistemleri çok geniş bir alana yayılmadığından mikroorganizmalar için daha düşük bir temas yüzeyi sağlarlar ve atıksu arıtımına doğrudan etkileri daha düşüktür. Su yüzeyini tamamen kapladıklarından hem su yüzeyine difüzyonla oksijen girişini hem de çok zayıf ışık penetrasyonundan dolayı fitoplanktonun oksijenin üretimini (fotosentez) engellerler. Bu nedenle su genellikle anaerobik hale geçer ve ortama denitrifikasyon hakim olur. Diğer yüzücü bitkilerden en az iki kat daha fazla büyüme hızına sahip olduklarından uygun sıcaklıkta (27°C) su yüzeyindeki kapladıkları alanı 4 gün içinde iki katına çıkarırlar. Su sümbülleriyle kıyaslandığında hasatlanan biyokütlenin besi maddesi (azot ve fosfor) içeriği daha yüksektir ve en az iki katı kadar protein, yağ, azot ve fosfor içerir **(Reed ve diğ., 1995)**.

2.5.1.2 Batık bitkilerin hakim olduğu SYAS sistemleri

Bu tür sistemler henüz deney aşamasındadırlar (Şekil 2.2.b). Genelde birinci ve ikinci arıtımı takiben nihai arıtım kademesi olarak kullanılmaktadırlar **(Brix, 1994)**. Bu bitkiler için uygun su sıcaklığı 10-25°C'dir. Bu tür bitkilerin fotosentez yapan dokuları su içerisinde kalmaktadır. Batık bitkiler kirletilmiş sulardaki nütrientleri asimile edebilmektedirler ve yalnızca oksijenlendirilmiş sularda çok iyi büyüebilmektedirler.

Organik maddelerin biyolojik ayrışımı anoksik şartları oluşturduğundan yüksek oranda kolay ayrışabilen organik maddeleri içeren atıksularda kullanılamamaktadırlar. Bu nedenle bu tür sistemlere ikincil arıtılmış su verilerek ileri arıtma yapılmaktadır. Bu tür bitkiler sudaki çözünmüş inorganik karbonu tüketir ve yüksek oranda fotosentez faaliyetiyle çözünmüş konsantrasyonunu artırır. Böylece pH artarken amonyanın uçurularak giderilmesi ve fosforun da kimyasal olarak çöktürülmesi sağlanabilir. Ayrıca yüksek oksijen içeriği sudaki organik maddelerin ayrışması için en uygun şartları sağlar. Bitkilerle asimile edilen nütrientler ekseriyetle bitkilerin kök dokularıyla ve köklerle temas halindeki mikroflora tarafından tutulmaktadır.

2.5.1.3 Köklü bitkilerin hakim olduğu SYAS sistemleri

SYAS sistemleri içerisinde en yaygın olan türüdür (Şekil 2.2.c). Seri halinde kanallardan veya havuzlardan ibaret olup yeraltına sızmanın önlenmesi için taban yapısı kil gibi sızdırmaz bir materyalle kaplıdır. Köklü bitkilerin (*Kamış: Cattail* ve *Saz: Bulrush* gibi) dikilmesi ve desteklenmesi için geçirimsiz tabakanın üzerinde belirli bir kalınlıkta toprak tabakası bulundurulur. Sığ derinlikli olduğu için yavaş akım şartları uygulanmaktadır (**Hamilton ve diğ., 1993**). Çökeltme işlemiyle atıksudaki çökebilir katılar ve partikül formundaki N ve P giderilir ve sonuçta atıksuyun BOI_5 değeri düşürülür. Zamanla tabanda nütrientce zengin bir çamur tabakası hasıl olur. Makrofitler (gözle görülebilen damarlı bitkiler) kökleriyle bu çamur bölgesine oksijen transfer ederek mikroorganizmaların kirleticileri aerobik olarak ayrıştırmasına yardımcı olurlar (**Tousignant ve diğ., 1999**).

2.5.2 Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalanlar (YAAS)

YAAS sistemler SYAS sistemler gibi benzer giderim mekanizmalarını kullanmaktadır. Yüzeyaltı akışlı sistemlerde atıksu yüzey altından aktığı için çakıl gibi bir dolgu malzemesi ile temas halindedir. Bu sebeple de bakterilerin büyümesi için daha yüksek bir yüzey alanı ve daha yüksek bir organik yüke müsaade etmektedir.

Temel giderim mekanizmaları; filtrasyon, çökeltme ve mikrobiyolojik ayrışım olup serbest yüzey akışlılarla benzer niteliktedir. Atıksuyun akışına göre yatay veya düşey akışlı olarak ikiye ayrılırlar. Düşey akışlılar daha çok kesikli olarak (batch process) işletilip sistemin tam doygun hale getirilmesi önlenerek atmosferden difüzyonla daha kolay oksijen transfer edilmesini sağlar (**Reed ve diğ., 1995**).

2.5.2.1 Yatay yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemi (Y-YAAS)

Yüzeyaltından giren atıksu çıkış bölgesine (genelde taban kısmında) ulaşana kadar gözenekli yatak malzemesi içerisinde (yüzeyi geçmeyecek şekilde) yavaşça akmaktadır. Bu yavaş akım sayesinde atıksu aerobik, anoksik ve anaerobik bölgelerle temas eder. Aerobik bölge olarak tanımladığımız yerler substrat ortamına oksijen transferi yapan kökler ile rizomların yakın çevresi olmaktadır.

Şekil 2.3’de yatay yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemi görülmektedir (Moshiri, 1993). Yatay akışlılarda olduğu gibi düşey akışlı sistemlerde de kullanılan en yaygın bitki türü su sazları (*Common reeds*)’dır.

Bununla birlikte büyük su kamışları (*Cattail*) ve sazlıklar (*Bulrush*) da çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

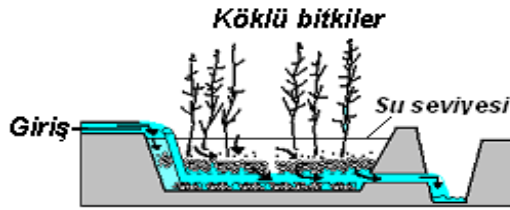


Şekil 2.3: Yatay yüzeyaltı akışlı (Y-YAAS) bir sulakalan sistemi

2.5.2.2 Düşey yüzeyaltı akışlı sulakalan sistemi (D-YAAS)

Düşey akışlı sistemler klasik biyolojik filtrelere (damlatmalı filtreler) prensip olarak çok benzerdir (Cooper ve diğ., 1996). Yatay akışlılarda olduğu gibi düşey akışlı sistemlerde de kullanılan en yaygın bitki türü su sazları (*Common reeds*)’dır.

Bununla birlikte büyük su kamışları (*Cattail*) ve sazlıklar (*Bulrush*) da çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.4’de tipik bir düşey akışlı sistem görülmektedir (Moshiri, 1993).

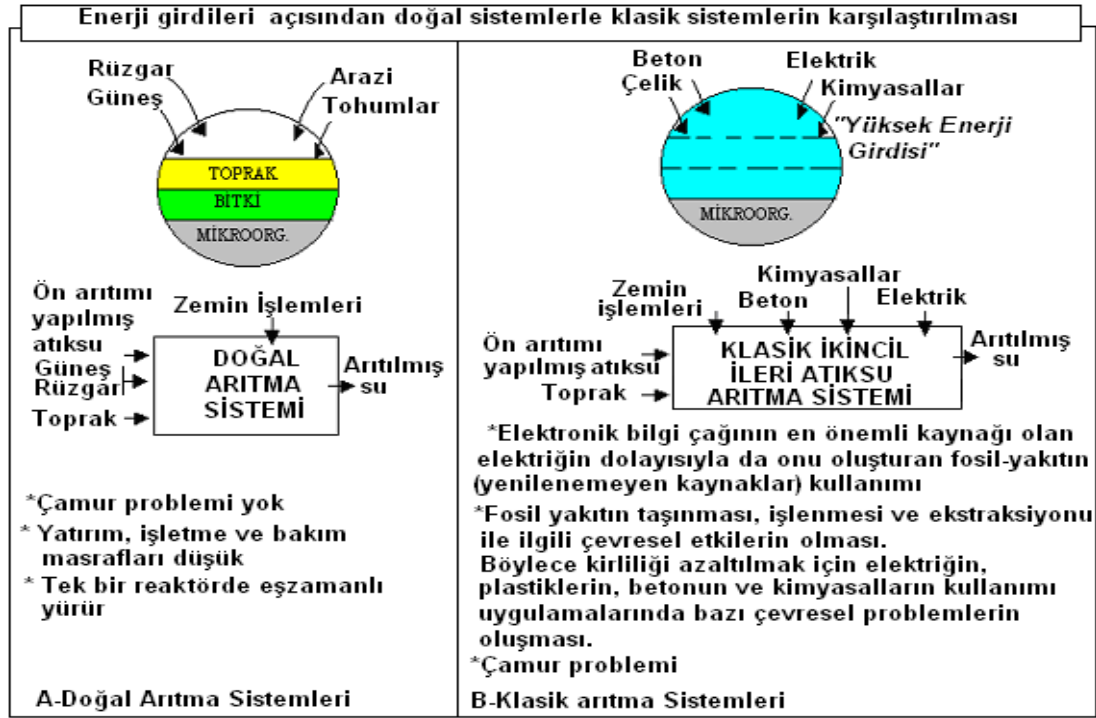


Şekil 2.4: Düşey yüzeyaltı akışlı (D-YAAS) sulakalan

Tabandaki drenaj sistemiyle atıksu toplanır. Hızlı drenaj yapıldığında atmosferden atıksu hacmine eşit hacimde oksijen çekilir. Böylece yatak çok iyi oksijenlendirilerek amonyak giderimi için gerekli oksijen sağlanmış olur (Cooper ve diğ., 1996).

2.6 Sulakalan Arıtma Sistemlerinin Klasik Sistemlerle Karşılaştırılması

Şekil 2.5’de Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle klasik sistemlerin bir karşılaştırması verilmiştir (Kadlec ve Knight, 1996).



Şekil 2.5: Enerji girdileri açısından doğal sistemlerle klasik sistemlerin karşılaştırılması (Kadlec ve Knight, 1996)

Tablo 2.1’de doğal arıtma sistemlerinin inşaat, işletme ve bakım masrafları açısından karşılaştırması verilmiştir (US-EPA, 1980).

Tablo 2.1: Doğal arıtma sistemlerinin tipik inşaat, işletme ve bakım masrafları (US-EPA, 1980)

Sistemin Türü	İnşaat Masrafları (\$/m ³ -gün)	İşletme ve Bakım Masrafları (\$/m ³)
Yerinde Arıtım	1000-3000	0.01-0.10
Yavaş İnfiltrasyon	800-2000	0.10-0.20
Hızlı İnfiltrasyon	450-900	0.05-0.10
Arazi Üzerinden Akıtma	600-1000	0.08-0.15
Fakültatif Havuz	500-1000	0.07-0.13
Havalandırma Havuzu	600-1200	0.10-0.16
Su Sümbülü (Hyacinth)	500-1000	0.12-0.14
Yapay Sulak Alan (SYAS)	500-1000	0.03-0.09
Not: Yüzey akışlı Sulak alanda toprak işlemlerinden dolayı \$10 000-100 000/ha'lık bir inşaat masrafı gerekirken yüzeyaltı akışlıda bu oran \$100 000-200 000/ha dolayındadır Doğal ve yapay sulak alanlar için İşletme ve bakım masrafları genelde sistemin kontrolüyle ilgili olup \$0.003-0.09/m ³ gibi çok düşüktür (Knight ve diğ., 1993).		

Tablo 2.2’de, 2mg/L lik bir çıkış amonyak konsantrasyonunu hedefleyen ve 378.5m³/gün’lük debiyi kabul eden YAAS ve SYAS sulakalanları için tesis, işletme ve bakım masraflarının özeti gösterilmiştir (NH_{3(g)}=25 mg/L, su sıcaklığı=20°C, su derinliği= 0.6 m (YAAS), 0.46 m (SYAS), porozite=0.4 (YAAS), 0.75 (SYAS), arıtım alanı=1.3 ha ve arazi masrafı=12355\$/ha).

Tablo 2.2: YAAS ve SYAS sulakalanlar (378.5m³/gün debiyle) için tesis, işletme ve bakım masrafları (WEF, 2000)

Ursunlar	YAAS	SYAS	YAAS	SYAS
	Masraf (\$)*			
	Doğal Toprak kaplama		Plastik Membran Kaplama	
Arazi masrafı	16000	16000	16000	16000
Saha araştırması	3600	3600	3600	3600
Saha temizliği	6600	6600	6600	6600
Kazı	33000	33000	33000	33000
Kaplama	0	0	66000	66000
Çakıl(9175m ³) dolgu(1.9cm)	142100	0	142100	0
Dikim için kullanılan toprak	0	10600	0	10600
Bitkiler	5000	5000	5000	5000
Bitki dikimi	6600	6600	6600	6600
Girişler/çıkışlar	16600	16600	16600	16600
<u>Alt toplam</u>	\$229500	98000	\$295500	164000
<u>Toplam tesis masrafları</u>	\$362500	154800	\$466700	259100
İşletme ve bakım masrafları	\$6000/yıl	6000	\$6000/yıl	6000

*:Haziran 1999 masrafları.

Tablo 2.2’den görüldüğü gibi YAAS sulakalanların tesis masraflarının büyük bir kısmını arazinin birim fiyatları, kazı işlemleri ve dolgu materyali oluşturmaktadır. Bu nedenle arazi fiyatlarının düşük olduğu bölgelerde bu tür sistemler çok ekonomik bir arıtma seçeneği olabilirler. Tablo 2.3’de bu sulakalanlar ile klasik atıksu arıtım sistemlerinin masraf açısından bir karşılaştırması verilmiştir (WEF, 2000).

Tablo 2.3: YAAS ve SYAS sulakalanlar ile klasik atıksu arıtım sistemlerinin masraf karşılaştırması (WEF, 2000)

Maliyet Ursuru	Prosesler		
	YAAS	SYAS	SBR**
Tesis masrafları (\$)	466700	259000	1104500
İşletme ve Bakım masrafları (\$)	\$6000/yıl	6000/yıl	\$106600/yıl
Toplam masraf (Haz.1999)(\$)*	530300	322700	2233400
1 m ³ atıksu başına masraf (\$)	0.19	0.12	0.81

*:Haziran 1999 masrafları, **:Ardışık Kesikli Reaktör.

Yin (1995) tarafından yüzey akışlı sulakalanların tesis başlangıç masrafları 20\$/m²-gün ve işletme masrafları 0.025\$/m²-gün olarak kaydedilmiştir. **Yin (1995)**’in tahminleri kullanıldığında 150 meskenden ibaret bir yerleşim bölgesinde bir yüzey akışlı sulakalanın inşası için yıllık olarak yaklaşık 105000\$ (5250x20)ve işletilmesi için 47900\$ (0.025x365x5250)gerekecektir.

Bu sonuca göre tesis inşası için masrafın makul düzeyde fakat işletme masraflarının bir hayli yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 2.4’de **Cueto (1993)** tarafından yüzey

akışlı bir yapay sulakalan ile klasik atıksu arıtma sistemlerinin masraf karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.4: Klasik sistemlerle yüzey akışlı (çakıl dolgulu) yapaya sulakalan sistemlerinin masraf karşılaştırması (Cueto, 1993)

		Birim İşletme ve Bakım	Yıllık İşletme ve Bakım	Birim Tesis	Tesis	Yıllık
Debi	Tesis Ömrü	Masraf	Masraf	Masraf	Masraf	Masraf
L/gün	Yıl	\$/Litre-yıl	\$/yıl	\$/Litre	\$/Litre	\$
Klasik Atıksu Arıtma masrafları						
378540	30*	0.182*	69000*	1.475*	559000*	128000*
3785400	30*	0.098*	370000*	1.050*	3990000*	790000*
37854000	30*	0.050*	1900000*	0.605*	22900000*	4315000*
378540000	30*	0.0264*	10000000*	0.462*	175000000*	28462000*
Yapay sulakalan Atıksu Arıtma Masrafları						
378540	20	0.1056	40000	0.423	160000	58800
3785400	20	0.1056	400000	0.423	1600000	588000
37854000	20	0.1056	4000000	0.423	16000000	5880000
378540000	20	0.1056	40000000	0.423	160000000	58800000

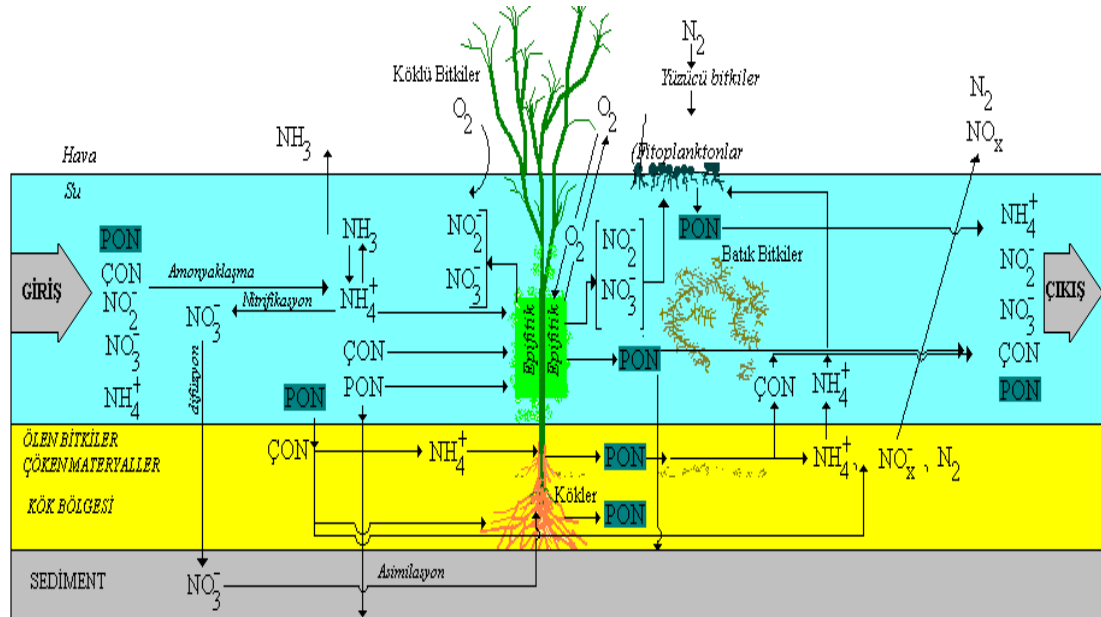
*: Orijinal kaynakta 20 yıl olarak verilen tesis ömrü Leady tarafından 30 yıl olarak değiştirilmiş ve hesaplanmıştır.

3. AZOT GİDERİMİ VE TASARIM ESASLARI

3.1 Azot Çevrimi

Çevrimler süresince sulakalan içerisindeki suyun pH'ı, sıcaklığı, çözünmüş oksijeni vb. bazı özellikleri zamanla değişebilir. Günlük su sıcaklığındaki dalgalanmaların şiddeti ise mevsime, yüksekliğe ve sulakalanın türüne bağlıdır (**Kadlec ve Knight, 1996**). Oksijenin çözünürlüğü, nitrifikasyon/denitrifikasyon, buharlaşma ve enerji kayıpları gibi tüm parametreler sıcaklıktan etkilenmektedir. Ayrıca su ve dolgu malzemesindeki (toprak veya çakıl gibi) sıcaklık değişimleri de biyolojik faaliyeti önemli derecede etkileyebilmektedir (**Kadlec ve Knight, 1996**).

Sulakalan bitkileri aerobik, anaerobik veya anoksik şartlarda büyüyecek fiziksel adaptasyonlara sahiptirler. Bitkiler büyüme mevsimi süresince nütrientleri hücre sentezleri için kullanırlar. Sonbahar ve kış mevsimlerinde bu nütrientlerin bir kısmı bitkilerin solmasıyla sulakalan içerisine tekrar düşer ve burada mikroorganizmalarla ayrışır (Şekil 3.1).



Yapay sulakalanlarda Azot Partikül (PON), Çözünmüş (ÇON), İnorganik ve Organik azot formları şeklinde bulunmaktadır.

Şekil 3.1: Serbest yüzey akışlı bir sulakalanda azot dönüşümleri (US-EPA, 1999)

3.2 Azot Giderimi

Azot giderimi nitrifikasyon ve denitrifikasyon yoluyla olmaktadır. Nitrosomans'lar vasıtasıyla amonyak aerobik reaksiyonlarla nitrite oksitlenir. Nitrit ise daha sonra *Nitrobakteri* (nitrat oluşturan)'ler vasıtasıyla yine aerobik olarak nitrata oksitlenir. Taban kısmına geçen nitratlar ise burada anaerobik olarak denitrifikasyon bakterileriyle (*Pseudomonas spc.* ve diğer bakteriler) gazlı ürünlere (N₂ gibi) dönüştürülür. Bazı bakteriler (*Rhizobium*) atmosferdeki diazot (N₂) molekülündeki güçlü üçlü bağları kırarak amonyağı bünyelerine alırlar (N₂+16ATP+8e⁻+8H⁺→2NH₃+16ADP+16PO₄+H₂; Schlesinger denklemi). Bitkiler aynı zamanda giren nütrientlerin yalnızca küçük bir kısmını da (<%5) bünyelerine alarak gidermektedirler. Bitkiler tarafından kullanılabilen azot formları NH₄ ve NO₃ tır. NH₄ ve NO₃ bitki bünyesine asimilasyonla (NO₃→NH₄→NH₂-R, R: amino asitin kalan kısmı) alınır (Brix, 1987).

3.3 Kinetik

Tüm yapay sulakalanlar dolgu malzemesi (toprak veya kum) içerisinde mikrorganizmaların biyofilm halinde büyüdüğü biyoreaktörler olarak göz önünde bulundurulurlar. Yapay sulakalanlarda azot giderimi genellikle denklem 3.1'de gösterildiği gibi birinci dereceden piston akımlı kinetiklerle açıklanmıştır (Reed ve diğ., 1995);

$$\frac{C_c}{C_g} = \exp(-K_T t) \quad (3.1)$$

Burada, C_c ve C_g sırayla çıkış ve girişteki toplam azot konsantrasyonu (mg/L), K_T: sıcaklık ve bitki yoğunluğuna bağlı hız sabiti (1/gün), t: sistemdeki bekletme süresidir (gün).

YAAS sulakalanlarda nitrifikasyon hız sabiti kök bölgesinin işgal ettiği yatak derinliği ile ilişkilidir. Bu ilişki aşağıdaki denklem 3.2 ile izah edilmiştir;

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922(rz)^{2.6077} \quad (3.2)$$

Burada, K_{NH}: 20 °C'deki nitrifikasyon hız sabiti (1/gün), rz: kök bölgesinin işgal ettiği yatak derinliğinin yüzdesi, ondalıklı bir kesirdir (0-1).

K_{NH} değeri tam gelişmiş kök bölgesinde 0.4107 ve bitkisiz yatakta 0.01854 olmaktadır.

Buradaki hız sabitinin ispatı **Bavor ve diğ. (1986)** tarafından yayınlanan bir tasarım modeliyle takdim edilmiştir. Bu model; bitki köklerinin yatak derinliğinin %50 ve 60'ını işgal ettiği çakıl dolgulu bir yatak için geliştirilmiş olup 20 °C'deki 0.107 değerine sahip hız sabiti ile denklem 3.1'e benzer.

SYAS sistemlerinde havuz yüzeyine uygulanan hidrolik yük ile azot giderimi arasında bir korelasyon (denklem 3.3) bulunmaktadır;

$$L_N = 760 / (1 - C_g / C_g)^{1.72} \quad (3.3)$$

Burada, L_N : azot giderimiyle sınırlı hidrolik yük ($m^3/ha.gün$), C_g ve C_g : çıkış ve girişteki toplam azot konsantrasyonudur (mg/L).

Hız sabitleri bitki yoğunluğu ve sıcaklıktan etkilenmektedir. Tablo 3.1'de toplam azot giderimi için denklem 3.21'de kullanılan hız sabitleri verilmiştir (**Reddy ve DeBusk, 1987**).

Tablo 3.1: Toplam azot için denklem 3.1'de kullanılan hız sabitleri (**Reddy ve DeBusk, 1987**)

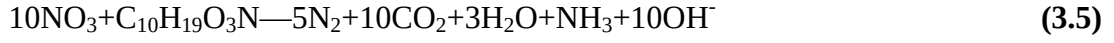
Ortalama sıcaklık 27 ±1 °C	
Bitki yoğunluğu, kg/ha (kuru ağırlık)	Yaz aylarındaki K_T (1/gün) değerleri
3920	0.218
10230	0.491
20240	0.590
Ortalama sıcaklık 14±4 °C	
Bitki yoğunluğu, kg/ha (kuru ağırlık)	Kış aylarındaki K_T (1/gün) değerleri
4190	0.033
6690	0.023
20210	0.184

SYAS sistemlerinde amonyum gideriminin hidrolik bekletme süresiyle giriş ve çıkıştaki amonyum arasındaki korelasyona bağlı olarak ifadesi aşağıdaki denklem 3.4 ile izah edilmiştir (**Reed ve diğ., 1995**);

$$\ln(C_g) = 0.688 \ln(C_g) + 0.655 \ln(HYH) - 1.107 \quad (3.4)$$

Burada, C_g ve C_g : sırayla çıkış ve giriş amonyum konsantrasyonu (mg/L), HYH : hidrolik yükleme hızıdır ($cm/gün$).

SYAS sulakalanlarda denitrifikasyonun stokiyometrisi aşağıdaki denklem 3.5 ile açıklanmıştır (**Burgoon, 2000**);



SYAS sistemlerinde sıcaklık etkisini hesaba katmayan ve sadece diğer hesaplamaların bir kontrolü için kullanılan model denklem 3.6 ile gösterilmiştir (**Reed ve diğ., 1995**);

$$C_\phi = 0.193(C_g) + 1.55 \ln(\text{HYH}) - 1.75, \quad R^2 = 0.79 \quad (3.6)$$

Burada, C_ϕ ve C_g : sırayla çıkış ve giriş toplam azot konsantrasyonu (mg/L), HYH: hidrolik yükleme hızı (cm/gün), R^2 : regresyon katsayısıdır.

Kadlec ve Knight (1996) tarafından SYAS sistemlerinde birinci dereceden (alansal) denitrifikasyon modeli ise aşağıdaki denklem 3.7 ile izah edilmiştir;

$$C_\phi = C^* + (C_g - C^*) \exp(-kA/0.0365Q) \quad (3.7)$$

Burada, C_ϕ ve C_g sırayla, çıkış ve giriş $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonu (mg/L), C^* : kabul edilebilir en düşük konsantrasyon (mg/L), $\text{NO}_3\text{-N}$ için 0.0 alınabilir. k : birinci dereceden alansal hız sabiti (m/yıl), Q : debidir ($\text{m}^3/\text{gün}$).

Sulakalanlarda hız sabiti üzerine sıcaklığın etkisi aşağıdaki denklem 3.8'deki van't Hoff-Arrhenius ilişkisiyle verilmektedir;

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (3.8)$$

Burada, k_T : T sıcaklığındaki alansal giderim hız katsayısı, k_{20} : 20 °C'deki alansal hız katsayısı, θ : sıcaklık düzeltme katsayısıdır (1 olarak alınmıştır).

Kadlec ve Knight (1996) aşağıdaki denklem 3.9'da gösterildiği gibi hacimsel hız sabitiyle ilişkili olan alansal hız sabitini kullanmışlardır;

$$k_A = k_v dn \quad (3.9)$$

Burada, k_A : alansal hız sabiti (m/yıl), k_v : hacimsel hız sabiti (m/yıl), d : su derinliği (m), n : porozitedir.

Aşağıdaki Tablo 3.2’de YAAS ve SYAS sistemlerindeki literatürde kaydedilen giderim hız katsayılarının bir özeti verilmiştir.

Tablo 3.2: Literatürde kaydedilen kinetik hız katsayılarının (k_{20}) özeti

Parametreler						Kaynaklar
Org N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	TN	TP	BOİ ₅	
20 °C’deki hız katsayısı (1/gün)						
			0.11 ^A	0.014 ^A	0.0015 ^A	Martin ve diğ., 2000
0.005 ^D						Martin ve Reddy, 1997
	0.4107 ^B	1.00 ^B			0.278 ^B 1.104 ^C	Reed ve diğ., 1995
0.15 ^B 0.40 ^C	0.16 ^B 0.39 ^C	0.32 ^B 0.57 ^C	0.20 ^B 0.310 ^C		0.55 ^B 1.104 ^C	Kadlec ve Knight, 1996
	0.107 ^D 0.0185 ^D (bitkisiz) 0.4107 ^D (bitkili)	1.00 ^D				Bavor ve diğ., 1988 Reed ve Brown, 1995
	0.497 ^D					Kemp ve George, 1997
	0.06 ^D			0.075 ^D bitkili 0.061 ^D bitkisiz		Drizo ve diğ., 2000

^A: YAAS sistem (su derinliği 60 cm, porozite: 0.6-kabul), ^B:SYAS sistem (su derinliği 60 cm),

^C: YAAS sistem (su derinliği 60 cm, porozite:0.6), ^D: YAAS sistem.

3.4 Arıtma Performansı

Günümüzde Avrupa’da özellikle Almanya, Danimarka, İngiltere, Slovenya ve İsviçre’de binlerce yapay sulakalan işletilmektedir. Bunların çoğu toprak veya çakıl dolgulu olup genelde “*Phragmites*” türü bitkilerden kurulmuş olup yatay akışlı sistemlerdir. Tablo 3.3’de Avrupa’daki bir çok yapay sulakalandan elde edilen ortalama azot arıtma verimleri görülmektedir.

Tablo 3.3: Avrupa ve Amerika’daki bazı yapay sulakalandan elde edilen ortalama azot verimleri (**Börner, 1992; Knight ve diğ., 1993**)

Parametre	Ort.Verim(%)*	Ort.Verim(%)**
NH ₄ -N	30.0	44
TN	39.6	64
*:Avrupa’daki 268 adet yapay sulakalandan elde edilen değerler (Börner, 1992). **: Kuzey ABD “F.Lake Alberta” sulakalanları (Knight ve diğ., 1993)		

Burgoon ve diğ. (1991), 221 adet çakıl dolgulu sulakalandan 0,6-4,4 g/m²/gün arasında azot giderimleri elde etmişlerdir. Tablo 3.4’de Kuzey ABD (Ontario, California ve Vermontville)’daki bazı pilot ölçekli yapay sulakalanlarından elde edilen performans değerleri görülmektedir (**Reed ve diğ., 1988**).

Tablo 3.4: Kuzey ABD’deki bazı pilot ölçekli yapay sulakalan sistemlerinin performansları (Reed ve diğ., 1988)

Bölge	Çıkış Konsantrasyonları, mg/L						
	Sulakalan Tipi	BOİ ₅	AKM	NH ₃ -N	NO ₃ -N	TN	TP*
Listowel. Ont.	Açık su kanalı	10	8	6	0.2	8.9	0.6
Arcata. Calif.	Açık su kanalı	<20	<8	<10	0.7	11.6	6.1
Santee. Calif.	Çakıl dolgulu kanallar	<30	<8	<5	<0.2	-	-
Vermontville	Sızıntı havuzları	-	-	2	1.2	6.2	2.1
*: sulakalan girişinden önce alüm ile artım yapılmıştır.							

3.5 Tasarım Esasları

Sulakalan sistemleri piston akımlı reaktörlerin hidrolik özelliklerini yansıtmaktadır ve gerçek akım şartları ise piston akım ile tam karışımlı reaktör hidroliği arasındadır. Bu nedenle piston akım şartlarını sağlayan yapay sulakalanlardaki azot dönüşümlerini içeren bir tasarım modeli aşağıdaki diferansiyel denklemler kümesi (Kadlec ve Knight, 1996) ile ifade edilmektedir;

$$\frac{d_{OA}}{dt} = OA_g(t) - k_{OA}.OA + BIOMASAYRIŞMASI(t) - OA_ç(t) \quad (3.10)$$

$$\frac{d_{AA}}{dt} = AA_g(t) + k_{OA}.OA - k_{AA}.AA - AMONYAKASİMİLASYONU(t) - AA_ç(t) \quad (3.11)$$

$$\frac{d_{NA}}{dt} = NA_g(t) + k_{AA}.AA - k_{NA}.NA - NİTRATASİMİLASYONU(t) - NA_ç(t) \quad (3.12)$$

Burada, OA_g OA_ç, AA_g ve AA_ç, NA_g ve NA_ç sırayla, giriş ve çıkış organik, amonyak ve nitrat azotu (kg/gün), k: birinci derece hız sabitleri (1/gün), t: hidrolik bekletme süresi (gün), biyomass ayrışması, amonyak ve nitrat asimilasyonu kg/gün’dür.

Bu modelde sulakalanlarda atmosferle amonyak girişi ham atıksuya oranla oldukça düşük olduğundan ve pH nötrale yakın olmasıyla yüzeyden amonyak kaybı çok düşük olduğundan ihmal edilmektedir. Bu nedenle bu modelde azot giderimleri amonyaklaşma, nitrifikasyon, denitrifikasyon, bitki ölümleriyle organik azot, bitkilerle amonyak ve nitrat kullanımları göz önüne alınmaktadır. Bu denklemdeki bilinmeyen parametreler deney sonuçlarıyla elde edilmekte ve diferansiyel denklem kümesi nümerik olarak çözülebilmektedir.

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon için gerekli yüzey alanı denklem 3.13 ile hesaplanmaktadır;

$$A_s = \frac{Q \ln(C_g / C_\phi)}{K_T dn} \quad (3.13)$$

Burada, C_ϕ ve C_g : nitrifikasyon için çıkıştaki amonyak ve girişteki TKN konsantrasyonu (mg/L) ve denitrifikasyon için çıkıştaki ve girişteki nitrat konsantrasyonu (mg/L), A_s : yüzey alanı (m^2), d : su derinliği (m), n : porozite, Q : ortalama debi ($m^3/gün$) K_T : sıcaklığa bağlı birinci dereceden reaksiyon hız sabitidir ($1/gün$). Aşağıdaki denklem 3.14 SYAS sistemlerinde yüzey alan hesabında kullanılan diğer bir yaklaşımdır (Reed ve diğ., 1995).

$$A_s = \frac{100Q}{\exp[1.527 \ln C_\phi - 1.050 \ln C_g + 1.69]} \quad (3.14)$$

Burada, A_s : yüzey alan (m^2), Q : tasarım debisidir ($m^3/gün$).

Denklem 3.15 **Hammer ve Knight (1994)** tarafından 17 adet SYAS sisteminin bir regresyon analiziyle geliştirilmiştir:

$$A_s = 11.39 \frac{C_g Q}{C_\phi} \quad (3.15)$$

Yapay sulakalanın tasarımında önemli bir faktördür. Sulakalan arasından geçen suyun aldığı zamandır. Hidrolik bekletme süresi aşağıdaki denklem 3.16 ile izah edilmiştir;

$$t = \frac{Lwnd}{Q} \text{ (gün)} \quad (3.16)$$

Burada, L : uzunluk (m), w : genişlik (m), n : porozite (%), d : su derinliği (m), Q : ortalama debidir ($m^3/gün$).

Serbest yüzeyli sistemde boşluk hacmi bitkilerle işgal edilen hacimden daha küçüktür. Tipik porozite değerleri; 0.86 (bulrush) ile 0.98 (reed) arasında değişmektedir.

Yapay sulakalanlarda en/boy oranı aşağıdaki denklem 3.17 ile ifade edilmektedir;

$$w = (A/R_A)^{1/2} \quad (3.17)$$

Burada, w: genişlik (m), A: alan (m²), R_A: en boy oranıdır (desimal).

En boy oranı 4/1 den daha büyük olduğunda giriş bölgesinin katı maddelerle tıkanma olasılığı vardır. Bu tıkanmanın önüne geçebilmek için giriş kısmındaki toplam askıdaki katı madde yükünün 40 g/m²/gün'ü aşmaması gerektiği bildirilmektedir **(Bavor ve diğ., 1986)**. SYAS ve YAAS yapay sulakalanlar için genel olarak proses tasarım kriterlerinin özeti Tablo 3.5'de gösterilmiştir **(Knight ve diğ., 1993)**.

Tablo 3.5: Yapay sulakalanlar için tasarım kriterleri **(Knight ve diğ., 1993)**

	SYAS Sulakalan	YAAS Sulakalan
Bekletme Süresi (gün)	5-14	2-7
Max.BOİ Yüğü (kg/ha/gün)	80	75
Su veya Yatak Derinliği (m)	0.1-0.5	0.10-1.0
Hidrolik Yük (mm/gün)	7-60	2-30
Alan İhtiyacı (ha/m ³ /gün)	0.002-0.014	0.001-0.007
En/Boy Oranı	2/1-10/1	0.25/1-5/1
Sivrisinek Kontrolü	Gerekli	Gereksiz
Hasat Sıklığı (yıl)	3-5	3-5

3.6 Azot Giderimini Etkileyen Faktörler

Sulakalan sistemlerinde azot giderimini etkileyen önemli faktörler aşağıda özetlenmiştir.

3.6.1 Ön arıtım

Azot giderim verimini arttırmak, zeminin tıkanmasını ve koku problemini önlemek için gereklidir. İkinci veya daha ileri arıtım çıkışında C/N oranı genellikle 2'den daha küçük olduğundan maksimum düzeyde azot giderimi için ön arıtım olarak primer arıtım daha çok tavsiye edilmektedir **(Metcalf ve Eddy, 1991)**.

3.6.2 Atıksu karakterizasyonu

Aşağıdaki tabloda sucul organizmalar için ihtiyaç duyulan giriş suyunun kalitesi görülmektedir **(Payne, 1992)**. Aşağıdaki Tablo 3.6'da sucul organizmalar için gerekli su kalite parametreleri verilmiştir (Payne, 1992). Etkili bir nitrifikasyonun sağlanabilmesi için ham atıksuyun BOİ/TKN oranı <1 olmalıdır. Alkalinite ise amonyağın gram ağırlığı başına en az 10 g olmalıdır. Toplam alkalinitesi ≤10 mg/L olan yüksek derecede asitli sularda (pH ≤5) biyolojik olarak üretkenlik oldukça zayıftır. Sucul organizmaların pH: 6-7 ve alkalinitenin en az 50 mg/L olduğu

durumlarda çok iyi üretime sahip oldukları görülmüştür. pH <4 iken yüzücü ve batık bitkilerin çoğunun hayatta kalamadıkları, buna karşın pH <6.4 iken sadece köklü bitkilerin hayatta kalabildikleri görülmüştür.

Tablo 3.6: Sucul organizmalar için gerekli su kalite parametreleri (Payne, 1992)

Parametre	Değer Aralığı
PH	6.5-9.0
Alkalinite	≥20 mg/L
Sertlik	20-150 mg/L
Çözünmüş oksijen	≥5 mg/L
Toplam Çözünmüş Katılar (TÇK)*	1000-2500 mg/L
Sıcaklık	≤20-30 °C, bitki türü ve sıcaklığa bağlı

*: $TÇK = (dS/m) \times 640$ (Metcalf ve Eddy, 1991).

Düşük derecede (1.5dS/m) ve yüksek derecede tuzlu sular (> 5dS/m) özellikle yüzücü ve batık bitkileri içeren SYAS sistemlerinde bir çok sucul organizmaları olumsuz etkilemektedir. Atıksuyun özellikleri biyolojik nitrifikasyon ve denitrifikasyonu önemli ölçüde etkiler. Örneğin, denitrifikasyonun gerçekleştirildiği yapay sulakalan sistemlerinde (hibrid sistemler) 1g N'un indirgenmesi için atıksuyun karbon içeriği en az 1.07 g C olmalıdır. Yani 1 mol NO₃-N'un indirgenmesi için 1.25 mol karbona ihtiyaç duyulmaktadır (Reddy ve Patrick, 1984).

Doğal sistemlerde tam bir denitrifikasyonun sağlanabilmesi için toplam organik karbonun toplam azota oranı en az 2 olmalıdır (Smith ve diğ., 1988). Atıksuyun ağır metal içeriği arıtımı olumsuz yönde etkileyebilir. Ağır metaller (kadmiyum, civa, bakır, nikel, çinko gibi) belli bir konsantrasyonun üzerinde bulunduklarında bitkiler ve diğer canlılar için toksik etki oluşturabilirler. Yüksek derecede yağlı ve katı madde oranı yüksek sular zemini tıkalabilir.

3.6.3 Hidroloji

Doğal sulakalanların kurulmasında ve bakımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli etkenlerden birisidir. Doğal bir sulakalanda su girdileri yüzey suları, yağış ve yeraltı suları ile olmaktadır. Su çıktıları ise yüzeysel akışlarla çıkış, bitkilerle ve su yüzeyinden buharlaşma ve yeraltı suyuna geçişlerle olmaktadır. Yapay bir sulakanda ise zeminin geçirimsizliği sağlandığı için yeraltı sularının sulakalana girişi ve sulakalandan yeraltı suyuna kaçıışı su dengesinde yer almamaktadır. Sulakalan sistemlerindeki su bütçesi aşağıdaki deklemlerle izah edilmiştir (Kadlec ve Knight, 1996);

$$\Delta V = P_n + S_i + G_i - E_t - S_o - G_o \quad (3.18)$$

Burada, V : sulakalan içerisindeki su hacminin zamanla değişimi (cm/gün), P_n : yağışla gelen net su miktarı (cm/gün), S_i : yüzey suları ile gelen su miktarı (cm/gün), G_i : yer altı suyundan gelen su miktarı (cm/gün), E_t : bitkilerle ve su yüzeyinden buharlaşmayla çıkan su miktarı (cm/gün), S_o : yüzeysel akışlarla sulakalanı terkeden su miktarı (cm/gün), G_o : yeraltı suyuna sızan su miktarıdır (cm/gün).

Su dengesi sulakalandaki kirlenici yüklerin dengelenmesi açısından önem arz etmektedir. Sulakalan içerisinde çoğu kez kararlı akım şartları sağlanamadığından su dengesinin kurulması oldukça zordur.

3.6.4 Mikroorganizma faaliyetleri

Mikroorganizmaların büyüme hızları hem çevre şartlarına hem de besin miktarına bağlıdır. Enerji bir elektron vericisinden bir elektron alıcısına elektronların transferiyle elde edilir.

Elektron vericiler olarak kompleks organikler ve NH_4^+ ve elektron alıcılar olarak da oksijen ve NO_3^- örnek gösterilebilir (**Gidley, 1995**). Sulakalanlardaki arıtımın büyük çoğunluğu heterotrofik ve ototrofik bakterilerle olmaktadır. Mikrobiyal büyüme hızı elektron vericilerle alıcıların mevcudiyeti, C/N oranı ve çevresel şartlarla (sıcaklık, pH, alan vb.) tayin edilmektedir (**Reddy ve Patrick, 1984**).

Amonyaklaşma ve nitrifikasyondan sorumlu heterotroflar çözünmüş oksijen değeri 2 mg/L'nin altındayken büyümeleri engellenir (**Reddy ve Patrick, 1984**). Bakterilerin büyümeleri için optimum pH aralıkları 6-9, ve sıcaklık aralıkları ise 15-40 °C'dir. Bu aralıkların dışında da mikroorganizmalar faaliyetlerini sürdürebilmektedirler fakat hızları çok yavaştır. Sulakalanlarda organik maddelerin ayrışmasıyla ortaya çıkan CO_2 sistemi tamponladığından pH aralıkları çok geniş değildir (**Reddy ve Patrick, 1984**). Organik yükler fazla olduğunda heterotroflar ototroflarla rekabet edemez ve nitrifikasyon verimi düşer. Organiklerden enerji elde eden heterotrofik bakteriler NH_4^+ üretirler. Bu NH_4^+ daha sonra ototroflar tarafından bir enerji kaynağı olarak kullanılır. Aerobik heterotroflar tarafından oluşturulan NO_3^- ise daha sonra anaerobik heterotroflar tarafından bir elektron alıcısı olarak kullanılırlar (**Gidley, 1995**). Heterotrofların organik besinleri üretebilmeleri bitkilerin mevcudiyetine ve uygun çevre şartlarına bağlıdır. Buna karşın bitkiler de organiklerin ayrışmasına bağımlı

olarak nütrientlerin çevriminin sürdürebilmesine katkıda bulunurlar **(Reed ve Brown, 1995)**. Aynı zaman içerisinde büyüme sezonu süresince hem bitkiler hem de mikroorganizmalar nütrientler için rekabet etmektedirler. Kompleks bir sistemdeki bu etkileşimlerin tümünün idare altına alınması, modellenmesi ve yeniden oluşturulması oldukça güç gözükmektedir **(Gidley, 1995)**. Bakterilerce organik maddelerin ayrıştırılması sonrası; CO₂ ve NH₄⁺-bileşikleri oluşurken bunlar bitkiler tarafından kullanılmaktadır. Organik ve azotlu maddelerin ayrışmasında sedimentlerde, döküntülerde, ara yüzeylerde ve suya batık olan bitkilerin köklerinde ve saplarında bağlı olarak yaşayan biyofilm bakterileri görev yapmaktadır. Oksijen bitki köklerine transfer edilirken toprak-su matrisi içinde biyokimyasal dönüşümler gerçekleşmekte ve sıvı kısımdaki organik maddeler askıda büyüyen mikroorganizmalarca tüketilmektedir.

3.6.4.1 Mikroorganizmalarla azotun ba lanması

Heterotrofik mikroorganizmalar inorganik azotu (NH₄⁺-N ve NO₃⁻-N) bünyelerine alarak hücrelerinde ve dokularında amino asitlerle birleştirerek organik azota çevirirler **(Kadlec ve Knight, 1996)**. Bunlar daha sonra enerji olarak kullanılan proteinler, pürinler ve pramidinler çevrilirler. Bakteriler ve bitkilerle azot kullanım proseslerinin hızı henüz tam olarak ortaya konulamamıştır **(Kadlec ve Knight, 1996)**.

3.6.4.2 Amony  n gazlaştırılması

Amony  n uçucu hale gelmesi fizikokimyasal bir proses olup gazlı ve hidroksil formları arasındaki dengeye NH₃ (suda)+H₂O ⇌ NH₄⁺+OH⁻) bağlıdır. pH: 9.3'te amony  n amonyuma oranı 1/1'dir ve sudan amony  n kaybı önemli derecededir. Sulakalan içerisindeki alglerin gerçekleştirdiği fotosentez (yüzücü ve köklü bitkilerde) pH değerlerini yükseltmektedir. U uculu un kontrol altına alınması; sudaki NH₄ konsantrasyonu, sıcaklık, rüzgar hızı, su bitkilerinin yapısı ve miktarı ve sistemin günlük pH'ı değiştirme kapasitesi (karbondioksitin azalmasıyla uçuculuk artar) ile belirlenebilir **(Vymazal, 1995)**.

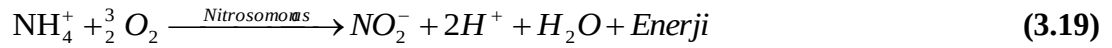
3.6.4.3 Amonyakla ma

Amonyakla ma veya mineralizasyon organik maddelerin ayrışması süresince organik azotun NH₄⁺'a biyolojik dönüşümüdür. Mineralizasyon aminoasitleri içeren hücre dokularının mikrobiyal bozunumu, üre ve ürik asitin hidroliziyle ve bitki ve

hayvanlar tarafından amonyağın direkt olarak çıkarılmasıyla meydana gelir. Hem aerobik hem de anaerobik şartlarda meydana gelir. Anaerobik ortamda heterotrofik bakterilerin yavaş gelişimi ile hız daha düşük yürür. Bir sulakalan içerisindeki amonyaklaşma hızı sıcaklık, pH, kalıntının ve sistemdeki mevcut nütrientlerin C/N oranı, zemin yapısı gibi faktörlere bağlıdır (**Reddy ve Patrick, 1984**). Amonyaklaşma için optimum pH 6.5-8.5 arasındadır. Doygun zeminlerde pH nõtüre yakın olarak tamponlanmıştır. oysaki çok iyi drenajlı zeminlerde ise zeminin pH değeri nitrat birikimiyle ($\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \Rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$) ve mineralleşme süresince H^+ iyonlarının oluşumuyla azalmaktadır. Optimum sıcaklık 40 ile 60 °C arasındadır.

3.6.4.4 Nitrifikasyon

Sulakalanlardaki nitrifikasyon yani amonyağın nitrata dönüşümü olayı mikroorganizmalarla gerçekleşen iki kademeli kemoototrofik bir prosestir. Bu dönüşüm prosesi genellikle iki oksidasyon reaksiyonunu içermektedir. Her iki adım da sadece oksijen varlığında gerçekleşir. Nitrifikasyon yaklaşık 0.3 mg/L çözünmüş oksijen civarında bile gerçekleşebilmektedir (**Reddy ve Patrick, 1984**). Bunlardan ilki amonyağın nitrite oksidasyonudur (denklem 3.19);



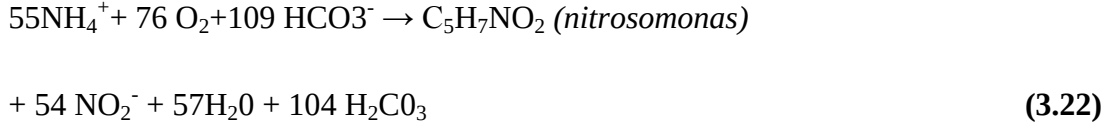
İkincisi nitritin nitrata oksidasyonudur (denklem 3.20);



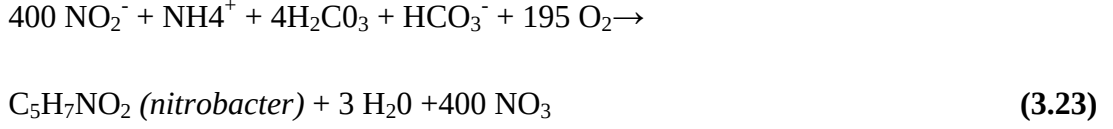
Toplam amonyak oksidasyon reaksiyonu (denklem 3.21);



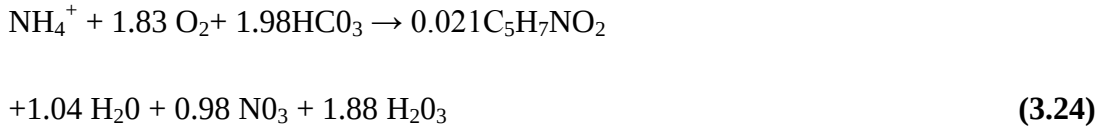
Yukarıdaki stokiyometrik bağıntıya dayanarak (denklem 3.21), nitrifikasyon reaksiyonu süresince teorik oksijen tüketimi, okside edilen gram $\text{NH}_3\text{-N}$ başına yaklaşık 4.6g O_2 dir. Yukarıda özetlenen oksidasyon reaksiyonlarının her ikisi de (denklem 3.23 ve 3.24) *nitrosomonas* ve *nitrobacter*'in hücre sentezi için gerekli enerjiyi açığa çıkarırlar. Nitrifikasyon esnasında oluşan hücre ($\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$) sentezi ve oksidasyon-redüksiyon prosesleri, aşağıdaki denklemlerle özetlenmiştir (**US-EPA, 1993**). Amonyak kullanılarak *nitrosomonas* hücrelerinin biyosentezi (denklem 3.22);



Amonyak kullanılarak *nitrobacter* hücrelerinin biyosentezi (denklem 3.23);



Yukarıdaki denklemler (denklem 3.22 ve 3.23) tüm amonyak oksidasyonu ve hücre biyokütlesi sentezini belirlemek için birleştirilebilir (denklem 3.24);



1 mol amonyak azotuyla sadece yaklaşık 0.021 mol mikrobiyal biyokütle üretilmektedir, veya tüketilen 1 gram amonyak azotu için 0.17 g kuru ağırlıkta biyokütle oluşturulmaktadır. Amonyagin azota nitrifikasyonu ile oksijen ve bikarbonat iyonları tüketilir ve biyokütle, nitrat, su ve karbonik asit açığa çıkarılır. Bu toplam reaksiyondan elde edilen sonuçlara göre nitrifikasyon süresince meydana gelen gerçek oksijen tüketim hızı 4.3 g. O₂'dir. Bu değer amonyak oksidasyonu ile birlikte hücre sentezinin de gerçekleştirildiği denklem 3.21'de verilen 4.6 değerinden daha küçüktür, çünkü burada hücre sentezi süresince tüketilen karbonattaki oksijenin de katkısı bulunmaktadır, *Nitrifiye edilen her mg/L amonyak azotu için aşağı yukarı 7.14 mg/l (CaCO₃ olarak) alkalinite tüketilir ve tüketilen her bir mol amonyak azotu için 1.98 mol H⁺ açığa çıkar. Böylece yüksek oranda nitrifikasyon, su kütlelerinin alkalinitesini ve pH'ını azaltır. Nitrifikasyonu etkileyen parametreler en genel itibarıyla; sıcaklık, alkalinite, inorganik karbon kaynağı, mikroorganizma topluluğu, NH₄⁺ konsantrasyonu, çözünmüş oksijen ve inhibitörlerdir. Nitrifikasyon bakterileri (*nitrospira*, *nitrosovibrio*, *nitrosomonas* v.b.) inhibitörlere karşı oldukça duyarlıdır. Yüksek amonyak konsantrasyonlarında yaşayamazlar (**Cooper ve diğ., 1996**). Optimum pH: 7.5-8.6 aralığında aktiftirler fakat iklime adapte edildiklerinde daha düşük pH değerlerinde de aktif olabilirler. Sulakalan içerisindeki sıcaklık şartları nitrifikasyon hızını etkileyebilmektedir. Saf kültürlerde nitrifikasyon için optimum sıcaklıklar 25-35 °C arasında ve toprakta ise 30-40 °C arasında değişir.

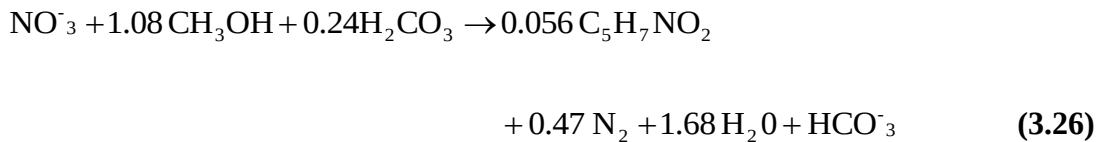
Nitrosomanas ve *nitrobakterilerin* büyümeleri için gerekli minimum sıcaklıklar sırasıyla 5 °C'dir (Cooper ve diğ., 1996).

3.6.4.5 Denitrifikasyon

Denitrifikasyon nitrat veya nitrit azotuna elektron verilerek gerçekleşen enerji gerektiren indirgeme prosesidir ve azot gazı, nitroz oksit (N₂O) ve nitrik oksit (NO) üretimi ile sonuçlanır. Denitrifikasyonu gerçekleştiren bakteriler (*Bacillus*, *Enterobacter*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, ve *Spirillum*) nitrat redüktaz enzimi sayesinde krebs döngüsünden sonraki elektron taşınım zincirindeki nitrat ve nitrit moleküllerine sıkı sıkıya bağlı olan oksijen atomlarını nihai elektron alıcısı olarak kullanabilmektedirler. Denitrifikasyonu gerçekleştiren türler, her iki prosesin (nitrifikasyon ve denitrifikasyon) biyokimyasal benzerliklerinden ötürü kolayca anoksikten aerobik metabolizmaya dönebilir. Bununla birlikte serbest oksijenin son elektron alıcısı olarak kullanılmasında üretilen enerji (yaklaşık 686 kcal / mol glikoz) nitratın kullanılmasında üretilenden (yaklaşık 570 kcal / mol glikoz) çok fazla olduğu için bu organizmalar tipik olarak serbest oksijenin varlığında nitratı denitrifiye etmeyeceklerdir. Eğer NO₃⁻ bitkiler ve mikroorganizmalarla assimile edilmezlerse veya yeraltı suyuna geçmezse denitrifikasyona maruz kalır. Karbon kaynağı olarak metil alkol (CH₃-OH) kullanıldığında toplam stokiyometrik nitrat disimilasyon reaksiyonu aşağıdaki denklem 3.25 ile özetlenmiştir (US-EPA, 1993);



Düşük amonyak konsantrasyonlarında bile nitratın bir kısmı bakteriler tarafından hücre sentezi için kullanılmaktadır. Denitrifikasyon, hücre sentezi (C₂H₅NO₂) ve bu prosesin toplam alkaliniteye etkisi aşağıda denklem 3.26 ile özetlenmiştir;



Yukarıdaki denklemde; stokiyometriden 2.47 g metanol veya denk bir karbon kaynağı , 1 g nitrat azotunun denitrifikasyonunu sağlamak için gereklidir. Karbon kaynağının yokluğunda denitrifikasyon engellenmektedir. Yukarıdaki denklemden elde edilen sonuçlara göre; 1 gram NO₃-N'in denitrifikasyonu için 2.47 g metilalkol

(veya eşdeğer bir karbon kaynağı) gereklidir, indirgenen 1 g $\text{NO}_3\text{-N}$ başına yaklaşık 3.0 g alkalinite (CaCO_3 olarak) üretilmekte ve pH yükselmektedir. Sülfidin mevcudiyeti, denitrifierler tarafından N_2O ve N_2 indirgenmesini inhibe edebilir. N_2O , bitkilerin içine tutularak direk atmosfere difüzyon ile ve N_2 dönüşümü ile giderilir **(Reddy ve diğ., 1989)**.

Sulakalanlarda denitrifikasyon için kritik tasarım parametreleri ise genelde; karbon mevcudiyeti, atıksu yükleme hızı ve sıcaklıktır. Reaksiyon stokiyometrisine göre ($5\text{CH}_3\text{OH}+6\text{NO}_3^-+6\text{H}^+\rightarrow 5\text{CO}_2+3\text{N}_2+13\text{H}_2\text{O}$) 1mol $\text{NO}_3\text{-N}$ 'un indirgenmesi için 1.25 mol C'a ihtiyaç duyulur. Yani, 30 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$ 'un denitrifikasyonu için yaklaşık 26.3 mg C/L gereklidir. Reaksiyon stokiyometrisine göre 39 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$ 'un denitrifiye olması için 111 mg/L KOİ gereklidir **(Reddy ve Patrick, 1984)**. Denitrifikasyon yapan YAAS sistemlerinde KOİ/ $\text{NO}_3\text{-N}$ oranı 4-8 (klasik aktif çamur sistemlerinde 2-10) arasındadır **(Gersberg ve diğ., 1984)**. **Gersberg ve diğ. (1984)** KOİ/ $\text{NO}_3\text{-N}$ oranı 6.8 iken %90'dan daha büyük bir denitrifikasyon elde etmişlerdir. Denitrifikasyon hızına etkili parametreler ise temel itibariyle; Oksijenin yokluğu, sıcaklık, nitratin amonyağa oranı, C/N oranı, pH, denitrifikasyon bakterilerinin mevcudiyeti, yatağın dolgu malzemesinin özellikleri ve organik maddeler ile atıksuyun özelliğidir. **Gerke ve Baker (2001)** lagün çıkışını alan bir sulakalanda (Kingman, Arizona) yaptıkları çalışmada denitrifikasyon için kritik C/N oranını 5/1 olarak bulmuşlar ve çalışmaları sonucunda denitrifikasyon hız sabitinin karbon ilavesiyle doğrusal olarak arttığını görmüşlerdir. Denitrifikasyon pH 5-10 aralığında yürümektedir. Denitrifikasyon için optimum pH aralıkları 7-8 arasındadır. Denitrifikasyon süresince üretilen alkalinite pH'daki artışla sonuçlanmaktadır. Denitrifikasyon için optimum sıcaklık aralığı 25-30 °C arasında değişmektedir. 5 °C'nin altındaki değerlerde denitrifikasyon hızı oldukça yavaş yürümektedir **(Kadlec ve diğ., 2000)**.

3.6.4.6 Azot bağlanması

Azot gazı hem aerobik hem de anaerobik ortamda bitkilerin oksitlenmiş rizosferlerinde, yaprak ve gövde yüzeylerinde bağlanabilmektedir. SYAS sistemlerde su yüzeyi atmosferle temas halinde olduğu için atmosferden suya difüzyonla geçen N_2 ototrofik ve heterotrofik bakteriler, mavi-yeşil algler ve daha yüksek organizmalı bitkilerle indirgenme reaksiyonlarıyla organik azota çevrilir. Su ortamı azotça zengin olduğunda azotun bağlanması engellenmektedir **(Kadlec ve Knight, 1996)**.

3.6.5 Bitkilerin rolü

Bitkilerin atıksu arıtımındaki en önemli özellikleri özetle şu şekilde sıralanabilir; nütrientlerin asimilasyonu, oksijen temini, ekstra karbon kaynağı, estetik özellikleri, koku kontrolü, insekt kontrolü, hidrolik akımın düzenlenmesi (filtrasyonu iyileştirmesi), mikroorganizmalarla (nitrifier ve denitrifier) temas yüzeyini artırması gibi metabolizma özellikleri, sistemi don etkisinden koruma ve arıtıma katkıda bulunan canlılar için birer yaşam ortamını temin etmektir. Tablo 3.7’de sulakalanlarda çok yaygın olarak kullanılan bazı bitki türleri için azot depolama ve kullanım kapasiteleri verilmiştir (Reddy ve DeBusk, 1987).

Tablo 3.7: Sulakalanlardaki bazı bitki türleri için azot depolama ve kullanım kapasiteleri (Reddy ve DeBusk, 1987)

Türler	Depolama, kg/ha		Büyüme, kg/ha/yıl	
	Biyokütle	Azot	Biyokütle	Azot
<i>Typha</i>	4300-22500	250-1560	8000-61000	600-2630
<i>Juncus</i>	22100	200-300	53300	800
<i>Scirpus</i>	6000	175-530	7130	125
<i>Phragmites</i>	6000-35000	140-430	10000-60000	225
<i>Eich. cras.</i>	20000-24000	300-900	60000-110000	1950-5850
<i>Pistia str.</i>	6000-10500	90-250	50000-80000	1350-5110
<i>L.minor</i>	1300	4-50	6000-26000	350-1200
<i>Salvinia</i>	2400-3200	15-90	9000-45000	350-1700
<i>Cypress</i>		996-1216		10.4-213

Köklü bitkilerin azot kullanabilme kapasiteleri 200-2500 kg/ha/yıl arasında değişmektedir. Batık bitki türlerinde azot kullanım kapasitesi (700 kg N/ha/yıl) yüzücü bitkilerden (örneğin su sümbülünde: 2000 kg N/ha/yıl) daha düşüktür.

3.6.5.1 Bitkilerle kullanım

Bitkiler inorganik azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$) bünyelerine alarak hücrelerinde ve dokularında amino asitlerle birleştirerek organik azota çevirirler (Kadlec ve Knight, 1996). Aminoasitler daha sonra enerji kaynağı olarak kullanılan proteinlere, pürinlere pramidinlere dönüştürülür.

Bitkiler ve mikroorganizmalar kullanım için enerjik olarak daha indirgen olan $\text{NO}_3^-\text{-N}$ yerine $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ’u tercih ederler. Bitkilerin sıcak aylarda özellikle ilkbahar ve yaz aylarında kullanım kapasiteleri oldukça yüksektir. Kış sezonu boyunca bitkilerin azot kullanım kapasitesi düşer ve azotun ayrıştırılması mekanizmaları ağırlık kazanır.

Optimum şartlarda bitkilerin biyomasiyla giderilen azot miktarı toplam giderilen azotun %10'undan daha küçük olduğu kaydedilmiştir (**Vymazal ve diğ., 1999**).

3.6.5.2 Kök penetrasyonu

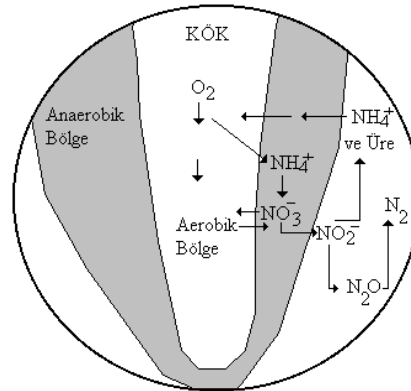
Kaliforniya (Santee)'daki aynı yatak derinliğine sahip yapay sulakalanlarda farklı bitkiler kullanılarak amonyum giderimi yönünden bitkisiz sistemlerle karşılaştırma sonucu çok farklı sonuçlar elde edilmiştir. *Bulrush* (hasır sazı), *Reed* (saz), *Cattail* (kamış) ve bitkisiz sistemlerden elde edilen amonyum giderimleri sırayla; %94, %78, %28 ve % 11 olarak bulunmuştur. Bu durum yapay sulakalanlarda kök penetrasyonun önemini göstermektedir (**Reed ve diğ., 1988**).

3.6.5.3 Oksijen transferi

Bitkiler tarafından köklerinin yakın çevresindeki (rizosfer) ortama verdikleri oksijen tüm oksijenin %90'ını oluşturmaktadır (**Reddy ve diğ., 1989**). Şekil 3.2'de bitki köklerinde oksijen taşınımı ve azotun bakterilerce ayrışımı görülmektedir (**Reddy ve diğ., 1989**).

Reed (*Phragmites spp*)'ler *Cattail* (*Typhia spc.*)'lerden daha derine nüfuz edebildiğinden ve rizomları düşey olarak ilerlediğinden oksijen transferi daha etkili olmaktadır. Bu nedenle de YAAS sistemlerde en çok tercih edilen bitki türleri olmuştur (**Reed ve diğ., 1995**).

Phragmites australis 'lerde kök bölgesine oksijen transferi 5-12 gO₂/m²/gün (21-120 kg/ha/gün) arasında olup **Brix ve Schierup (1990)** tarafından 2.08 gO₂/m²/gün ve olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.2: Bitki köklerinde oksijen taşınımı ve azotun ayrışımı (**Reddy ve diğ., 1989**)

Bazı durumlarda bu oksijen miktarının büyük bir kısmı (2.08 g) yalnızca kök metabolizması (kök solunumu) için yeterli olmakta ve ancak çok az bir kısmının (0.02 g) bakterilerle kullanılabildiği tespit edilmiştir (**Brix ve Schierup, 1990**). Literatürde bazı batık su bitkileri için oksijen transferi $0.5-5.2 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{gün}$ (**Caffrey ve Kemp, 1991**) ve yüzücü bitkiler için $0.25-9.6 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{gün}$ olarak kaydedilmiştir (**Perdomo ve diğ., 1996**).

3.6.5.4 Bitkilerle terleme ve buharlaşma

Azot giderim proseslerinde iklimsel şartlar kritik parametrelerdir (**Vymazmal, 1998**). *Cattail* (*Typhya spc.*)’lerde birim terleme hızı düşüktür fakat yapraklarının yüzey alanı oldukça büyüktür. *Reed* (*Phragmites spp*)’ler için bu oran yüksek olsa da düşük birim hacimli yaprakları sayesinde su kayıpları sınırlıdır (**Reed ve diğ., 1988**).

Yaz aylarında buharlaşma ve terleme ile su kayıpları sistemdeki su hacmini düşüreceğinden artık haldeki kirletici konsantrasyonlarını arttırmaya meyillidir. Azalan su hacmi ise alıkonma süresini artırır ve anoksik veya anaerobik şartlar için mevcut potansiyeli de arttırabilir.

3.6.5.5 Hasatlama

Hasatlamayla azot giderimi iklime, hasat sıklığı ve bitki türüne bağlı olarak değişmektedir. Yaprak kısımlarındaki nütrient içeriği kök ve gövde kısımlarına nazaran oldukça düşük olduğu için bitkilerin su yüzeyinin üzerindeki kısımlarının hasatlanmasıyla nütrient giderimi pratikte fazla bir önem arz etmemektedir. Lostowel (Ontario)’deki bir sistemde hasatlamayla azot gideriminin %10’dan daha küçük oranlarda kaldığı hesaplanmıştır (**Herskowitz, 1986**). Santee (Kaliforniya)’deki bir sistemde ise %12 ile %16 arasında kaldığı belirtilmiştir (**Gersberg ve diğ., 1985**).

3.6.6 Substrat (dolgu malzemesi)

Mikroorganizma faaliyetlerinin optimum hızda devam etmesi için substrat malzemesi sürekli ıslak tutulmalıdır. **Brix ve Schierup (1990)** büyük çaplı substrat malzemesinin (kaba çakıl gibi) daha büyük bir boşluk oranı ve daha kısa bir hidrolik bekletme süresini sağlamasıyla daha yüksek bir oksijen taşınımını (konveksiyon ve difüzyonla) sebep olduğunu göstermişlerdir.

Buna karşın **Watson ve Danzig (1993)** ise ince kum gibi serbest drenajı sağlayan

daha küçük çaplı substrat malzemesinin mikrobiyal biyofilmlerin büyümesi için daha yüksek bir yüzey alanını oluşturmalarından dolayı daha yüksek bir nitrifikasyon hızını sağladıklarını göstermişlerdir.

Substratlar aerobik ve anaerobik mikroorganizmalar için bir temas yüzeyi ve destek görevi üstlenir ve aynı zamanda bitki köklerinin korunumunu sağlar. Ayrıca substrat malzemesi girişteki askıdaki katı maddeler ve zamanla ayrılarak stabilize olacak olan üretilen mikrobiyal katıların alıkonması için basit bir filtre görevi de üstlenir.

3.6.7 Adsorpsiyon

Amonyum iyonları (NH_4^+) dolgu malzemesinin yüzeylerine, inorganik sedimentler veya ölü bitki materyallerinin yüzeylerine bağlanarak giderilebilir. Adsorbe edilen amonyum bu yüzeylere çok zayıf bağlarla bağlandığı için suyu kimyası değiştiğinde buradan hemen ayrılır (**Kadlec ve Knight, 1996**).

Azot türlerinin birçoğu çok kolay çözünürdürler ve sedimentlerle diğer tanecik türleriyle temas etme fırsatı bulamazlar. Adsorpsiyonun toplam azot dengesinde sınırlı bir rolü vardır.

3.6.8 Hidrolik yük

HYH sulakalan verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin HYH belirli bir artıştan sonra verim düşmektedir.

Literatürde YAAS ve SYAS sistemleri için hidrolik yük aralıkları sırayla 2-30 ve 7-60 $\text{L/m}^2/\text{gün}$ olarak verilmiştir (**Knight ve diğ., 1993**). Farklı bir kaynaktan yüzeyaltı akışlı yapay sulakalanlar için tipik hidrolik yükleme hızları 20-200 $\text{l/m}^2/\text{gün}$ (2-20 cm/gün) olarak verilmiştir (**WPCF, 1990**).

3.6.9 Azot yükü

Literatürde bir çok yapay sulakalan için 44 kg/ha/gün 'e kadar olan azot yüklerinde %79'lara varan toplam azot giderimlerinin sağlandığı bildirilmiştir (**Hammer ve Knight, 1994**).

Literatürde maksimum toplam azot yükünün 20 ile 30 kg/ha/gün arasında değiştiği kaydedilmiştir (**Kadlec ve Knight, 1996**).

Tablo 3.8’de Kuzey ABD’deki bazı sulakalan sistemlerinin yükleme hızlarına bağlı olarak ortalama azot giderim performansları verilmiştir (**Knight ve diğ., 1993**). Tablo 3.8’e göre doğal bir sulakalandan ortalama 1.89 kg/ha/gün’lük bir toplam azot giderilirken bu değer SYAS ve YAAS sulakalanlarda sırayla 3.46 kg/ha/gün ve 15.63 kg/ha/gün’dür. Buradan YAAS sistemin toplam azot gideriminde daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.8: Kuzey ABD sulakalanlarının ortalama yükleme hızlarına karşı performansları (**Knight ve diğ., 1993**)

Sulakalan Tipi	TKN					NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻				
	Giriş	Çıkış	YH	GH	%G	Giriş	Çıkış	YH	GH	%G
DS	6.34	1.77	4.08	2.32	56.9	4.30	0.29	1.42	1.10	77.5
SYAS	17.5	12.3	8.23	4.11	49.9	1.90	1.21	0.81	0.36	44.4
YAAS	22.0	12.9	24.9	8.11	32.5	109	94.5	158	15.0	9.45
Sulakalan Tipi	NH ₄ ⁺					TN				
	Giriş	Çıkış	YH	GH	%G	Giriş	Çıkış	YH	GH	%G
DS	4.09	0.69	2.21	1.5	71.5	10.2	2.30	2.63	1.89	71.9
SYAS	8.84	8.19	4.93	1.67	33.9	8.08	4.58	7.59	3.46	45.6
YAAS	7.89	3.58	10.2	2.21	21.7	41.4	12.1	29.0	15.6	53.8

DS: doğal sulakalan, SYAS: serbest yüzey akışlı yapay sulakalan, YAAS: yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan, YH: kütleli yükleme hızı (kg/ha/gün), GH: giderim hızı (kg/ha/gün), %G: yüzde giderim.

3.6.10 Organik yük

Organik yük bitkilerin oksijen transfer kapasitesini aşmayacak şekilde sınırlandırılmalıdır. aksi taktirde bitki kökleri kurumaktadır. Bu nedenle, 110 kg BOİ₅ /ha/gün’lük maksimum sınır bu maksatlar için önerilmiştir (**WPCF, 1990**).

Köklü bitkilerin (*Typha* ve *Phragmites* gibi) ölümüyle sulakalan giren organik karbon miktarı çoğu kez denitrifikasyon için yeterli görülmektedir (**Reed ve diğ., 1995**). Bu tür bitkilerin kuru ağırlık olarak yıllık üretimleri yaklaşık 3 kg/m² olup bitki dokularındaki karbonun en az %40’ı (0.54 kg/m²) denitrifikasyon için yeterli görülmektedir.

3.6.11 Çevre koşulları

Bitkilerin optimum performansları sağlayacak şekilde kullanılabilmeleri için yaşama ortamlarındaki çevre şartlarının daima korunması gerekmektedir. Tablo 3.9’da atıksu arıtımında en yaygın kullanılan çeşitli bitkilerin özel çevre koşulları verilmiştir (**Stephenson ve diğ., 1980**).

Tablo 3.9: Atıksu arıtımında yaygın kullanılan çeşitli bitkilerin özel çevre koşulları (Stephenson ve diğ., 1980)

Bilimsel ismi	Yayılım	Sıcaklık, °C		Mak.Tuzluluk Tolerans, mg/L	Optimum pH
		kabul edilir	Min.		
<u><i>Köklü Bitkiler</i></u>					
Su Kamışı <i>Typha spc.</i>	Tüm dünyada //	10-30	-	30	4-10
Saz <i>Phragmites com.</i>	//	12-33	-	45	2-8
Kofa <i>Juncus spc.</i>	//	12-26	-	20	5-7,5
Hasır Sazı <i>Scirpus spc.</i>	//	16-27	-	20	4-9
Ayak Otu <i>Carex spc.</i>	//	14-32	-	-	5-7,5
<u><i>Yüzücü Bitkiler</i></u>					
Su Sümbülü <i>Eichornia crass.</i>	G.ABD	20-30	10	800	5-7
Su Mercimeği <i>Lemna minor</i> <i>Lemna gibba</i> <i>Wolffia spc.</i> <i>Spirodela polyrrhiza</i>	ABD	20-30	5	3500	5-7
Su Eğreltisi <i>Azolla caroliniana</i> <i>Azolla filiculoides</i>	ABD	>10	5	2500	3,5-7

3.6.12 Konfigürasyon

Sulakalan sistemlerinde uygun bir hidrolik akımın sağlanmasında sistemin en/boy oranı büyük önem arz etmektedir. Her iki sistem için de önerilen en/boy oranı 4/1 veya daha küçük değerlerdir. Akım yolu uzadıkça sisteminde atıksuya karşı direnci de artmakta ve yüksek debileri tolare edebilmektedir (US-EPA, 2000).

3.7 Sulakalan Uygulamaları

Doğal formdaki sulakalanlar geçmişte genelde birer atıksu deşarj alanları olarak kullanılmışlardır (Kadlec ve Knight, 1996). Bir çok durumda bu kullanımın arkasında yatan gerçek sebep atıksuların arıtımından ziyade direkt boşaltımı olmuştur. Atıksu arıtım teknolojisindeki daha sonraki adım klasik sistemler olmuştur ve bunlar ilk başta yüksek yüklerle başlamış daha sonra su yasalarının ve su standartlarının geliştirilmesiyle zamanla daha düşük yüklerle çalıştırılacak şekilde modifiye edilme yoluna gidilmiştir. Sulakalanlarla atıksu arıtımı fikri ise yaklaşık son 20-30 yıl içerisinde tüm dünyaya yayılmıştır. Bunun için çok farklı sebepler vardır. Bunlar arasında; doğal proseslerin öneminin farkına varılması, kırsal bölgeler

ve dağınık yerleşim birimlerindeki atıksu arıtım ihtiyacı, masraflar (işletme ve bakım gibi) gibi sebepler yer almaktadır. Avrupa ve ABD’de son 10 yıl içerisinde su kirliliği kontrolü için bir çok karar alınmıştır. Bu alınan kararların ışığında da bir çok araştırma ve deneyler başlatılmıştır. Artık günümüzde yapay sulakalanlar şehirselsel, endüstriyel, tarımsal ve yağmur sularının arıtımı için uygulanmaktadır. Yapay sulakalanlar artık bugün dünyanın bir çok kısmında atıksu yönetimi ve su kirliliği kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde dünyanın bir çok yerinde binlerce sulakalan temelli atıksu arıtım sistemleri mevcuttur, fakat işletim halinde olanlarının tam sayısı henüz bilinmemektedir **(Reddy ve DeAngelo, 1994)**.

3.7.1 Dünyadaki uygulamaları

1996’da yapılan bir araştırmada ABD ve Kanada’da kullanımda olan 176 adet yapay sulakalan tespit edilmiştir. Bunların büyük bir çoğunluğu (116) tropikal bölgelerde ise soğuk bir bölge olan Kuzey Dakota’da yer almaktadır. Soğuk bölgelerdeki sulakalanların çoğunluğunu SYAS sistemler oluşturmaktadır. Kuzey ABD’nin birçok eyaletindeki mevcut sulakalanlarının sayısı debi ($m^3/gün$) aralıklarına göre sıralandığında 0-500 arası 48, 500-1000 arası 41 ve 5000> debiyle çalışanların sayısı 42 adettir **(Kadlec ve Knight, 1996)**.

Bir Kuzey Avrupa ülkesi olan Danimarka yapay sulakalanların geliştirilmesinde öncü bir rol üstlenmiştir. Yüzeyaltı akışlı sulakalanların öncüsü olan bu ülkede büyük çoğunluğu evsel atıksuların arıtımı için kullanılan yaklaşık 130 adet sulakalan mevcuttur. İsveç ve Norveç bu gibi sistemlere daha az ilgi duymuşlardır. 1996’da İsveç’te şehirselsel ve evsel atıksuların arıtımında kullanılan 6 adet SYAS ve 8 adet YAAS sulakalan tespit edilmiştir. İsveç’teki sulakalanların çoğu genelde azot giderimi maksadıyla planlanmıştır. İsveç’in Oxelösund şehrinde (baltık kıyısındaki) Baltık Denizini ötröfikasyon tehlikesinden korumak için kurulan büyük ölçekli sulakalan tesisi buna bir örnektir. Bu tesis aynı zamanda İskandinavya’daki azot giderimi için kullanılan ilk gerçek ölçekli uygulama olmuştur. Bu tesis İsveç’in Oxelösund şehrindeki mevcut arıtma tesisinin (fiziksel ve kimyasal) yüksek maliyetinden (25 \$/kg azot) dolayı tercih edilmiş olup kurulan bu tesisle maliyet yarıya (11 \$/kg azot) düşürülmüştür **(Kadlec ve Knight, 1996)**.

İsveç’e kıyasla Norveç’teki sulakalanlar daha fazladır. Norveç’te yaklaşık 20 kadar sulakalan tespit edilmiş olup bunların çoğunluğunu yüzeyaltı akışlı sulakalanlar

oluşturmaktadır. Doğu Avrupa’da ise yapay sulakalanlar en fazla Çek Cumhuriyeti’nde uygulanmıştır. 1989 ile 1996 yılları arasında 26 adet sulakalan inşa edilmiştir. Günümüzde Çek Cumhuriyeti’nde 50’nin üzerinde yapay sulakalan mevcuttur. Buradaki sistemlerin büyük bir kısmı yüzeyaltı akışlı olup çoğunluğu mekanik ön arıtımı yapılmış olan şehrsel atıksuların arıtımında kullanılmaktadır **(Kadlec ve Knight, 1996)**. Macaristan ve Letonya’da da yapay sulakalanlar mevcut olup sayıları hakkında kesin bilgi mevcut değildir. Avusturya’da 160’ın üzerinde işletme halinde olan yapay sulakalanlar tespit edilmiş olup çok sayıda da inşası halen devam etmekte olan tesis mevcuttur **(Kadlec ve Knight, 1996)**.

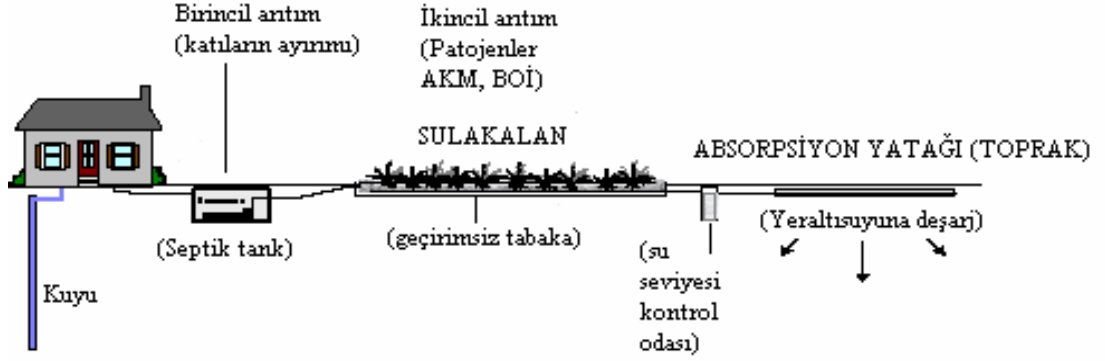
3.7.1.1 Yağmursuyu arıtımı

Yağmursuyu sulakalanları 4 temel kategoriye ayrılmıştır **(Schueler, 1999)**. Bunlar sırayla; sığ sulakalan sistemi, havuz/sulakalan sistemi, uzun bekletmeli sulakalan ve cep tipi sulakalan sistemidir. Sığ sulakalan sistemi 10 hektarı geçen oldukça büyük su havzalarında büyük yüzey alan gerektiren sulakalan sistemleridir. Köklü bitkilerin desteklenmesi için emniyetli bir taban akımına veya yeraltı su kaynağına ihtiyaç duyulur. Havuz/sulakalan sistemi sığ sulakalan sisteminden daha az bir alan gerektirir ve iki ayrı hücreden oluşur. İlki bir havuz, ikincisi sığ bir sulakalan sahasıdır. İlk kademenin amacı hızlı bir yağmur girişinin önlenmesi ve sedimentlerin azaltılmasıdır. Burada sığ sulakalan sisteminden daha derin bir havuz kullanılmıştır. Uzun bekletmeli sulakalan sistemlerinde ilave bir yardımcı yağmursuyu deposu kullanılmaktadır. Sulakalan çevresi köklü bitkilerden kurularak normal havuz seviyesinin daha yukarlara (maksimum) çekilmesi sağlanmaktadır. Cep tipi sulakalanlar ise su seviyesinde aşırı dalgalanmaların olduğu ve emniyetli bir taban akımının bulunmadığı daha küçük sahalar için oldukça uygundur. Bazı durumlarda cep tipi sulakalanlar yeraltı suyu seviyesinin aşağısına kazılırlar. Yeraltı suyu seviyesinin daha düşük olduğu alanlarda yalnızca yağmursuyu ile beslenebilmeleri mümkündür. Bu tasarım örneklerin seçiminde su havzalarının dağılımı, mevcut alan ve sulakalan için arzu edilen çevresel fonksiyonlar büyük önem arz etmektedir **(Schueler, 1999)**.

3.7.1.2 Evsel atıksuların arıtımı

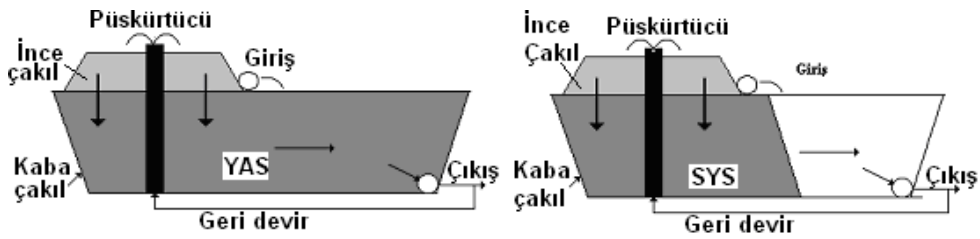
Şekil 3.3’de ikincil arıtımda kullanılan bir yapay sulakalan örneği görülmektedir. Septik tank içerisinde katı maddeler tabana çöker ve organik maddelerin bir kısmı

anaerobik bakterilerle kısmi olarak ayrıştırılır (birincil arıtım). Septik tank çıkışı kontrollü bir şekilde basınçlı olarak sulakalan sistemlerine (amaca göre bir veya daha fazla) pompalanır.



Şekil 3.3: Köklü ve batık bitkili sulakalan sistemlerinin ikincil arıtmada kullanımı (SWDC, 1999)

Sulakalalan sistemi nin en alt kısmı geçirimsiz bir tabakadan ibaret olup bunun üzeri sırayla çakıl dolgu materyali ve köklü ve batık bitkileri destekleyen toprak materyalinden oluşmaktadır. Sulakalan çıkış suları doğrudan toprak absorpsiyon yatağına verilir. Sulakalanda koku problemi olmaması için su seviyesinin çakıl yüzeyin altında kalması sağlanır. Sulakalan sisteminde organik maddeler, askıdaki katılar, patojenler ve nütrientler biyolojik dönüşümler, bitkilerle kullanım ve toprak partiküllerine adsorpsiyonla giderilirler. Güneşten gelen UV ışınlarıyla bir miktar dezenfeksiyon da sağlanmış olur. Şekil 3.4’de gösterilen sistem septik tank çıkış sularındaki güçlü amonyak deşarj limitlerinin karşılanabilmesi amacıyla geliştirilmiş geri devirli kombine bir sistemdir.



Şekil 3.4: Nitrifikasyon filtre yatağının şematik görünümü.

Hem serbest yüzey akışlı hem de yüzeyaltı akışlı sistemlere uygulanabilen ve bir ön nitrifikasyon niteliğindeki düşey akışlı filtre yatağı giriş kısmında kullanılmıştır. Aerobik şartların sağlanması için ince çakıl tabakasından ibaret yatağın alt kısımları kaba çakılla desteklenmiştir. Sulakalan çıkışındaki nitriye olan atıksuyun geri devri

bu düşey akışlı yatağın üzerinden fısıkiyeme yöntemiyle olmaktadır. Böylece ham atıksu girişiyle nitrifiye olmuş süzüntü suyu girişte karıştırılarak azot gideriminde bir avantajın sağlanması düşünülmüştür. Bu tür sistemlerde hidrolik yük genelde 200l/m²-gün'ün altında kalmaktadır.

Filtre malzemesinin geçirgenliğine ve sistemin en/boy oranına bağlı olarak hidrolik yük arttırılabilmektedir. Örneğin Kentucky'deki buna benzer bir sistemde (en/boy:3/1) hidrolik yük 400 L/m²-gün'e kadar çıkarılmıştır (**Reed ve diğ., 1995**). Evsel atıksuların üçüncü kademe arıtımının yapıldığı ilk yapay sulakalan örneklerinden birisi, kanalizasyon sisteminin mevcut olduğu 1007 nüfuslu Leek Wootton ve Hill Wootton (İngiltere, Warwickshire) köylerinin kanal sularını arıtmak için 1990 yılında kurulan sistemdir. Birinci ve ikinci çökeltme tanklarını alan biyolojik filtre çıkış sularını arıtan iki adet serbest yüzey akışlı bir sulakalan sistemidir. Herbiri 15 mx 28 m boyutlarında olup toplam sistemin toplam yüzey alanı 825 m²'dir. Dolgu malzemesi olarak çakıl (5-10 mm) ve bitki türü olarak *Phragmites australis* kullanılmıştır. Yataklar hem nitrifikasyonu hem de denitrifikasyonu çok iyi yürütebilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemin 1990-1995 yılları arasındaki giriş ve çıkış amonyum konsantrasyonlarının (mg/L) ortalama değerleri sırayla; 6.76 ve 3.08'dir (**IWA, 2000**).

3.7.1.3 Çiftlik atıksuları

Oregon Eyalet Üniversitesi tarafından 1993 yılında Oregonda (ABD) çiftlik atıksuların arıtımı için 6 adet serbest yüzey akışlı sulakalan sistemi kurulmuştur. Ön arıtımı yapılmış atıksulardaki kalitenin iyileştirilmesi için farklı hidrolik yük ve madde (nütrient, katılar, organik maddeler) yüklerinde mevsimlere bağlı arıtma verimleri incelenmiştir. Herbir hücre 26.5 mx 5.5 m (147m²) boyutlarındadır. Hücreler 1.5 mx1.5 m lik alanlara bölünmüş ve her biri için tek bir bitki türü (*Typhia latifolia*, *Scirpus acutus*, *Glyceria* ve *Alopecurus*, *Hdrocotyle* ve *Lemna*) kullanılmıştır. Çıkış suyunun %95'i geri devrettirilmiştir. Atıksu debisi 35 m³/gün'dür. Maksimum BOİ₅ yükü 74 kg/ha-gün, NH₃ 100 mg/L ve AKM 1500 mg/L olacak şekilde giriş suyu seyreltilmiştir. Sistemin performansı ilk yıla nazaran sonraki yıllarda bitkilerin olgunlaşmasıyla birlikte daha da artmıştır. 1993-1995 yılları arasındaki yaz ve kış aylarındaki ortalama giriş/çıkış organik-N ve inorganik-

$N(NH_3+NH_4-N)$ konsantrasyonları sırayla 225/109 (yaz) ve 117/68 (kış), 166/82 (yaz) ve 88/52 (kış)'dir (IWA, 2000).

3.7.1.4 Tarımsal atıksular

Ziraat atıksularını ve yağmursuları alan ve ötrofik olan bir bataklığın (280000 ha'lık bir alana sahip) ıslahı için 1994 yılında K.Florida (ABD)'daki Okeechobee gölü yakınlarında kurulan SYAS sistemi 4 hücreden ibaret olup sistemin ilk iki hücresinde sırayla *Typhia domingensis* ve *Typhia latifolia* (köklü), üçüncü hücresinde *Sagittaria*, *Eleocharis*, *Panicum*, *Pondetaria* ve *Cladium* (köklü), dördüncü hücrede ise *Ceratophyllum* ve *Najas* (batık) bitkileri kullanılmıştır (IWA, 2000).

3.7.1.5 Depo sızıntı suları

1992 yılında "The Isanti-Chisago Katı Atık Depo Sahası" atıksularının arıtılması amacıyla Cambiridge (ABD, Minnesota) yakınlarında kurulmuş olan sistem sızıntı sularının yapay sulakalanlarla arıtımına çok iyi bir örnektir. Depo sızıntı suları kaskatlı bir havalandırıcıdan sonra bir çökeltme havuzuna verilmektedir. Havalandırıcıda çözünmüş oksijenin artırılması amaçlanmıştır. Bekletme süresi 6 gün, su derinliği 1.2 m (çökelen katılarla birlikte) ve debisi 600 m³/gün olan bu sistemde doğal olaylarla yüzey havalanması ve güneş ışığıyla oksidasyon/ayırışma olmakta ve organik ve inorganiklerin çökertilmesi sağlanmaktadır. Havuz çıkış sularını paralel 3 adet SYAS ve köklü bitkilerden kurulu yapay sulakalan sistemleri almaktadır. Sulakalan sisteminin toplam yüzey alanı 0.6 ha, debisi 600m³/gün, su derinliği 30 cm ve bekletme süresi 3 gün'dür. Burada devam eden arıtmalar; havalandırma, sorpsiyon, katıların tutulması, biyolojik dönüşüm ve depolamadır. (IWA, 2000).

3.7.2 Türkiye'deki uygulamaları

Yapay sulakalanların Türkiye'deki ilk örnekleri 1995 yılında TÜBİTAK-MAM kampüsünde kurulan sistemlerdir. İTÜ-TÜBİTAK-MAM işbirliği ile yürütülen araştırmalar için kullanılan arazi ölçekli bu deney sistemlerinin yanı sıra 2003 yılında İSKİ'ye ait Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi alanında 3 adet pilot tesis kurulmuştur. Arıtma tesis çıkış sularıyla beslenen sistemlerin her biri yaklaşık 100m² yüzey alanına sahiptir. Tesislerden birincisi, yüzeyaltı akışlı olarak *Cyperus* ile bitkilendirilmiş, ikincisinde yüzücü su bitkisi olarak *Lemna minor* kullanılmış,

üçüncüsü ise serbest yüzeyli yapılmış ve yine *Cyperus* bitkisiyle bitkilendirilmiştir (Ayaz ve Akça, 2001).

Tam ölçekli yapay sulakalanlar ise yeni yeni kurulmakta ve giderek yaygınlaşmaktadır. Tam ölçekli yapay sulakalanlara örnek teşkil edecek çalışmalar, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından başlatılan kanalizasyonu bulunan köylere doğal arıtma tesisi kurulması kampanyası çerçevesinde 2004 yılında Ankara-Haymana-Dikilitaş köyünde ve Hazar Gölü'nün kirlenmesini önlemek amacıyla Kovancılar ilçesi Muratbağı köyünde kurulan sistemlerdir. Diğer bir çalışma ise Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'nın "Doğal Arıtma Projesi" altında İzmir bölgesinde başlattığı sistemlerdir. İzmir'in Torbalı ilçesine bağlı Korucuk köyündeki yapay sulakalanlar bu örneklerden sadece biridir. Yaklaşık 8000 YTL'ye mal olan 1452 metrekaarelik arıtma tesisinde, *Phragmites australis* bitkisinin ekili olduğu yapay sulak alanda arıtma sağlanmaktadır. Havuzlarda biriktirilen atıksular, filtre ortamında mikroorganizmalar ve sulakalan bitkileri aracılığıyla arıtılmaktadır. Örnek çalışmalardan bir diğeri ise Akarçayın ıslahı için Afyon Valiliğince İl Özel İdaresi Kaynakları ile 15 Temmuz 2004'de Afyon'da kurulan sistemlerdir. Bu çalışmalardan alınan olumlu sonuçlar neticesinde bu tür sistemler ülke genelinde giderek yaygınlaşmaktadır.

Türkiye'nin bir çok bölgesinde çeşitli kurumlar tarafından yapay sulakalanların kurulmasına yönelik imzalanan protokoller bu çalışmaların olumlu nihai sonuçlarından birisidir. Örneğin, Isparta Valiliği-Süleyman Demirel Üniversitesi (SDÜ) ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi arasında sulakalanların kurulmasına yönelik imzalanan protokoller bunlardan sadece birisidir. Bu protokolde Eğirdir Gölü'nün korunması için göl kenarında (Senirkent ve Uluborlu bölgesinde) bir sulak alana tesisi kurulması kararlaştırılmıştır. Bu tesis ile yörede yaşayan 50 bin insanın evsel atıklarının arıtılması planlanmıştır.

Çevre ve Orman Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı ve TÜBİTAK-MAM işbirliği ile Mogan Gölünü kirlüten dereler üzerinde taban akışının yanı sıra yağış sularını da arıtması düşünülen sulakalan sistemleri planlanmıştır. Bunlara ilave olarak, Manisa Kırkağaç İlçesinde, proje nüfusu 40000 olan, perdeli anaerobik reaktörü takiben düşey ve yatay yüzeyaltı akışlı ve yüzeysel akışlı yapay sulakalanların kullanıldığı ve Tokat-Erbaa'da proje nüfusu 70000 olan benzer özelliklere sahip arıtma sistemleri planlama aşamasındadır.

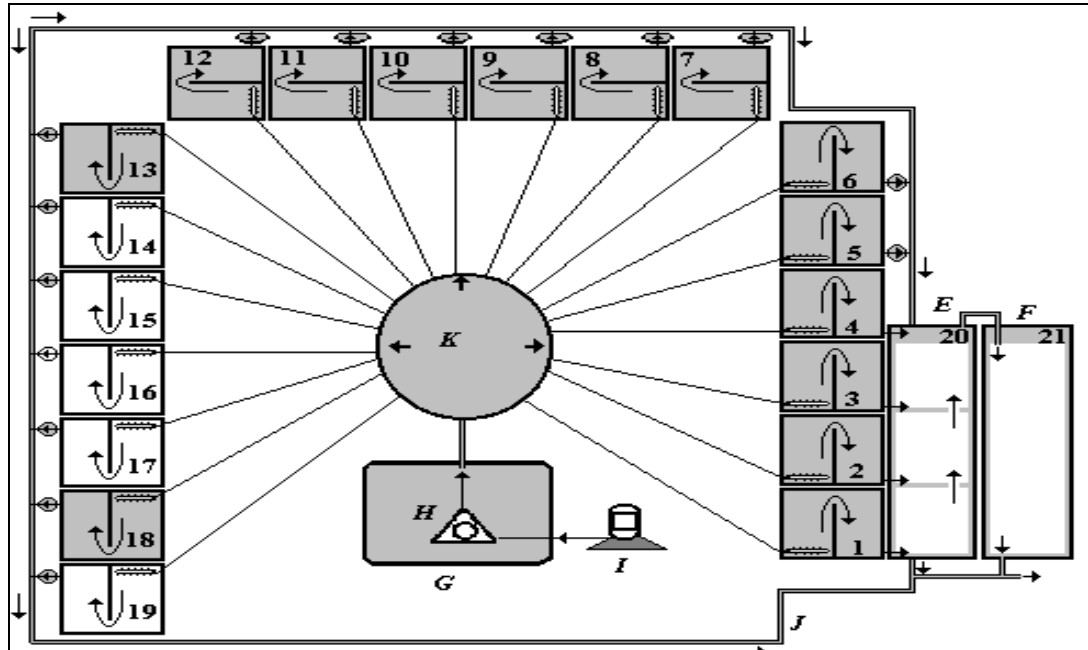
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapay sulakalanlarda azotlu bileşiklerin giderimi ve performans üzerine etkili parametrelerin araştırılması maksadıyla TUBİTAK-MAM kampüsünde kurulmuş olan pilot ölçekli sistemler üzerinde yüzücü, batık ve köklü bataklık bitkileriyle piston akımlı yapay sulakalanlar teşkil edilerek su kaynaklarına gelen azotlu kirleticilerin giderimleri incelenmiştir. Ömerli havzasına deşarj olan Hamsu, Göçbeyli, Ballica ve Uzunvere gibi çok kirli olmayan derelerde 24 Ocak-18 Aralık 1996 yılındaki yapılan ölçümlerde ortalama TKN konsantrasyonları sırayla; 0.65, 1.46, 1.04 ve 1.57 mg/L olarak bulunmuştur. BOİ konsantrasyonları uç değerler çıkarıldığında ortalama 15 mg/l'dir. Ortalama PH değerleri ise nötrale yakındır (İSKİ, 1997). Ömerli havzasına dereler yoluyla giriş yapan bu kaynakların karakterizasyonu Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının karakterizasyonuna oldukça benzerlik göstermektedir. Bu maksatla derelerle barajlara gelen suyu temsil niteliğine sahip olduğu düşünülen İSKİ Ömerli Barajı Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suları beslemede kullanılmıştır.

2001 yılında başlayıp 2002 yılında sonuçlandırılan ve 1 yılı aşan bu çalışma başlıca 3 grupta gerçekleştirilmiştir. İlk gruptaki çalışmalar köklü bitkilerle, ikinci gruptaki çalışmalar yüzücü ve batık bitkilerle, üçüncü gruptaki çalışmalar ise tüm bitki türlerini içeren karma bir sistemde (3 kademeli seri sistem) gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada çakıl dolgu materyali içerisine köklü bitkilerin dahil edilmesiyle bir bitkisel filtrasyon mekanizması kurulmuştur. İkinci aşamada yüzücü ve batık bitkiler kullanılmıştır. Üçüncü aşamada ise tüm bitki türlerini içeren seri bağlı bir sistem (köklü bitkiler-yüzücü bitkiler-batık bitkiler) tasarlanmıştır. Tüm aşamalarda farklı hidrolik yükleme hızlarında çalışılmıştır. Her üç aşamada da arıtım üzerine sıcaklık, hidrolik yük ve bitkilerin etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Deneysel Çalışmada kullanılan düzeneğin fotoğrafı Şekil 4.1'de ve şeması Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Tankların tümü polysterden imal edilmiştir.



Şekil 4.1: Pilot ölçekli tesisin fotoğrafı



AÇIKLAMALAR; Koyu bölgeyi kısımlar çakıl dolgulu ve köklü bitkilerden kurulu YAAS sulakalanları, açık renkli kısımlar ise yüzücü ve batık bitkilerden kurulu SYAS sistemlerini temsil etmektedir. G:besleme tankı (3 ve 7,5 tonluk); H:dalgıç pompa; I: elektrik ünitesi; J: su toplama kanalı; K:ana dağıtıcı; kullanılan bitkiler:1-*Canna flaccida*, 2- *Cyperus alternifolius*, 3- *Typhya angustifolia*, 4- *Juncus efecus*, 5- *Typhya latifolia*, 6- *Phragmites com.*, 7- *Phragmites spc.*, 8- *İris foetidissima*, 9- *Solidage*, 10- *Typhya spc.*, 11- *Poaceae*, 12- *Paspalum pasp.*13- *İris pseudacorus*, 14- *Elodea can.+Eg. Densa*, 15- *Valisneria spc.*, 16- *L.minor*, 17- *Eichornia cras.*, 18- şahit I (YAAS- bitkisiz), 19-Şahit II (SYAS-bitkisiz), 20- *Lemna+Pistia+Salvina.*, 21- *Elodea+Egeria densa*.

Şekil 4.2: Deneysel çalışma düzeneğinin şematik görünümü

Ana dağıtıcıya gelen besleme suları çakıl yüzeyindeki dağıtıcıya (delikli boru) verilerek suyun çakıl içerisinden aşağıya doğru homojen bir biçimde süzülmesi sağlanmıştır. Besleme tankı toplam 10,5 tonluk olup, haftada en az iki kez Paşaköy İleri Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu ile dolumu sağlanmıştır. 21 adet tankı içeren sistemin tümüne verilecek debi ($L/m^2/gün$) dalgıç pompanın zaman rölesine bağlanması suretiyle ayarlanmıştır.

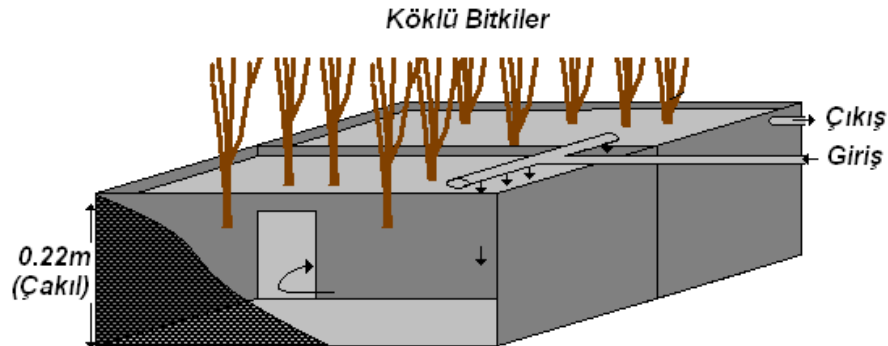
Hidrolik yük daha sonra kademeli olarak arttırılarak verim üzerine etkisi incelenmiştir. Birim yüzey alana verilen debi (hidrolik yük) başlangıçta $30 L/m^2/gün$ olup literatürde verilen değerler ($20-200 L/m^2/gün$) arasında arttırılarak, sırayla 50, 70, 80 ve $120 L/m^2/gün$ değerlerinde çalışılmıştır.

4.1 Deneysel Çalışma Düzenegi I

Yüzey alanı $1m^2$ ve su derinliği yaklaşık 22 cm olan çakıl dolgulu tanklar içerisine kamış ve sazlık olarak isimlendirilen bataklık bitkileri dikilerek YAAS yapay sulakalan sistemleri dizayn edilmiştir.

Kullanılan bitki türleri reaktör numaralarına göre sırayla; 1-*Canna flaccida*, 2-*Cyperus alternifolius*, 3-*Typhya angustifolia*, 4-*Juncus efecus*, 5-*Typhya latifolia*, 6-*Phragmites com.*, 7-*Phragmites spc.*, 8-*İris foetidissima*, 9-*Solidage*, 10-*Typhya spc.*, 11-*Poaceae*, 12-*Paspalum pasp* ve 13-*İris pseudacorus*'dur.

YAAS yapay sulakalan sistemleri Şekil 4.1'de koyu bölgelerle gösterilmiştir. 18 No'lu tank YAAS sistemleri için şahit olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan düzeneğin şematiği Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

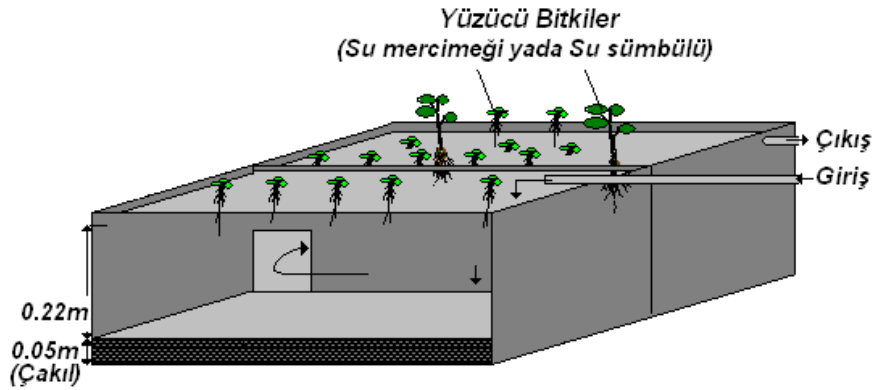


Şekil 4.3: Deneysel çalışma düzeneği I'in şematik görünümü

Bu mekanizma aynı zamanda çakıl filtrasyonu ile köklü bitkilerle filtrasyon sistemi arasında arıtım yönünden bir farkın olup olmadığını ortaya koymaktadır.

4.2 Deneysel çalışma düzeneği II

Yüzey alanı 1m^2 ve su derinliği yaklaşık 22 cm olan tanklar içerisine su mercimeği ve su sümbülü gibi yüzücü bitkilerle su sazı olarak isimlendirilen batık su bitkileri ile serbest yüzey akışlı (SYAS) yapay sulakalan sistemleri dizayn edilmiştir. Kullanılan batık su bitkileri reaktör numaralarına göre sırayla; 14- *Elodea* ve *Egeria* (karışık) 15-*Valisneria spc.* (su sazı) ve yüzücü bitkiler ise sırayla; 16-*Eichornia cras.* (Su sümbülü) ve 17- *Lemna minor* (su mercimeği), *Pistia* (su marulu) ve *Salvina* (su eğreltisi)'dir. SYAS yapay sulakalan sistemleri Şekil 4.1'de açık bölgelerle gösterilmiştir. 19 No'lu tank SYAS sistemleri için şahit olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan düzeneğin şematiği Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

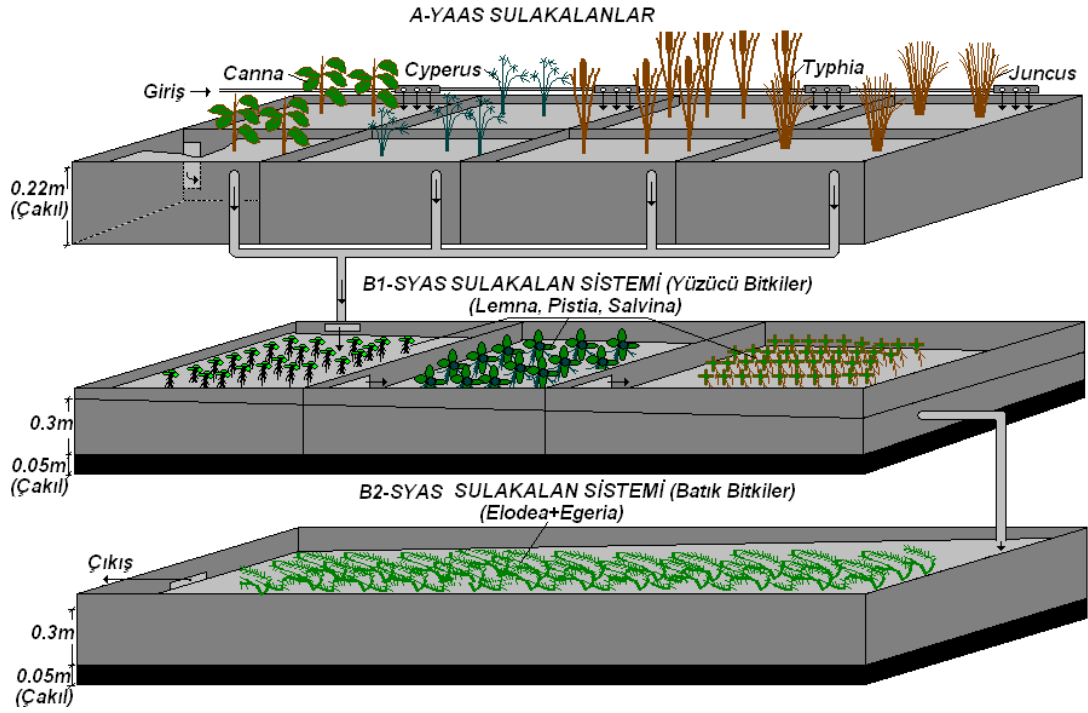


Şekil 4.4: Deneysel çalışma düzeneği II'nin şematik görünümü

4.3 Deneysel çalışma düzeneği III

Azot giderim performanslarını daha ileri düzeye getirilip getirilemeyeceğinin belirlenmesi ve yüzeyaltı akışlı sistemler ile serbest yüzey akışlı sistemlerin kirleticiler giderim verimlerinin birbirlerine olan etkilerini görebilmek amacıyla sırayla köklü, yüzücü ve batık bitkilerden oluşan seri bağlı bir sistem dizayn edilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan düzeneğin şematiği Şekil 4.5'de ve fotoğraflık görünümü ise Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Kullanılan köklü bitkiler reaktör numaralarına göre sırayla; 1-*Canna flaccida*, 2- *Cyperus alternifolius*, 3- *Typha angustifolia*, 4- *Juncus efecus*, yüzücü bitkiler; 20-*Lemna*, *Pistia* ve *Salvina* ve batık bitkiler; 21- *Elodea* ve *Egeria densa* 'dır.



Şekil 4.5: Seri bağlı sistemin şematik görünümü



Şekil 4.6: Seri bağlı sistemin fotoğrafı

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüldüğü gibi E tankı; 1 (*Canna flaccida*, 2 (*Cyperus alternifolius*) 3 (*Typhia angustifolia*) ve 4 (*Juncus efecus*)'ün çıkışlarıyla beslenmektedir. E'nin çıkışı ise F tankının beslenmesi için kullanılmıştır. Böylece “köklü bitkiler (wetlands)-yüzücü (aquatic) bitkiler-batık (submerged) bitkiler” arasında seri bağlı bir sistem düzeneği kurulmuştur. E ve F tanklarının en boy oranları aynı olup 4mx1m'dir. Köklü bitkilerden kurulu diğer tanklar ise 1mx1m

boyutlarındadır. YAAS ve SYAS sulakalan sistemlerinin özellikleri aşağıdaki Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

Tablo 4.1: YAAS ve SYAS sulakalan sistemlerinin özellikleri

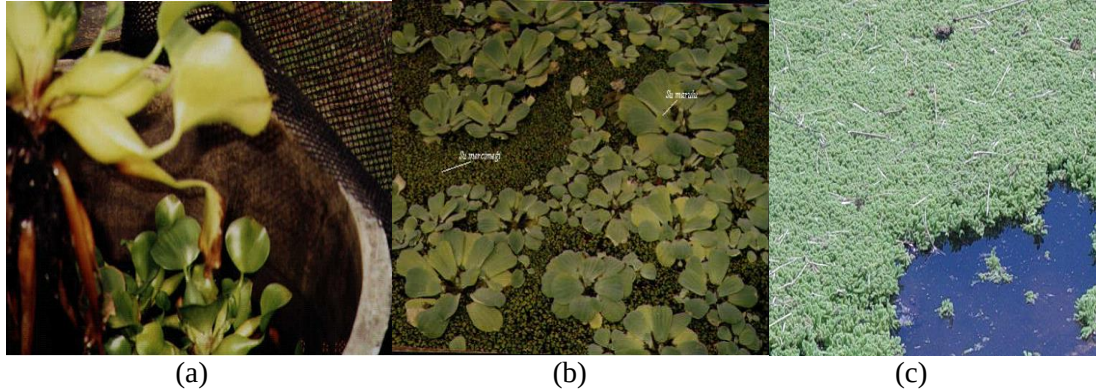
	Su Derin. (m)	Porozite (%) (n)	Yüzey Alan (m ²)	Tane Boyu (cm)	Atıksu Debisi (m ³ /gün)	HYH (L/m ² /gün)	HBS (Gün)
YAAS	0.22	0.40	1	1.0-2.5	0.03-0.12	30-120	0.75-2.93
SYAS ₁	0.22	0.75	1	1.0-2.5*	0.03-0.12	30-120	1.40-5.50
SYAS ₂	0.30	0.75	4	1.0-2.5*	0.12-0.48	30-120	1.87-7.50

*:bitkilerin tutunmasını kolaylaştırmak için tabana serilen 8 cm kalınlığındaki çakıl.

4.3.1 Seçilen bitki türleri

4.3.1.1 Yüzücü bitkiler

Şekil 4.7’de *Eichornia crassipes* (su sümbülü), *Pistia stratiotes* (su marulu), *Salvinia natans* (su eğreltisi) ve *Lemna minor* (su mercimeği), Şekil 4.8’de *Elodea*, *Egeria* ve *Valisneria* bitkilerinin fotoğrafları gösterilmiştir.

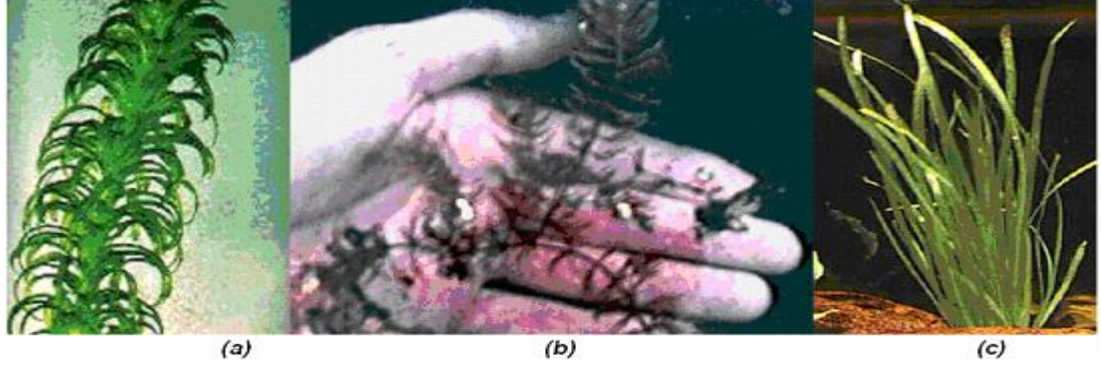


Şekil 4.7: Su sümbülü (a), Su marulu (büyük olanlar) ve Su eğreltisi (b), Su mercimeği (c)

Su mercimeğinin dışındaki tüm yüzücü bitkiler ağır geçen kış şartlarına dayanamamış ve ölmüşlerdir.

4.3.1.2 Batık bitkiler

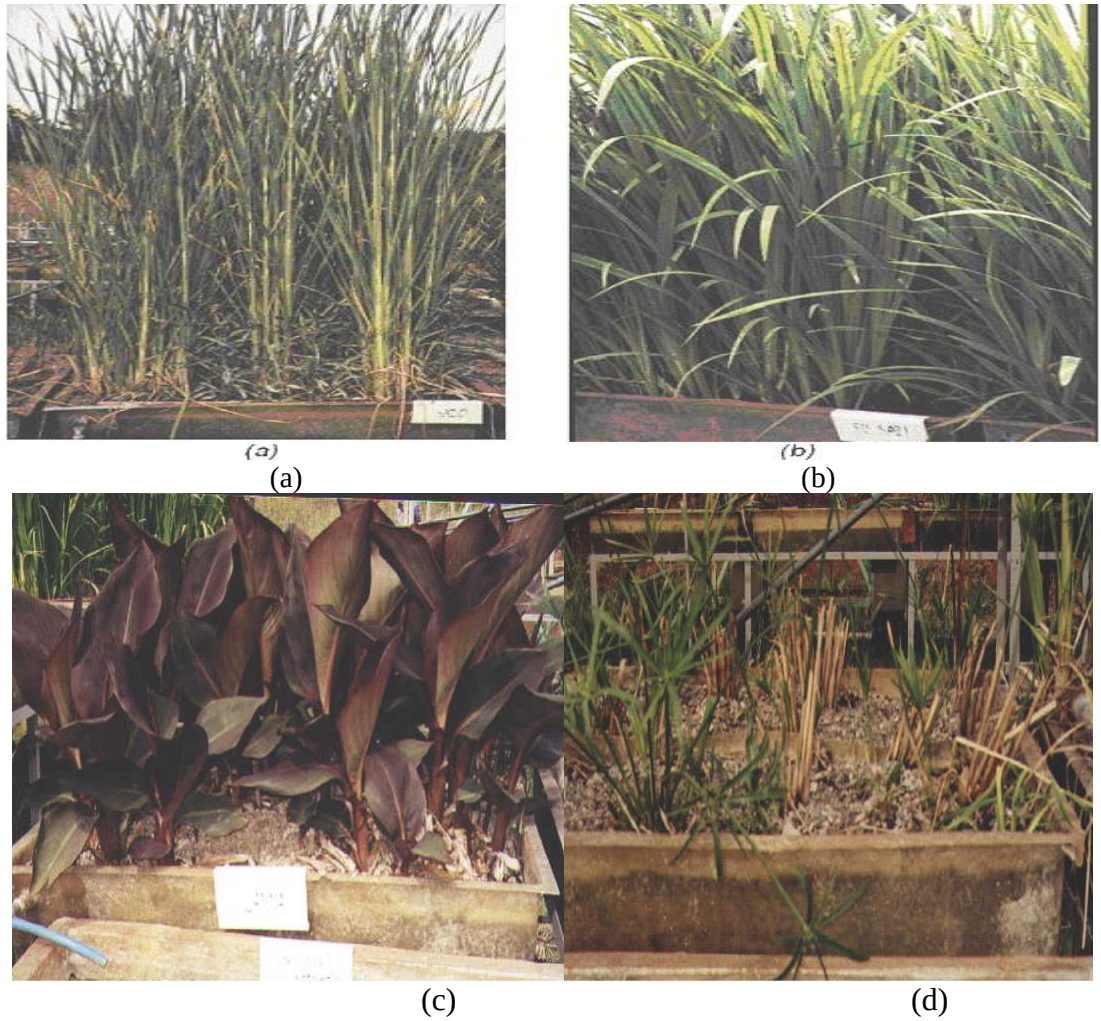
Şekil 4.8’de *Elodea canadensis*, *Egeria densa* ve *Valisneria spc.* gösterilmiştir. Su sazi bitkisi olan *Valisneria spc.* kış şartlarına dayanamadığı için ölmüştür ve daha sonra ise yeniden dikimi yapılmamıştır.



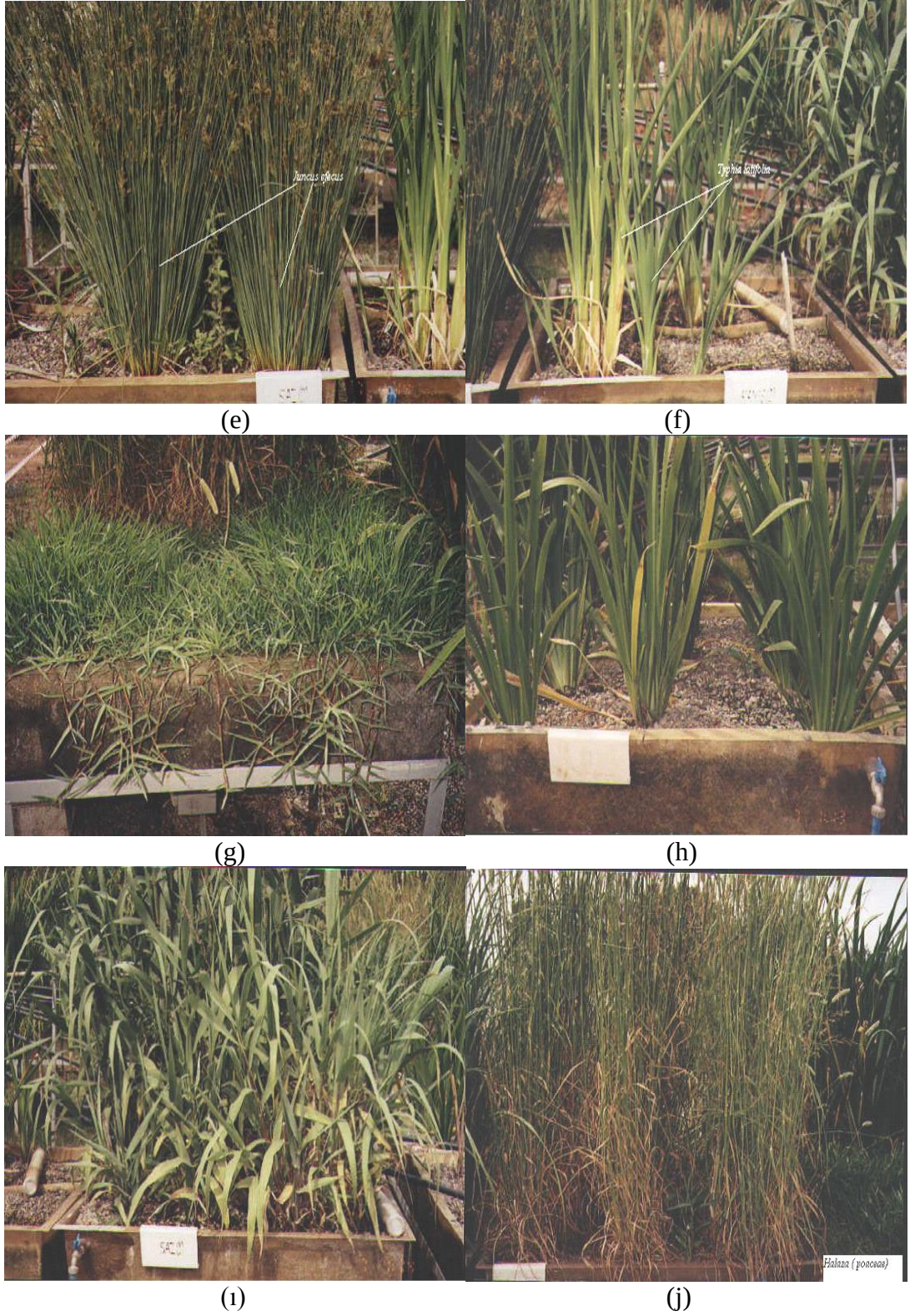
Şekil 4.8: Elodea (a), Egeria (b) ve Valisneria sp.(c)

4.3.1.3 Köklü bitkiler

Köklü bitkiler TÜBİTAK-MAM kampus alanından ve yakın çevrelerdeki bataklık alanlardan seçilmiştir. Şekil 4.9’da köklü bitkilerin (*Typhia*, *Iris*, *Cana*, *Cyperus*, *Juncus*, *Phragmites*, *Paspalum* ve *Poaceae*) fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 4.9: *Typhia angustifolia* (a), *Iris pseudacorus* (b), Kana çiçeği: *Cana*(c), Japon şemsiyesi: *Cyperus* (d)



Şekil 4.9: (Devam) Kara kofa: *Juncus efecus* (e), Su kamışı: *Typhia latifolia* (f), *Paspalum paspalodes* (g), *Iris foetidissima* (h), Saz: *Phragmites communis* (i), Halaza: *Poaceae* (j)

4.4 Hasatlama

Köklü bitkilerin hasatları Kasım, Aralık, Şubat, Mart ve Haziran aylarında yapılmıştır. Köklü bitkiler zemin yüzeyinin üzerindeki tüm kısımları hasat edilmiştir. *Lemna* (su mercimeği) ve *Salvina* (su eğreltisi) bitkileri haftada 1 kez yarıya düşürülecek şekilde, *Pistia* (su marulu) bitkisi iki ayda 1 kez yarıya düşürülecek şekilde hasatlanmışlardır.

Elodea ve *Egeria* bitkileri ise yalnızca yazın yarıya düşürülecek şekilde hasatlanmışlardır. Şekil 4.10'da köklü bitkilerin Kasım ayı içerisindeki hasatlanmalarıyla ilgili çalışmalar görülmektedir.



Şekil 4.10: Köklü bitkilerin hasat anından görüntü (1 Kasım 2003)

4.5 Analiz Metotları

Bu çalışmadaki atıksuyla ilgili yapılan analizler TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü laboratuvarında Standart Yöntemlere (**Standard Methods, 1998**) göre yapılmıştır. Tüm deneyler haftada 1 kez tekrarlanmıştır. Tüm

reaktör çıkışındaki kirletici konsantrasyonları sıcaklık ve pH'a bağlı olarak ölçülmüştür. Ölçülen parametreler ve analiz metotları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Ölçülen parametreler ve analiz yöntemleri

Analiz Adı	Analiz Yöntemi.	Kullanılan Alet.
İletkenlik	SM-2510 B Lab.Yöntemi.	
PH	SM-4500-H B Elektrometrik.	Metroohm 632.
Sıcaklık	SM-4500-O G Membran Elektrod.	Metroohm 632.
Çö.Oksijen	SM-4500-O G Membran Elektrod.	OXİ-196 632.
BOİ ₅	SM-5210 B 5 günlük	
KOİ	SM-5220 B Açık Refluks.	Spektrofotometre (HACH DR-2000).
TOK	JIS-K-0102 Yüksek sıcaklıkta yakma yöntemi	Shimadzu APHA TOC-500.
TN (bitkilerde)	Asitli ortamda parçalama, distilasyon, titrimetrik.	Azot distilasyon cihazı, Gerhardt Vapodest 3S.
TP	SM-4500 P D Stannous Klorur	Dionex 4000I İyon Kromatografisi.
TKN	Asitli ortamda parçalama, distilasyon, titrimetrik.	Kjeldahl Aleti Gerhardt Vapodest 3S, Distilasyon Cihazı.
NH ₄ -N	SM-4500 HH3 B.C Destilasyon+titrimetrik ve Nessler ASTM Standards, D 1426-93, 1993.	Kjeldahl Aleti Gerhardt Vapodest 3S, Distilasyon Cihazı
NO ₃ -N	Dr. LANGE-CADAS 200 Analiz Yöntemleri.	Dionex 4000I İyon Kromatografisi.

5. DENEY SONUÇLARI

5.1 Atıksu Karakterizasyonu

Atıksuyun karakterizasyonu çalışma aralığı içerisinde mevsimlere göre değişiklikler göstermiştir. Kullanılan suyun karakterizasyonu Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Tablo1’de çalışma periyodu müddetince (2 Ekim 2001-20 Haziran 2002) giriş suyunun su kalite parametrelerinin ortalama, minimum ve maksimum konsantrasyonları ile standart sapma değerleri verilmiştir. 10 (köklü bitkiler), 11 (köklü bitkiler), 13 (köklü bitkiler), 14 (batık bitkiler), 15 (batık bitkiler) ve 17 (yüzücü bitkiler) Numaralı reaktörlerdeki ölçümleri yaz periyodundan sonra yapılmıştır.

Tablo 5.1: Atıksu karakterizasyonu

Parametre	Birim	Ortalama	Stand. Sapma	Aralık (Min.-Mak.)
İletkenlik	$\mu\text{s}/\text{cm}$	1040	178	755-1290
pH		7.4	0.16	7.15-7.64
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	16	4.78	6.6-25.5
Çöz. Oksijen	mg/L	9	1.90	6.36-13.8
BOİ ₅	mg/L	15	7.48	7-32
KOI	mg/L	43	11.3	21-75
TOK	mg/L	10	2.45	7-15
TKN-N	mg/L	1.56	1.18	0.05-3.9
Organik-N	mg/L	0.22	0.25	0.01-0.92
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	1.33	1.11	0.05-3.4
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	<0.05		
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	8.30	3.96	0.78-15.5
TN	mg/L	10.33	3.85	2.35-16.4

Tablo 5.1’deki sonuçlara TKN/NH₄-N oranı 0.86 dır. Nitrit konsantrasyonu çalışma periyodu süresince daima 0.05 mg/L’nin altında kalmıştır.

5.2 Bitkilerin Hasatlanması ve Kütle Dengeleri

Literatürde düzenli olarak hasat edilen sistemlerdeki azot giderim hızlarının hasatsız olanlardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Reed ve diğ., 1995). Bu nedenle daha önceki çalışmalarda SYAS sistemlerinde daha yüksek azot giderimleri nedeniyle

bitkiler sistemi don etkisinden korumakla birlikte, bitkilerin düzenli olarak hasatlanması gerektiği vurgulanmıştır. Optimum büyüme için bitki ağırlıkları 7 kg/m²'yi geçmeyecek şekilde, bitkilerin %20-30'u hasat edilmelidirler (**Reed ve diğ., 1995**).

Köklü bitki çeşitlerine göre yılda en az üç kere (Mart-Nisan, Temmuz-Ağustos, Eylül-Ekim) hasat gerekli görülürken, yüzücü ve batık bitkilerin çeşitlerine göre de haftada bir ila ayda bir kez arasında değişen hasat öngörülmektedir. Örneğin; su mercimeği haftada bir, su sümbülü üç dört haftada bir hasat edilmektedir (**Metcalf ve Eddy, 1991**).

Bu çalışmada tüm bitkiler literatürde belirtildiği gibi düzenli aralıklarla hasat edilmemiştir, fakat bitkilerin bünyelerine aldıkları azot miktarını belirlemek ve hasatlamanın performansları ne derecede etkilediğini tespit etmek için bazı bitkiler seçilmiştir.

Köklü bitkilerden *Phragmites*, *Typhia*, *İris* ve yüzücü bitkilerden *Lemna* bu amaçlar için seçilmiştir. Bu bitkiler Bölüm 5.2.1'de anlatıldığı şekilde hasatlanmıştır. Hasatlamanın verim üzerine etkisini belirlemek için aynı bitkileri içeren diğer reaktörlerde (kontrol) hasatlama yapılmamıştır.

5.2.1 Bitkilerin azot kütle dengeleri ve azot kullanım kapasiteleri

Belirli bir gün içerisinde köklü bitkilerin zemin yüzeyinin yukarısındaki tüm kısımları hasat edilerek kök, gövde ve yapraklarındaki azot miktarları (g/kg) tespit edilmiştir.

Lemna bitkisinden ise belirli bir ağırlıkta ölçülerek alınmış ve bu ağırlık ikiye bölünerek bir yarısı bitkinin kök, gövde ve yapraklarındaki azot miktarının (g/kg) tespiti için kullanılmış diğer yarısı ise reaktör temizlendikten sonra reaktöre bırakılmıştır.

Hasatlama işleminden yaklaşık 14 (İris için) ve 43 gün sonra köklü bitkilerin kök, gövde ve yapraklarındaki azot içeriği (g/kg) tekrar ölçülmüştür. *Lemna* bitkisinin ise 14 ve 43 gün sonra kök, gövde ve yapraklarındaki azot miktarları (g/kg) ve toplam ağırlık artışları tespit edilmiştir.

Köklü (*Phragmites*, *Typhia* ve *İris*) ve yüzücü bitkilerin (*Lemna*) sabit hidrolik yük altındaki azot kütle dengeleri ve azot kullanım kapasiteleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Köklü (Phragmites, Typhia ve İris) ve yüzücü bitkilerin (Lemna) sabit hidrolik yüklerdeki azot kütle dengeleri ve azot kullanım kapasiteleri

	Başlangıç periyodu			43-gün sonra			
	1 Kasım 2001			13 Aralık 2001			
	Kök	Gövde	Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak	
	*HYH: 50 L/m ² /gün						
<i>Phragmites (10 rizom/m²)</i>							
Toplam kuru biyokütle, g	350	440	490	340	460	410	
TN içeriği, g/kg	15.9	15.6	27.6	22.9	19.5	23.9	
N kullanımı: 0.140 g/m ² /gün							
<i>Typhia (9 rizom/m²)</i>							
Toplam kuru biyokütle, g	370	310	800	350	300	680	
TN içeriği, g/kg	13.1	11.2	25.5	29.3	11.1	23.1	
N kullanımı: 0.120 g/m ² /gün							
<i>Phragmites (10 rizom/m²)</i>	13 Şubat 2002			27 Mart 2002			
	HYH: 70 L/m ² /gün						
	Toplam kuru biyokütle, g	320	380	170	330	400	290
TN içeriği, g/kg	13.2	37.3	41.1	13.5	24.1	42	
N kullanımı: 0.207 g/m ² /gün							
<i>Typhia (9 rizom/m²)</i>							
Toplam biyokütle, g	360	330	450	370	340	600	
TN içeriği, g/kg	18.5	14.3	24.4	11.5	11.3	25.1	
N kullanımı: 0.167 g/m ² /gün							
<i>Iris (8 rizom/m²)</i>							
Toplam kuru biyokütle, g	390	330	860	380	340	700	
TN içeriği, g/kg	26.9	18.6	28.8	31.2	18.2	34.4	
N kullanımı: 0.135 g/m ² /gün							
<i>Iris (8 rizom/m²)</i>	5 Haziran 2002			9 Haziran 2002			
	HYH: 120 L/m ² /gün						
				14-gün sonra			
	Toplam kuru biyokütle, g	420	350	1100	420	350	1200
TN içeriği, g/kg	27.2	16.3	26.9	27.3	11.1	26.5	
N kullanımı: 0.247 g/m ² /gün							
<i>Lemna</i>	HYH: 70 L/m ² /gün			HYH: 120 L/m ² /gün			
	Başlangıç periyodu		43-gün sonra	Başlangıç periyodu		14-gün sonra	
	13 Şubat 2002		2 Mart 2002	5 Haziran 2002		19 Haziran 2002	
	Toplam kuru biyokütle, g		321	632	321		471
TN içeriği, g/kg		29.9		31.1		33.9	34.1
N kullanımı: 0.234 g/m ² /gün				N kullanımı: 0.284g/m ² /gün			

*HYH: Hidrolik Yükleme Hızı.

Köklü bitkilerin bünyelerine aldıkları toplam azot içerikleri (g/m²/gün);

$$TN(g / m^2 / gün) = [(K_1.N_{k1} + G_1.N_{g1} + Y_1.N_{y1}) - (K.N_k + G.N_g + Y.N_y)]X / 1000t$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Burada, iki hasat süresi arasındaki zaman farkı t (gün), 1m²'lik tank içerisindeki toplam rizom sayısı X, başlangıçta (ilk hasat yapıldığında) bitkilerin kök, gövde ve yapraklarının kuru biyokütle ağırlıkları (g) ile toplam azot içerikleri (g/kg) sırayla K ve N_k, G ve N_g ve Y ve N_y, t gün sonraki kök, gövde ve yapraklarındaki biyokütle ağırlıkları (g) ile toplam azot içerikleri (g/kg) ise sırayla K₁ ve N_{k1}, G₁ ve N_{g1}, Y₁ ve N_{y1} sembolleri ile gösterilmiştir.

Yüzey alanı 1m² olan tank içerisindeki *Lemna* bitkisinin bünyesine aldığı toplam azot içeriği (g/m²/gün) ise;

$$TN(g / m^2 / gün) = [B_1.N_1 - B.N] / 1000t$$

Burada, iki hasat süresi arasındaki zaman farkı t (gün), başlangıçtaki toplam bitki biyokütlesi (g) ve toplam azot içeriği (g/kg) sırayla B ve N, t gün sonraki toplam bitki biyokütlesi (g) ve toplam azot içeriği (g/kg) sırayla B₁ ve N₁ sembolleri ile gösterilmiştir.

Tablo 5.1'deki sonuçlara göre köklü bitkilerin azot kullanım kapasiteleri 0.120-0.247 g/m²/gün (1.20-2.47 kg/ha/gün) arasında değişmektedir. *Lemna* bitkisinin TN kullanım kapasitesi ise 0.234 g/m²/gün (2.34 kg/ha/gün) ve 0.284 g/m²/gün (2.84 kg/ha/gün) olarak bulunmuştur.

Köklü bitkiler için elde edilen değerler literatürde kaydedilen 1.64-7.20 kg/ha/gün (WEF, 2000) değer aralıkları içerisinde kalmaktadır. *Lemna* bitkisi için elde edilen değer (2.34 ve 2.84 kg/ha/gün) ise Reed ve diğ. (1988) tarafından kaydedilen 3.66 kg/ha/gün değerinden biraz daha düşüktür.

5.2.2 Hasatlama ve verim ilişkileri

Literatürde bitkilerle azot kullanım kapasitesinin toplam azot giderimindeki payının ne derecede olduğuyla ilgili genel bir konsensüs sağlanmış değildir. Literatürde optimum şartlarda bitkilerin biyomasiyla giderilen azot miktarının toplam giderilen

azotun %10'undan daha küçük olduğu (Gersberg ve diğ., 1984; Herskowitz, 1986; Vymazal ve diğ., 1999) kaydedilmiştir. Rogers ve diğ. (1991) ve Breen (1990) tarafından yapılan bir araştırmada girişteki toplam azotun yaklaşık %50'sinin bitkisel kullanımla giderildiği belirtilmiştir. Bir diğer araştırmada ise bu değerin %16-75'i gibi çok geniş bir aralığı kapsadığı vurgulanmıştır (Reddy ve DeBusk, 1987). Sulakalanlardaki kullanılan bitkilerin özellikleri, çevresel faktörler ve akım şartlarıdır bu kullanım hızı üzerine etkili olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada bitkilerle toplam azotun kullanım hızının ve hasatlamanın verim üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 5.3: Köklü ve yüzücü bitkilerin sabit hidrolik yük altında hasatlı ve hasatsız arıtma verimlerinin karşılaştırılması

	Ortalama TN giriş g/m ² /gün	Ortalama TN çıkış g/m ² /gün	Bitkilerle TN giderimi (%)	*Diğer yollarla TN giderimi (%)	Ortalama TN giderimi (%)
Hidrolik Yükleme Hızı: 50 L/m ² /gün					
<i>Phragmites</i>					
hasatlı	0.587	0.266	23	32	55
hasatsız	0.587	0.310			47
<i>Typhia</i>					
hasatlı	0.584	0.332	19	24	43
hasatsız	0.584	0.349			41
Hidrolik Yükleme Hızı: 70 L/m ² /gün					
<i>Iris</i>					
hasatlı	0.898	0.533	15	26	41
hasatsız	0.898	0.613			32
<i>Phragmites</i>					
hasatlı	0.898	0.485	23	23	46
hasatsız	0.898	0.543			39
<i>Typhia</i>					
hasatlı	0.898	0.620	19	12	31
hasatsız	0.898	0.659			27
<i>Lemna</i>					
hasatlı	0.898	0.417	26	27	53
hasatsız	0.898	0.499			45
Hidrolik Yükleme Hızı: 120 L/m ² /gün					
<i>Iris</i>					
hasatlı	0.960	0.480	26	24	50
hasatsız	0.960	0.503			48
<i>Lemna</i>					
hasatlı	0.960	0.285	30	40	70
hasatsız	0.960	0.403			58

Bunun için seçilen *Phragmites*, *Typhia*, *İris* (köklü) ve *Lemna* (yüzücü) bitkilerini içeren reaktörlerden bir tanesinde bitki hasadı yapılmış diğerinde ise bitki hasadı yapılmamış ve kontrol olarak kullanılmıştır. Bitkilerin sabit hidrolik yük altındaki hasatlı ve hasatsız arıtma verimleri Tablo 5.3’de verilmiştir. Tablo 5.3’deki sonuçlar hasatlamanın ortalama verimler üzerine olumlu etkisini göstermektedir. Bu sonuçlara göre köklü bitkilerin hasatlanması ile verimler ortalama %5.3 (%2-%9), yüzücü bitkilerde (*Lemna*) ise ortalama %10 (%8-%12) daha yüksektir. Florida’daki çalışmalar düzenli olarak hasat edilen sistemlerdeki azot giderimlerinin hasatsız olanlardan 3 kat daha yüksek olduğunu göstermiştir **(Reed ve diğ., 1995)**. Buna karşın Lostowel (Ontario)’deki bir sistemde hasatlamayla azot gideriminin %10’dan daha küçük oranlarda kaldığı ve **(Herskowitz, 1986)**. Santee (Kaliforniya)’deki bir sistemde ise %12 ile %16 arasında kaldığı belirtilmiştir **(Gersberg ve diğ., 1984)**.

Bu çalışmada iki hasat günü arasındaki geçen sürede bitkilerin bünyelerine aldıkları TN miktarları ile toplam giriş konsantrasyonları arasındaki orana dayanılarak hasatla giderilen ortalama TN oranları bulunmuştur. Buna göre hasat süreleri içerisinde hasatla giderilen TN köklü bitkilerde ortalama %3.8 (%2-8.5) ve yüzücü bitkide (*Lemna*) ise ortalama %8.6 (%7.3-9.8)’dır.

Koottatep ve Polprasert (1997), azot kütle dengesinde bitkisel kullanımın oranını ve hasatlamayla verimin ne ölçüde değiştiği anlamak için kurduğu 2 adet pilot(1x10x0.6m) ve 6 adet laboratuvar ölçekli (0.5x1.65x0.6m) deney sisteminde kullandıkları *Typhia* bitkilerini (35 rizom/m²) 14, 28, 56 ve 90 gün sonra (pilot ölçeklide sadece 28 ve 56.gün sonra) hasat ederek kök, gövde ve yaprak kuru biyomasları ile azot içeriklerini ölçmüşlerdir. 90 gün sonraki kök, gövde ve yaprakları içeren toplam kuru biyomas ağırlığı 0.3 g/m²/gün olarak bulunmuştur.

Laboratuvar ve pilot ölçekli SYAS sulakalan sistemin 28 ve 56 gün sonraki sabit hidrolik bekletme süresindeki (5 gün) TN giderimleri sırayla ortalama %77, %85 ve kontrol için %66 olarak bulmuşlardır. Laboratuvar ve pilot ölçekli sistemin 28 ve 56 gün sonraki bitkilerin TN kullanım hızları ise ortalama olarak sırayla 0.61 ve 0.73 g/m²/gün olarak bulunmuştur. Araştırmacılar bu çalışmanın sonucunda bitkilerle TN kullanım hızının giriş toplam azotunun yaklaşık %43’ü olduğu, hasat aralığının artmasıyla verimin de arttığı fakat en iyi hasatlama süresinin 56 gün olduğu ve hasatlı sistemdeki verimlerin kontrol sistemden daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Sonuçlar bu çalışmadaki sonuçlarla benzerlik taşımaktadır. Bitkilerin

amonyak ve nitrati kullanım hızları Michaelis-Menten kinetikleri ya da sıfırıncı-dereceden kinetiklerle açıklanmaktadır. Kolaylık için sıfırıncı-derece kinetikler kullanılmaktadır (**Kadlec ve Knight, 1996; Martin ve Reddy, 1997**). Bitkiler için büyüme modeli $\frac{\partial M}{\partial t} = k_1 M - k_2 M$ ve $\frac{\partial N}{\partial t} = a k_2 M$ (M, N, k_1 ve k_2 : sırayla canlı ve ölü biyomas kuru ağırlıkları ile büyüme ve ölüm hız sabitleri, a: canlı biyomasın ölü biyomas ağırlığına oranı) şeklindeki birinci dereceden modelle açıklanmaktadır.

Hosoi ve diğ. (1998) hasatlama ile bitkilerin gelişim ölçülerini belirlemek amacıyla yaptıkları araştırmalar sonucunda bu modeldeki bitkilerin büyüme ve ölüm hızlarını ($k_1=0.12\exp(-0.025t)$, $k_2=0.0014\exp(0.014t)$) zamanın (t:hasattan sonra geçen süre, gün) bir fonksiyonu olarak ilişkilendirmiştir. Sonuçlar hasatlamadan sonra bitkilerin büyüme hızlarının ve dolayısıyla azotu kullanma kapasitelerinin (N-kullanım= $2.5-0.004t$) hızla düştüğü (maksimum giderim 110'uncu günde elde edilmiştir) yönünde olmuştur. Dolayısıyla, bundan sonraki yapılacak sulakalan çalışmaları deneyssel çalışma düzeneği yukarıda açıklanan hususları da göz önüne alarak planlanmalıdır.

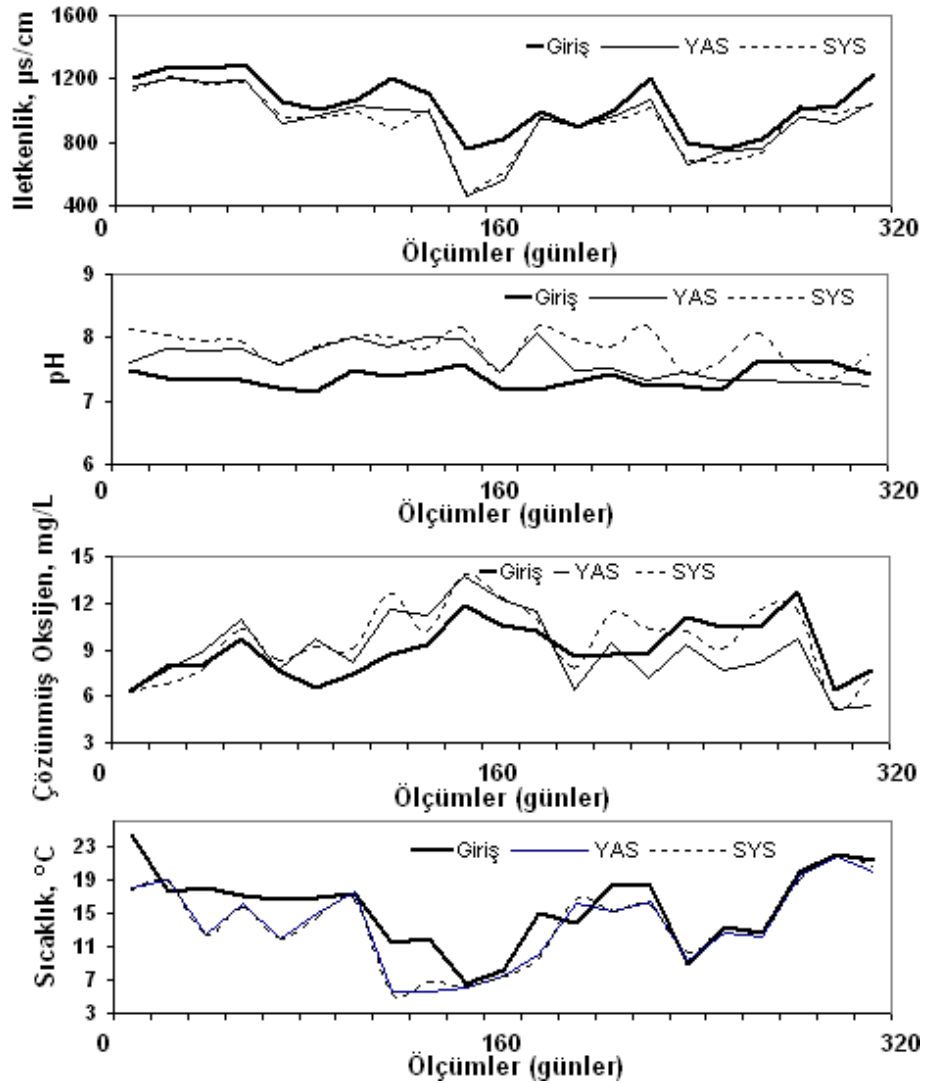
5.3 Çıkış Konsantrasyonları

Çalışma periyodu süresince tüm yapay sulakalan sistemlerinde çıkış konsantrasyonları genellikle giriş konsantrasyonlarından daha düşük çıkmıştır. Periyod süresince elde edilen analiz sonuçları EK A (Tablo A1-A8)'da özetlenmiştir. Tablo A.5'deki sonuçlara göre YAAS sistemlerindeki yıllık ortalama NH_4^+-N (0.333 mg/L) çıkış konsantrasyonları SYAS sistemlerinden daha küçük olmasına karşın SYAS sistemlerindeki yıllık ortalama NO_3^--N (3.76 mg/L) ve TN (4.20 mg/L) çıkış konsantrasyonları ise YAAS sistemlerinden daha küçük bulunmuştur. En düşük yıllık ortalama NH_4^+-N çıkış konsantrasyonları YAAS sistemlerdeki köklü bitkilerden *Iris pseudacorus* (0.178 mg/L) ve *Typhia spc.* (0.181 mg/L) bitkilerinden, SYAS sistemlerinde ise batık bitkilerden *Elodea-Egeria* (0.151 mg/L) elde edilmiştir. En düşük yıllık ortalama NO_3^--N çıkış konsantrasyonları YAAS sistemlerdeki *Poaceae* (köklü) (3.48 mg/L), SYAS sistemlerinde ise *Elodea-Egeria* (batık) (2.22 mg/L) bitkilerinden elde edilmiştir.

En düşük yıllık ortalama TN çıkış konsantrasyonları YAAS sistemlerdeki *Poaceae* (köklü) (3.81 mg/L), SYAS sistemlerinde ise *Elodea-Egeria* (batık) (2.40 mg/L) bitkilerinden elde edilmiştir.

5.3.1 Elektriksel iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklığın çalışma periyodu süresince değişimi

Giriş ve çıkış sularındaki sıcaklık, çözünmüş oksijen ve iletkenlik zamana bağlı olarak belirli ölçüde değişiklik göstermesine karşın pH değerleri belirli bir aralığın dışına çıkmamıştır. Şekil 5.1’de giriş ve çıkış suyundaki iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklığın çalışma periyodu süresince değişimleri verilmiştir.



Şekil 5.1: Giriş ve çıkış suyundaki iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklığın zamansal değişimleri

Giriş suyundaki ortalama iletkenlik 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iken, YAAS ve SYAS sistemlerinin çıkışlarında sırayla 926 ve 908 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Bu sonuç bize çözünmüş haldeki katı maddelerin sulakalanlarda belli bir oranda giderilebildiğini göstermektedir. Giriş ve çıkış suyundaki pH değişimi belirli aralıklarda sınırlı kalmıştır.

Giriş ve çıkış suyundaki pH değişimi belirli aralıklarda sınırlı kalmıştır. Giriş suyundaki pH aralığı 7.15 ile 7.64 arasında olup ortalama 7.4'dür. YAAS ve SYAS sistemlerinin çıkışlarında ise ortalama pH değerleri sırayla 7.6 ve 7.9'dur. Sulakalan çıkışlarındaki özellikle SYAS sistemlerinde pH aralıkları daha geniş bir aralığı kapsamaktadır.

Literatürde **Kadlec ve Kight (1996)** tarafından sulakalanların çıkışının hafif derecede asidik oldukları kaydedilmiştir. Giriş suyundaki yıllık ortalama çözünmüş oksijen 9 mg/L iken, YAAS ve SYAS sistemlerinin çıkışlarında sırayla 9 ve 9.8 mg/L'dir. SYAS sistemlerinde su yüzeyi atmosferle temas halinde olduğu için yüzeyden havalanmayla sulakalanlara belirli bir oranda oksijen girişi olabilir.

Giriş suyundaki yıllık ortalama su sıcaklığı 16°C iken, YAAS ve SYAS sistemlerinin çıkışlarında sırayla 14.3 ve 14.5°C olup biraz daha düşüktür.

5.3.2 Giriş ve çıkış azot konsantrasyonlarının zamansal değişimi

Tüm bitkili ve bitkisiz sulakalan sistemlerindeki giriş ve çıkış azot (NH_4^+-N , NO_3^--N , organik azot ve TN) konsantrasyonlarının sıcaklık ve hidrolik yükleme hızına bağlı olarak zamansal değişimleri EK B'de gösterilmiştir.

Her iki sistemde de hidrolik yük 70 $\text{L}/\text{m}^2/\text{gün}$ 'e kadar artarken giriş NH_4^+-N konsantrasyonları 3.5 mg/L'den yaklaşık 0.2 mg/L'ye kadar düşürülebilmektedir. Hidrolik yükün daha fazla artırılması çıkış konsantrasyonlarını daha fazla değiştirmemiştir.

Hidrolik yük artışıyla çıkış konsantrasyonlarının bir miktarda olsa azalışı YAAS sistemlerinde daha belirgin gözükmemektedir.

SYAS sistemlerdeki çıkış NO_3^--N konsantrasyonları YAAS sistemlerden daha düşüktür. YAAS sistemlerinde hidrolik yük 70 $\text{L}/\text{m}^2/\text{gün}$ 'e kadar artarken giriş NO_3^--N konsantrasyonları 1 mg/L'den yaklaşık 10 mg/L'nin üzerine kadar çıkarılmış ve daha sonra hidrolik yükün 120 $\text{L}/\text{m}^2/\text{gün}$ 'e kadar artırılmasıyla çıkış konsantrasyonlarında buna paralel olarak artma eğilimi taşımaktadır.

SYAS sistemlerinde ise hidrolik yük artışı çıkış konsantrasyonlarını fazla değiştirmemiş ve yaklaşık olarak ortalama 3 mg/l seviyelerinde seyretmiştir. Bu nedenle YAAS sistemlerinin hidrolik yükten olumsuz etkilendiği SYAS sistemlerinin ise fazla etkilendiği görülmektedir.

İstatistiksel analiz (t-istatistiği) sonuçlarına göre, YAAS sistemlerinde NH_4^+ için $r=0.69$, $t=4.12>t_c$, NO_3^- için $r=0.92$, $t=10.26>t_c$, Organik-N için $r=0.81$, $t=6.10>t_c$ ve TN için $r=0.85$, $t=6.91>t_c$ olarak bulunduğundan YAAS sistemlerinde ortalama giriş ve çıkış azot konsantrasyonları arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak doğrusal bir ilişki mevcuttur.

SYAS sistemlerinde NH_4^+ için $r=0.85$, $t=6.97>t_c$, NO_3^- için $r=0.38$, $t=1.79<t_c$, Organik-N için $r=0.60$, $t=3.30>t_c$ ve TN için $r=0.22$, $t=0.97<t_c$ olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre ise SYAS sistemlerinde ortalama giriş ve çıkış amonyum ve organik azot konsantrasyonları arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak doğrusal bir ilişki mevcut olmasına karşın bu ilişkiler nitrat ve toplam azot için bulunmamaktadır. t-istatistiği sonuçlarına göre her iki sistemde de HYH ve sıcaklıklar ile çıkış konsantrasyonları (ve giderimler) arasında doğrusal ilişki bulunmamıştır.

5.4 Verimler

Yapay sulakalanların çoğunda TN giderimi sistem tasarımı, hidrolik yük, sıcaklık ve bitki türlerine bağlı olarak %46-%72 arasında değişmektedir (**Knight ve diğ., 1993**). **Hammer ve Knight (1994)** tarafından Kuzey Amerika'daki 9 adet yapay sulakalanların ortalama amonyum ve TN giderimleri sırayla %55 ve %70 olarak kaydedilirken, **Brix (1994)** tarafından Danimarka'daki 25 adet batık bitkilerin hakim olduğu SYAS sistemleri ile 104 adet YAAS sistemlerindeki TN giderimlerinin ortalama %9-85 ve %30-40 arasında değiştiği belirtilmiştir. **Brix (1994)**'e göre azot giderimindeki bu geniş aralıkların sebebinin sistemlerin tasarım şekliyle ilgilidir. Örneğin literatürde düşey akışlı YAAS yapay sulakalan sistemlerinde uygun hidrolik akım ve yüksek oksijen transferinden dolayı nitrifikasyonun (**Brix, 1994**), batık bitkilerin hakim olduğu SYAS sistemlerinde ise taban kısımların aznoksik olmasından dolayı denitrifikasyonun daha iyi geliştiği bildirilmiştir (**Cooper, 1999**). Bitkili sistemlerdeki arıtma verimleri bitkisiz (kontrol) sistemlerden daima yüksektir.

Aradaki farkın büyüklüğü ise yine tasarım şekline ve çevresel faktörlere göre değişmektedir (Reed ve diğ., 1995).

Bu çalışmada bitkili ve bitkisiz tüm sistemler için çalışma aralığı içerisinde elde edilen arıtma verimlerinin ortalama değerleri Tablo 5.4, 4.5. 4.6 ve 4.7’de verilmiştir. Tablo 5.4’de bitkili ve bitkisiz sistemlerin yıllık ortalama arıtma verimleri verilmiştir. Her iki sistemde de bitkili sistemlerdeki verimler daha yüksektir. YAAS sistemleri $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, organik-N ve TN’u sırayla %73, %37, %73 ve %44 oranlarında giderirken SYAS sistemleri sırayla %57, %58, %68 ve %60 oranlarında gidermiştir. Bu sonuçlara göre YAAS sistemlerinde amonyum, SYAS sistemlerinde ise nitrat ve dolayısıyla TN giderimleri daha yüksektir.

Tablo 5.4: Bitkili ve bitkisiz sistemlerin yıllık ortalama arıtma verimleri

Reaktör No	Sistem	Arıtma Verimleri, %				
		TKN	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	Org-N	TN
1	YAAS	69	68	39	71	46
2	YAAS	68	68	25	66	33
3	YAAS	71	72	34	70	42
4	YAAS	69	69	34	64	42
5	YAAS	75	75	26	72	37
6	YAAS	78	77	38	82	47
7	YAAS	73	74	33	69	42
8	YAAS	76	76	35	75	44
9	YAAS	77	77	39	74	45
10	YAAS	66	65	35	70	40
11	YAAS	54	52	63	60	64
12	YAAS	80	80	49	82	53
13	YAAS	72	65	48	93	52
14	SYAS	66	57	69	93	70
15	SYAS	63	56	64	82	66
16	SYAS	58	57	46	67	50
17	SYAS	50	55	63	36	64
18	YAAS-Şahit1	46	47	23	41	30
19	SYAS-Şahit2	32	34	22	24	27
20	SYAS	42	41	33	46	37
21	SYAS	40	38	40	53	38

Tablo 5.5’de YAAS ve SYAS sistemlerinin ortalama giriş ve çıkış azot konsantrasyonları ile arıtma verimlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Tablo 5.5’deki sonuçlar YAAS sistemlerinin amonyum (%73) ve organik azot (%73), SYAS sistemlerinin ise nitrat (%58) ve TN (%60) için daha yüksek performanslar sergilediğini göstermektedir.

Tablo 5.5: YAAS ve SYAS sistemlerinin ortalama giriş ve çıkış azot konsantrasyonları ile arıtma verimlerinin karşılaştırılması

Parametreler		YAAS	SYAS
$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	Ort.Giriş(mg/L)	1.232	0.850
	Ort.Çıkış(mg/L)	0.333	0.368
	Verim (%)	73	57
$\text{NO}_3^- \text{-N}$	Ort.Giriş(mg/L)	8.442	8.972
	Ort.Çıkış(mg/L)	5.325	3.758
	Verim (%)	37	58
Org.-N	Ort.Giriş(mg/L)	0.218	0.194
	Ort.Çıkış(mg/L)	0.059	0.062
	Verim (%)	73	68
TN	Ort.Giriş(mg/L)	10.37	10.51
	Ort.Çıkış(mg/L)	5.78	4.20
	Verim (%)	44	60

Tablo 5.6’da bitki çeşitlerine göre ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile giderimlerinin (%) bir karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 5.6’daki sonuçlara göre köklü bitkilerdeki amonyum (%73), batık bitkilerdeki nitrat (%67), organik azot (%87) ve TN (68) giderimleri diğerlerine göre daha yüksektir. Bu nedenle SYAS sistemlerinde TN giderimindeki en büyük katkıyı batık bitkiler sağlamıştır.

Tablo 5.6: Bitkilerin ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile giderimlerinin (%) karşılaştırılması

Parametreler		Köklü Bitkiler	Yüzücü Bitkiler	Batık Bitkiler
$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	Ort.Giriş(mg/L)	1.232	1.069	0.511
	Ort.Çıkış(mg/L)	0.333	0.462	0.222
	Verim (%)	73	57	56
$\text{NO}_3^- \text{-N}$	Ort.Giriş(mg/L)	8.442	8.868	9.442
	Ort.Çıkış(mg/L)	5.325	4.154	3.144
	Verim (%)	37	52	67
Org.-N	Ort.Giriş(mg/L)	0.218	0.202	0.181
	Ort.Çıkış(mg/L)	0.059	0.086	0.023
	Verim (%)	73	57	87
TN	Ort.Giriş(mg/L)	10.37	10.42	10.63
	Ort.Çıkış(mg/L)	5.70	4.71	3.40
	Verim (%)	45	55	68

Köklü, yüzücü ve batık bitkilerle bitkisiz sistemlerden elde edilen yıllık ortalama arıtma verimleri Tablo 5.7’de özetlenmiştir. Tablo 5.7’deki sonuçlara bitkili sistemler bitkisiz sistemlerden önemli ölçüde daha yüksek verimler sağlamıştır

Tablo 5.7: Bitkili ve bitkisiz sistemlerin arıtma verimlerinin karşılaştırılması

Parametreler	Arıtma verimleri, %				
	TKN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Org-N	TN
Köklü bitkiler	73	73	37	73	44
Kontrol	46	47	23	41	30
Fark*	27	26	14	32	14
Yüzücü bitkiler	57	57	52	57	55
Kontrol	32	34	22	24	27
Fark*	25	23	30	33	28
Batık bitkiler	64	56	67	87	68
Kontrol	32	34	22	24	27
Fark*	32	22	45	63	41

*:Bitkili ve bitkisiz (kontrol) sistemler arasındaki farklar.

Literatürde yapay sulakalanlarda genellikle kış periyotlarına kıyasla yazın daha yüksek giderimler elde edilmiştir. Daha önceki yapılan örnek bir çalışmada evsel atıksularla beslenen yapay sulakalanların kış periyodundaki amonyum, TKN ve nitrat azotu giderimleri sırayla ortalama %14, %30.2 ve %30.4 iken, kış periyodunda sırayla %30.4, %37.9 ve %43.7 olarak, yani tümünde yaz periyodu için bir artış olmuştur (**Vanier ve Dahab, 2001**). Bu çalışmada yapay sulakalanların hem sistemlere (YAAS ve SYAS) hem de bitki türlerine göre (köklü, yüzücü ve batık) yaz ve kış periyodundaki performansları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.8’de bitki türlerine göre yaz ve kış periyodundaki ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile arıtma verimlerinin karşılaştırılması verilmiştir (Bitkilerin kış periyodundaki gelişimleriyle ilgili görünüm EK D’de verilmiştir).

Tablo 5.8: Bitkilerin yaz ve kış periyodundaki ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile arıtma verimlerinin karşılaştırılması

Parametreler		Köklü Bitkiler		Yüzücü Bitkiler		Batık Bitkiler	
		Yaz	Kış	Yaz	Kış	Yaz	Kış
NH ₄ ⁺ -N	Ort.Giriş(mg/L)	1.276	1.028	1.099	0.912	0.545	0.200
	Ort.Çıkış(mg/L)	0.331	0.346	0.442	0.570	0.237	0.088
	Verim (%)	74	66	60	38	57	56
NO ₃ ⁻ -N	Ort.Giriş(mg/L)	7.77	11.62	8.07	11.78	9.00	13.4
	Ort.Çıkış(mg/L)	4.77	7.87	3.78	6.07	2.97	4.69
	Verim (%)	39	32	53	48	67	65
Org.-N	Ort.Giriş(mg/L)	0.222	0.141	0.217	0.124	0.199	0.020
	Ort.Çıkış(mg/L)	0.055	0.077	0.086	0.088	0.025	0.008
	Verim (%)	75	45	60	29	87	63
TN	Ort.Giriş(mg/L)	9.75	13.18	9.87	13.32	10.25	14.12
	Ort.Çıkış(mg/L)	5.23	8.31	4.32	6.74	3.24	4.79
	Verim (%)	46	37	56	49	68	66

Tablo 5.8'deki sonuçlara göre yaz periyodunda daha yüksek verimler elde edilmiştir. Bu nedenle sıcaklık verim üzerinde olumlu yönde etkili olmuştur. Tablo 5.9'da azot için sistemlere göre yaz ve kış periyodundaki ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile arıtma verimleri verilmiştir.

Tablo 5.9: YAAS ve SYAS sistemlerinin yaz ve kış periyodundaki ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları ile arıtma verimlerinin karşılaştırılması

		YAAS Sulakalan Sistemi		SYAS Sulakalan Sistemi	
		Yaz	Kış	Yaz	Kış
NH ₄ ⁺ -N	Ort. Giriş (mg/L)	1.276	1.028	0.872	0.709
	Ort. Çıkış (mg/L)	0.331	0.346	0.358	0.432
	Verim (%)	74	66	59	39
NO ₃ ⁻ -N	Ort. Giriş (mg/L)	7.77	11.51	8.45	12.24
	Ort. Çıkış (mg/L)	4.77	7.87	3.45	5.68
	Verim (%)	39	32	59	54
Org.-N	Ort. Giriş (mg/L)	0.222	0.141	0.209	0.094
	Ort. Çıkış (mg/L)	0.055	0.077	0.061	0.065
	Verim (%)	75	45	71	31
TN	Ort. Giriş (mg/L)	9.75	13.18	10.02	13.55
	Ort. Çıkış (mg/L)	5.23	8.31	3.88	6.18
	Verim (%)	46	37	61	54

Tablo 5.9'daki sonuçlara göre YAAS sulakalan sistemlerinin yaz (%74) ve kış periyodundaki (%66) amonyum azotunu arıtma verimi SYAS sistemlerden daha iyidir. Buna karşın SYAS sistemlerinde de yaz (%59) ve kış (%54) nitrat ve dolayısıyla da TN (yaz %61, kış %54) için verimler daha iyi gözükmemektedir. Bitkilerin yaz ve kış periyodundaki gelişimleriyle ilgili görüntüler EK C'de verilmiştir.

5.5 Seri bağlı sistem

Azot gideriminde daha yüksek verimlerin alınabilmesi maksadıyla köklü, yüzücü ve batık bitkileri içeren reaktörler seri olarak bağlanmıştır. İlk kademedeki köklü (4 adet), ikinci kademedeki yüzücü ve üçüncü kademedeki batık bitki türlerinden oluşan seri bağlı sistemin çalışma aralığı içerisinde elde edilen azot verimlerinin ortalama değerleri Tablo 5.10'da özetlenmiştir. Tablo 5.10'daki sonuçlara göre ilk kademedeki amonyum (%69) ve toplam azot (%41) ve son kademedeki nitrat azotu giderimleri (%40) diğerlerine göre daha yüksektir. İlk kademedeki amonyum azotunun diğerlerine

göre daha yüksek olmasının temel sebeplerinden birisi köklü bitkilerin reaktörün alt kısımlarını oksijenlendirmeleridir.

İkinci ve üçüncü kademelerde sistemlere oksijen girişi sadece yüzeyden oksijen transferiyle sınırlı kalmaktadır. Özellikle son kademedeki batık bitkilerin bulunduğu sistemlerin taban kısımları daha çok anaerobiktir. Bu sistemde yoğun alg gelişimlerinin önlenmesi için yüzey kısmı bir ağla kapatılıp güneşin reaktöre geçişi kısmi olarak azaltılmıştır.

Tablo 5.10: Seri sistem düzeneğinden elde edilen yıllık ortalama konsantrasyon ve performans değerleri

Seri Bağlı Sistem		Köklü Bitkiler	Yüzücü Bitkiler	Batık Bitkiler
		1.kademe	2.kademe	3.kademe
NH ₄ ⁺ -N	Ort. Giriş (mg/L)	1.335	0.409	0.243
	Ort. Çıkış (mg/L)	0.409	0.243	0.151
	Verim (%)	69	41	38
NO ₃ ⁻ -N	Ort. Giriş (mg/L)	8.300	5.573	3.720
	Ort. Çıkış (mg/L)	5.573	3.720	2.217
	Verim (%)	33	33	40
Org.-N	Ort. Giriş (mg/L)	0.211	0.069	0.037
	Ort. Çıkış (mg/L)	0.069	0.037	0.017
	Verim (%)	67	47	53
TN	Ort. Giriş (mg/L)	10.323	6.102	3.856
	Ort. Çıkış (mg/L)	6.102	3.856	2.395
	Verim (%)	41	37	38

Seri bağlı sistemde yıllık ortalama amonyum, nitrat ve toplam azot arıtma verimleri sırayla %89, %73 ve %77'dir. Bu sonuçlar bize sistemlerin seri olarak bağlandığında azot giderimlerinin belirli bir düzeye kadar iyileştirilebileceğini göstermektedir.

Seri bağlı sistemin yaz ve kış periyodundaki performansları Tablo 5.11'de özetlenmiştir. Tablo 5.11' deki sonuçlara göre yaz ve kış periyotlarındaki en yüksek nitrat (yaz %46, kış %29) arıtma verimleri son kademedeki batık bitkilerle elde edilmiştir. Yaz periyodundaki TN gideriminde köklü bitkiler (%45) kış periyodunda ise batık bitkiler (%30) diğerlerine nazaran biraz daha iyi gözükmemektedir.

Yaz periyodunda; giriş NH₄⁺-N konsantrasyonları 1.392 mg/L'den 0.118 mg/L' ye düşürülerek ortalama %92'lik bir verim sağlanmıştır. Kış periyodunda ise giriş NH₄⁺-N konsantrasyonları 1.09 mg/L'den 0.291 mg/L' ye düşürülerek ortalama

%73'lük bir verim elde edilmiştir. Yaz periyodunda giriş TN konsantrasyonları 9.67 mg/L'den 1.84 mg/L'ye düşürülerek ortalama %81'lik bir verim sağlanmıştır.

Tablo 5.11: Seri sistem düzeneğinin yaz ve kış yıllık ortalama konsantrasyon ve performans değerleri

Seri Sistem		Köklü Bitkiler	Yüzücü Bitkiler	Batık Bitkiler	Köklü Bitkiler	Yüzücü Bitkiler	Batık Bitkiler
		Yaz			Kış		
NH ₄ ⁺ -N	Ort. Giriş (mg/L)	1.392	0.379	0.194	1.090	0.539	0.448
	Ort. Çıkış (mg/L)	0.379	0.194	0.118	0.539	0.448	0.291
	Verim (%)	73	49	39	51	17	35
NO ₃ ⁻ -N	Ort. Giriş (mg/L)	7.58	4.80	3.13	11.37	8.85	6.25
	Ort. Çıkış (mg/L)	4.80	3.13	1.70	8.85	6.25	4.42
	Verim (%)	37	35	46	22	29	29
Org.-N	Ort. Giriş (mg/L)	0.226	0.068	0.036	0.150	0.073	0.038
	Ort. Çıkış (mg/L)	0.068	0.036	0.015	0.073	0.038	0.025
	Verim (%)	70	47	58	52	47	34
TN	Ort. Giriş (mg/L)	9.67	5.31	3.18	13.11	9.47	6.75
	Ort. Çıkış (mg/L)	5.31	3.18	1.84	9.47	6.75	4.75
	Verim (%)	45	40	42	28	29	30

Kış periyodunda ise giriş TN konsantrasyonları 13.11' mg/L'den 4.75 mg/L'ye düşürülerek ortalama %64'lük bir verim elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yaz periyodunda tüm azot türleri için arıtma verimleri kış periyodundan biraz daha yüksektir.

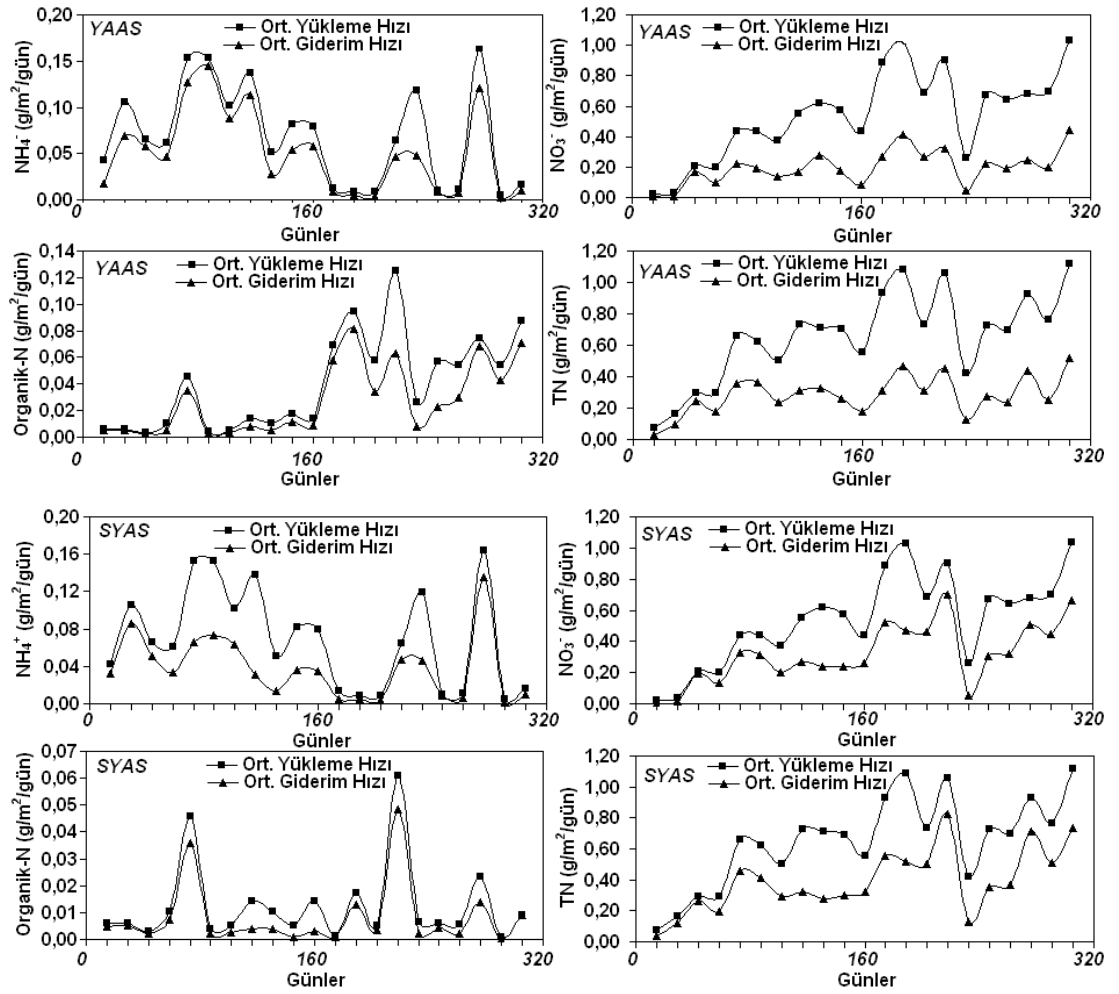
Seri sistemin yaz periyodundaki NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, Org.-N ve TN arıtma verimleri ortalama olarak sırayla %92, %78, %93 ve %81 iken kış periyodunda %73, %61, %83 ve %64'tür. Sonuç olarak genel bir değerlendirme yapıldığında seri sistem azot giderimini daha iyi düzeylere getirmiştir. Tüm bitki türlerinde (veya kademelerde) arıtma verimleri ise kış periyodunda biraz daha düşük çıkmıştır.

5.6 Madde Yükleme Hızı ile Giderim Hızı Arasındaki İlişki

YAAS ve SYAS sistemlerinde NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, Organik-N ve TN giderim hızları ile yükleme hızları arasındaki ilişkilerin zamana bağlı değişimleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Eğrilerin birbirine paralelliği yükleme hızı ile giderim hızı arasında iyi ilişkilerin ya da doğrusal ilişkilerin olduğunu gösterir. İki eğrinin bir birine yakın olması ise performansın yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 5.2'ye göre YAAS sistemlerde yükleme hızları ile giderim hızları arasında zamana bağlı olarak en iyi

ilişkiler $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve Organik-N için, SYAS sistemlerde ise organik-N için söz konusudur.

YAAS sistemlerinde ortalama $\text{NH}_4^+\text{-N}$ yükleme hızı $0.066 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ ve ortalama $\text{NH}_4^+\text{-N}$ giderim hızı $0.048 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ (verim %72) iken SYAS sistemlerinde ortalama $\text{NH}_4^+\text{-N}$ yükleme hızı $0.053 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ ve ortalama $\text{NH}_4^+\text{-N}$ giderim hızı $0.031 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ (verim %56)'dır. Buna karşılık YAAS sistemlerinde ortalama TN yükleme hızı $0.680 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ ve ortalama TN giderim hızı $0.291 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ (verim %45) iken SYAS sistemlerinde ortalama TN yükleme hızı $0.767 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ ve ortalama TN giderim hızı $0.468 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ (verim %63)'dür.



Şekil 5.2: YAAS ve SYAS sistemlerde azot yükleme hızları ile giderim hızları arasındaki ilişkilerin zamana bağlı değişimleri

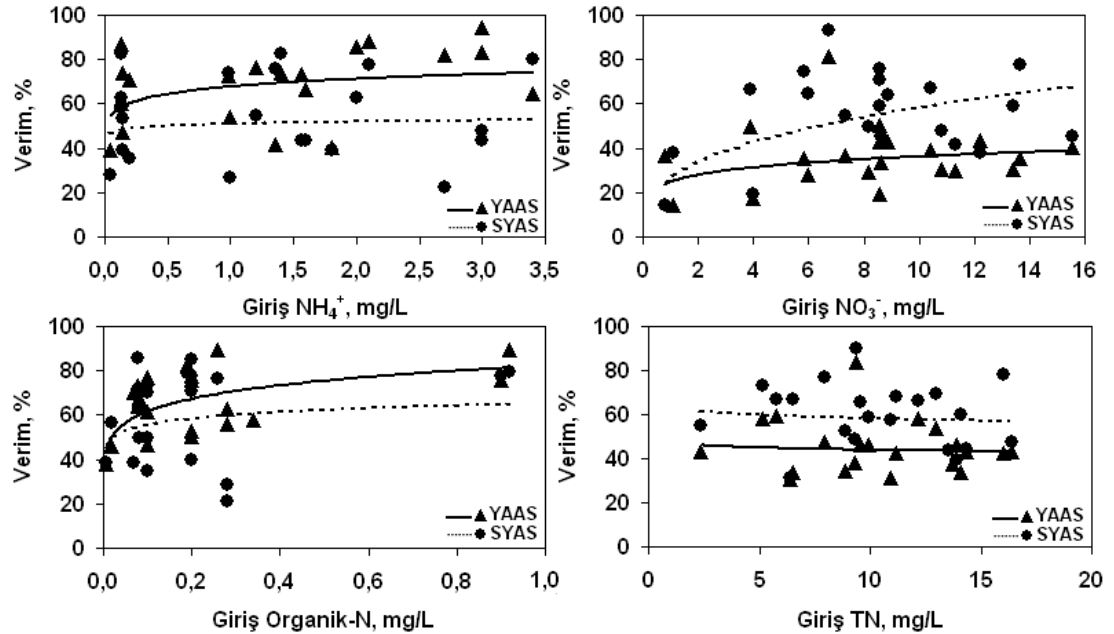
Literatürde en iyi performansların sağlanabilmesi için maksimum toplam azot yükünün $2\text{-}3 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ ($20\text{-}30 \text{ kg/ha/gün}$)'ü geçmemesi gerektiği kaydedilmiştir (Kadlec ve Knight, 1996). Bir çok yapay sulakalan için $4.4 \text{ g/m}^2/\text{gün}$ (44

kg/ha/gün)'e kadar olan azot yüklerinde %79'lara varan toplam azot giderimlerinin sağlandığı bildirilmiştir (Hammer ve Knight, 1994).

Hem YAAS hem de SYAS sistemlerinde optimum TN giderim hızının 3 g/m²/gün'lük TN yükleme hızlarında elde edildiği kaydedilmiştir (Nichols, 1983; Knight ve diğ., 1993). Kuzey ABD'de 17 adet ikinci kademe çıkış sularını alan yapay sulakalanlarda (9 YAAS, 8 SYAS), YAAS sistemlerinde ortalama 2.9 g/m²/gün'lük TN yükleme hızlarında ortalama %53.8 ve SYAS sistemlerinde ise ortalama 0.759 g/m²/gün'lük TN yükleme hızlarında ortalama %45.6'lık bir verim elde edilmiştir (Knight ve diğ., 1993). Bu çalışmada SYAS sistemleri için yaklaşık aynı TN yükleme hızlarında (0.767 g/m²/gün) daha yüksek verim (%63) elde edilmiştir. Yukarıda verilen literatür değerlerinin tümü şehir atıksularını arıtan yapay sulakalanlar içindir. Bu çalışmada ise ileri arıtım yapan (biyolojik) tasfiye tesis çıkış sularıyla çalışıldığından literatürde verilen optimum azot yükleme hızlarına ulaşamamıştır. Bu nedenle bundan sonraki yapılacak araştırmalarda daha yüksek azot yükleme hızlarında da sistemin davranışının ayrıca test edilmesi gerekir.

5.7 Giriş Konsantrasyonu ile Verim İlişkisi

Giriş azot konsantrasyonları ile verimler arasındaki ilişkilerin boyutu Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Şekil 5.3'den görüldüğü gibi TN dışındaki tüm azot türleri için giriş konsantrasyonları ile verimler arasında üstel bir ilişki mevcuttur.



Şekil 5.3: Arıtma verimlerinin (%) giriş konsantrasyonuna (mg/L) bağlı değişimleri

Regresyon katsayıları (0.0055-0.36) dikkate alındığında giriş azot konsantrasyonları ile verimler arasındaki üstel ilişkiler çok iyi gözükmemektedir.

YAAS sistemlerinde yaklaşık 0.5 mg/L'ye kadar ki giriş amonyum azotu artışına karşılık maksimum %70'lere varan verimler sağlanmasına karşın 0.5 mg/L'nin üzerindeki giriş konsantrasyonlarında ise verimlerin fazla artmadığı ve yaklaşık %80'lerde kararlı hale geçtiği görülmektedir. SYAS sistemlerinde ise çalışma aralığı içerisinde amonyum konsantrasyonlarının artışıyla giderimleri fazla değiştirmedikleri yaklaşık aynı düzeylerde (%50) kaldığı görülmektedir.

YAAS sistemlerinde giriş NO_3^- -N konsantrasyonlarının artışıyla birlikte giderimlerin başlangıçta çok az bir artış sağlamasına karşın daha sonra kararlı hale (yaklaşık %50) geçtiği görülmektedir. SYAS sistemlerinde ise giderimler giriş konsantrasyonlarının artışına paralel olarak oldukça etkilenmiş olup giderimler %20'lerden %60'lara kadar çıkarılmıştır.

YAAS ve SYAS sistemlerindeki verimler giriş TN konsantrasyonlarının artışlarından fazla etkilenmemiş ve yaklaşık aynı düzeylerde (YAAS sistemlerde yaklaşık %40, SYAS sistemlerde %60) kalmıştır.

Giriş azot konsantrasyonlarıyla ile verimler (%) arasında doğrusal ilişkinin var olup olmadığı t istatistiğiyle test edilmiştir. YAAS sistemlerinde NH_4^+ için r (korelasyon katsayısı)=0.40, $t=1.91 < t_c=2.09$, NO_3^- için r =0.05, $t=0.20 < t_c$, Organik-N için r =0.55, $t=2.90 > t_c$ ve TN için r=0.12, $t=0.51 < t_c$ olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre YAAS sistemlerinde sadece organik azot için giriş ve % giderimler arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde doğrusal bir ilişki mevcuttur.

SYAS sistemlerinde ise NH_4^+ için r=0.08, $t=0.35 < t_c$, NO_3^- için r=0.27, $t=1.21 < t_c$, Organik-N için r=0.41, $t=1.95 < t_c$ ve TN için r=0.35, $t=1.60 < t_c$ olarak bulunmuştur. SYAS sistemlerinde tüm azot türleri için giriş ve % giderimler arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde doğrusal olarak belirli bir ilişki bulunmamaktadır.

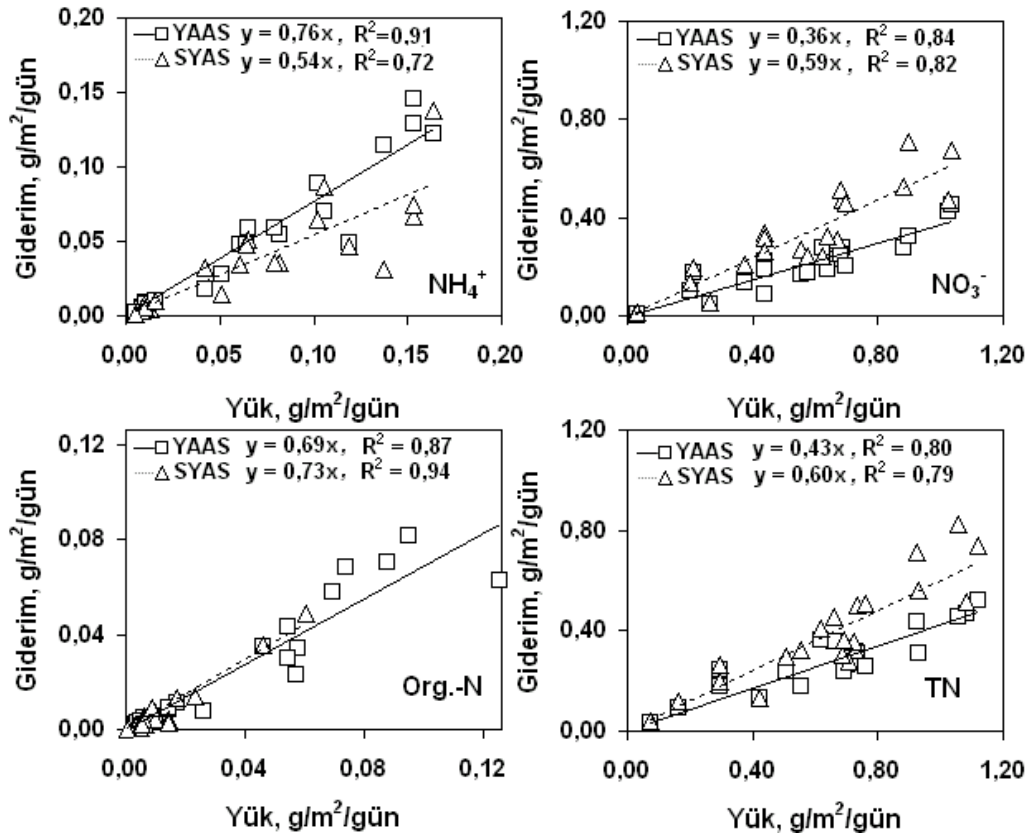
Sonuç olarak ortalama azot giriş konsantrasyonları ile giderimler arasındaki doğrusal yönde anlamlı ilişkilerin olacağı savı istatistiksel olarak desteklenmemektedir. Bu nedenle ortalama giriş azot konsantrasyonlarıyla ile verimler (%) arasındaki doğrusal ilişkilerin varlığı istatistiksel olarak da çok zayıf gözükmemektedir.

Bunun olası birkaç sebebi olabilir. Örneğin ortalama giderimlerde hidrolik yük ve sıcaklık gibi önemli faktörlerinde birlikte etkili olması bu sonuçları doğurmuş olabilir.

5.8 Giriş Yükü ile Giderim Hızı Arasındaki İlişki

Giriş azot yükleme hızları ($\text{g/m}^2/\text{gün}$) ile giderim hızları ($\text{g/m}^2/\text{gün}$) arasındaki ilişkiler Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Şekil 5.4’den de gözüktüğü gibi giriş azot yükleme hızı ile giderim hızı arasında doğrusal bir ilişki ($R^2=0.72-0.94$) mevcuttur.

Yükleme hızı ile giderim hızları arasındaki bu doğrusal ilişkilerde elde edilen doğruların eğimleri aynı zamanda verimleri (%) göstermektedir.



Şekil 5.4: Yük ($\text{g/m}^2/\text{gün}$) ile giderim hızları ($\text{g/m}^2/\text{gün}$) arasındaki ilişkiler

YAAS sistemlerinde NH_4^+ için $r = 0.96$, $t = 14.51 > t_c = 2.09$, NO_3^- için $r = 0.92$, $t = 10.07 > t_c$, Organik-N için $r = 0.93$, $t = 11.34 > t_c$ ve TN için $r = 0.90$, $t = 9.09 > t_c$ olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlar bize YAAS sistemlerinde azot yükleme hızları ile giderim hızları arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde oldukça güçlü doğrusal ilişkiler olduğunu göstermektedir.

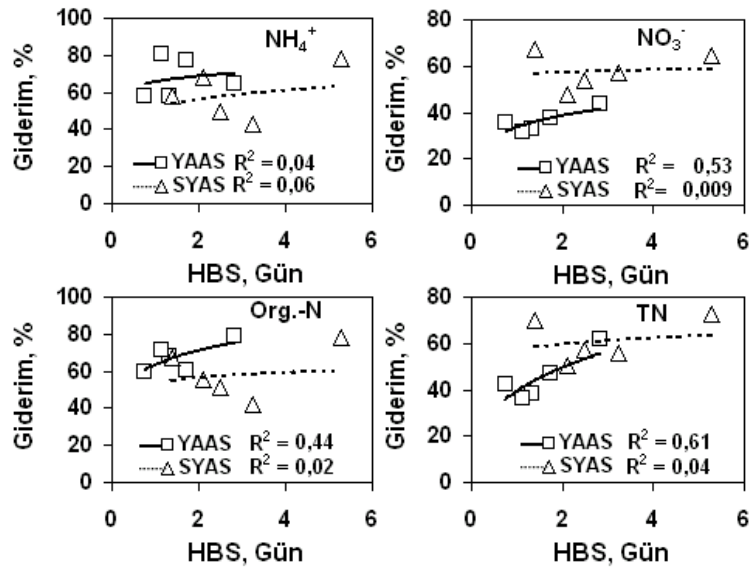
SYAS sistemlerinde NH_4^+ için $r=0.85$, $t=6.92>t_c$, NO_3^- için $r=0.91$, $t=9.37>t_c$, Organik-N için $r=0.98$, $t=21.36>t_c$ ve TN için $r=0.89$, $t=8.61>t_c$ olarak bulunmuştur.

Buna göre SYAS sistemlerinde de tüm azot türleri için azot yükleme hızları ile giderim hızları arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde oldukça güçlü doğrusal ilişkiler bulunmaktadır.

5.9 Hidrolik Bekletme Süresi Verim İlişkisi

Literatürde HBS'nin belirli bir dereceye kadar uzatılmasıyla (YAAS için en 5 gün SYAS için 10 gün) amonyum ve nitrat ve dolayısıyla da toplam azot gideriminin de belirli bir noktaya (optimum) kadar arttırıldığı kaydedilmiştir (Reed ve diğ., 1995).

Şekil 5.5'de HBS ile azot arıtma verimleri arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Şekil 5.5'den de görüldüğü gibi HBS ile arıtma verimleri arasında üstel ilişkiler mevcuttur.



Şekil 5.5: HBS ile arıtma verimleri (%) arasındaki ilişkiler

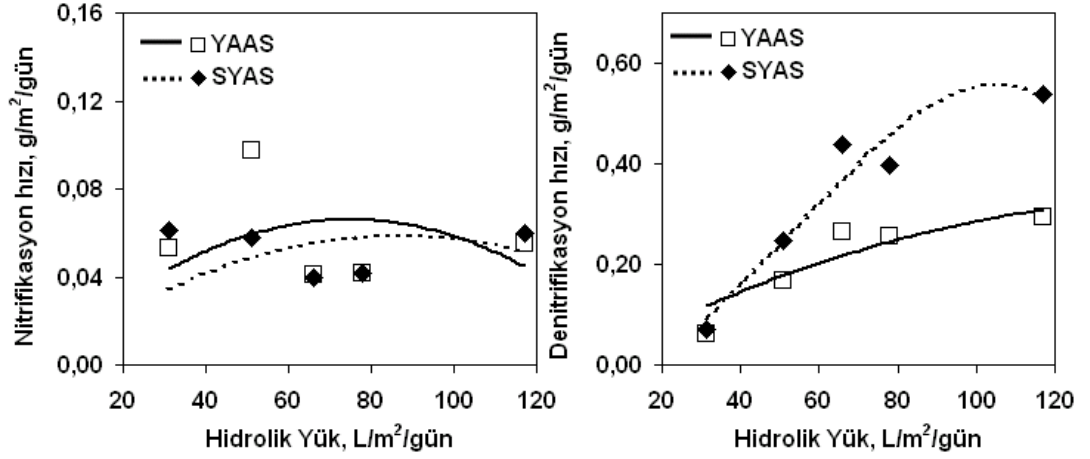
Her iki sistemde de hidrolik bekletme sürelerindeki artışla verimler başlangıçta artmış ve daha sonra sabit bir değere doğru hızlıca düşmüştür. Bu sabit değerler ise çalışma periyotlarının dışına taşmıştır.

YAAS sistemlerde bekletme süresi 1 iken NH_4^+ -N için arıtma verimi yaklaşık %63 olup bekletme süresi arttıkça NH_4^+ -N giderimi de azalan bir hızla artmaya devam etmektedir. SYAS sistemlerinde ise bekletme süresi yaklaşık 1.5 gün iken verim yaklaşık 50 olup bekletme süresi arttıkça verim de azalan hızla artmaktadır.

YAAS sistemlerinde bekletme süresi yaklaşık 0.8 gün iken TN için verim yaklaşık 35 olup bekletme süresi arttıkça verim de artmaktadır. SYAS sistemlerinde ise çalışma periyodu içerisinde çok fazla bir artış göstermemiştir. YAAS sistemlerinde NH_4^+ için $r=0.12$, $t=0.53 < t_c=2.09$, NO_3^- için $r=0.24$, $t=1.07 < t_c$, Organik-N için $r=0.29$, $t=1.31 < t_c$ ve TN için $r=0.57$, $t=3.04 > t_c$ olarak bulunmuştur. Buna göre YAAS sistemlerinde yalnızca toplam azot için giderimler ile hidrolik bekletme süreleri arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde doğrusal bir ilişki mevcut gözükmemektedir. Dolayısıyla da ikisi arasında doğrusal bir ilişkiden söz edilebilir.

SYAS sistemlerinde ise NH_4^+ için $r=0.25$, $t=1.13 < t_c$, NO_3^- için $r=-0.19$, $t=0.84 < t_c$, Organik-N için $r=0.14$, $t=0.60 < t_c$ ve TN için $r=0.17$, $t=0.76 < t_c$ olarak bulunduğundan SYAS sistemlerinde de tüm azot türleri için hidrolik bekletme süreleri ile giderimler arasında doğrusal ilişkiler bulunmamaktadır. YAAS sistemlerinde hidrolik bekletme süreleri 0.75-2.93 gün, SYAS sistemlerinde ise 1.4-7.5 gün arasında değişmektedir. Bu değerler literatürde YAAS için verilen 2-7 gün ve SYAS için verilen 5-14 gün (**Knight ve diğ., 1993**) değer aralıklarının neredeyse alt sınırlarına yakındır. Yukarıdaki sonuçlar bize optimum verimler için daha yüksek hidrolik bekletme sürelerine ihtiyaç duyulduğunu ve dolayısıyla da optimum verimler için daha düşük hidrolik yükleme hızlarında çalışılması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmada hidrolik yüklerin ($\text{L}/\text{m}^2/\text{gün}$) nitrifikasyon ve denitrifikasyon hızları üzerine etkilerini görebilmek için yükleme hızları ile bu yükleme hızlarına karşılık gelen ortalama giderim hızları ($\text{g}/\text{m}^2/\text{gün}$) birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkiler Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Hidrolik yükleme hızları 30, 50, 70, 80 ve $120 \text{ L}/\text{m}^2/\text{gün}$ iken, bu yüklere karşılık gelen amonyum giderim (nitrifikasyon) hızları YAAS sistemlerinde sırayla 0.053, 0.098, 0.041, 0.042 ve 0.055, SYAS sistemlerinde ise sırayla 0.061, 0.058, 0.040, 0.041 ve 0.060'dır. Her ikisinde de hidrolik yüklerle nitrifikasyon hızları arasında ikinci dereceden bir polinom ilişkisi vardır.



Şekil 5.6: Hidrolik yüke bağlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon hızlarının değişimi

Hidrolik yükleme hızlarına karşılık gelen nitrat giderim (denitrifikasyon) hızları ise YAAS sistemlerinde sırayla 0.061, 0.167, 0.264, 0.255 ve 0.295, SYAS sistemlerinde ise 0.070, 0.270, 0.440, 0.396 ve 0.539'dur.

Hidrolik yüklerle denitrifikasyon hızları arasında 2. (YAAS) ve 3. dereceden (SYAS) bir polinom ilişkisi vardır. t-istatistiği sonuçlarına göre YAAS ($r=0.55$, $t=2.87>t_c$) ve SYAS ($r=0.68$, $t=4.03>t_c$) sistemlerinde hidrolik yükle denitrifikasyon hızları arasında doğrusal ilişkiler de bulunmuştur.

Sulakalanlarda denitrifikasyon için kritik tasarım parametrelerinden biri şüphesiz ki karbon mevcudiyetidir. Reaksiyon stokiyometrisine göre ($5\text{CH}_3\text{OH}+6\text{NO}_3^-+6\text{H}^+\rightarrow 5\text{CO}_2+3\text{N}_2+13\text{H}_2\text{O}$) 1mol NO_3^- -N'un indirgenmesi için 1.25 mol C'a ihtiyaç duyulur. Yani, 30 mg NO_3^- -N/L'un denitrifikasyonu için yaklaşık 26.3 mg C/L gereklidir.

Reaksiyon stokiyometrisine göre 39 mg/L NO_3^- -N'un denitrifiye olması için 111 mg/L KOİ gereklidir (**Reddy ve Patrick, 1984**). Giriş suyundaki NO_3^- -N konsantrasyonu ortalama 8.3 mg/L, TOK konsantrasyonu ortalama 10.45 mg/L, KOİ konsantrasyonu ise ortalama 43.48 mg/L'dir.

Giriş suyuna ilave olarak sistemler içerisinde de girişteki TKN den dolayı oluşan ortalama nitrat konsantrasyonunu (1.17 mg/L) eklediğimizde toplam 9.47 mg/L NO_3^- -N'nun denitrifikasyonu için yaklaşık 8.3 mg/L C, ve 27 mg/L KOİ gerekecektir. Bitkilerin ölümüyle ortama ek bir karbon takviyesi de olacağı düşünülürse denitrifikasyon için organik-C ve KOİ yönünden bir kısıtlama bulunmamaktadır.

Bu çalışmada sıcaklık aralığı nitrifikasyon ve denitrifikasyon için optimum sıcaklık aralıklarının (25-35°C) altına düşmektedir. Dolayısıyla hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon için sıcaklık yönünden optimum şartlar mevcut değildir.

Hız katsayıları sıcaklığın yanı sıra bitki çeşitlerine dolayısıyla kök yapılarına, köklerin tabana yayılış şekillerine bağlı olarak da değişmektedir (**Kadlec ve Knight, 1996**).

Örneğin, Californiya (Santee)'de yapılan bir sulakalan çalışmasında aynı derinliklerdeki tüm reaktörlerde farklı bitkilerle çalışılmış ve farklı nitrifikasyon hızları elde edilmiştir. En yüksek verimi sağlayan bitkinin (*Bulrush*; sazlık) köklerinin yatak tabanını tamamen kapladıkları ve kök çevresine daha fazla oksijen transfer ettikleri sonucuna varılmıştır (**Gersberg ve diğ., 1985**).

YAAS sistemlerinde bitki köklerinin tüm yatağı kapladığı durumlarda nitrifikasyon (20 °C' deki) hız katsayısının 0.4107 gün⁻¹ (bitkisiz sistemde 0.01854 gün⁻¹) ve yatak derinliğinin yalnızca yarısını kapladığı durumlarda 0.4107 gün⁻¹ olduğu kaydedilmiştir (**Reed ve diğ., 1995**).

SYAS sistemlerinde alg gelişimi nitrifikasyon hızlarını olumsuz etkilemektedir. **Reed ve diğ. (1995)** tarafından alg gelişimi olmayan SYAS sulakalanlarındaki nitrifikasyonun alg gelişimleri olanlardan çok daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Bu çalışmada seri olarak bağlı SYAS sistemlerinde özellikle yaz dönemlerinde uygun hidrolik şartların sağlanamadığı zamanlarda belirli oranlarda alg gelişimi gözlenmiştir.

Alg gelişimi yüksek düzeylere ulaşıldığı zamanlarda reaktörler temizlendikten sonra besleme yapılmıştır. Bu alg gelişimi sırasında SYAS sistemlerinde zaman zaman suyun bulanıklaşması ve ölen bitkilerle birlikte suya yüksek oranlarda organik karbon girişinin olduğu ve denitrifikasyonun belirli oranlarda arttığı düşünülmektedir.

Nitrifikasyon bakterileri optimum pH: 7.5-8.6 aralığında aktiftirler fakat iklime adepte edildiklerinde biraz daha düşük pH değerlerinde de aktif olabilmektedirler (**Vymazal, 1995**). Giriş suyunun pH'ı ortalama 7.34 olup nitrifikasyon bakterilerinin optimum pH: 7.5-8.6 aralığının (**Vymazal, 1995**) biraz altına düşmekte, fakat denitrifikasyon bakterileri için optimum pH aralıklarının (7-8) içerisinde kalmaktadır.

Bu açıdan bakıldığında giriş suyunun pH'ı sulakalan sistemlerdeki nitrifikasyon bakterilerinin optimum performansları için biraz asidiktir. Stokiyometrik olarak nitrifikasyon süresince teorik oksijen tüketimi, okside edilen $\text{NH}_3^+ \text{-N}$ başına yaklaşık 4.6 g O_2 'dir.

Giriş suyundaki ortalama $\text{NH}_3^+ \text{-N}$ miktarı 1.33 mg/L'dır. 1.33 mg $\text{NH}_3^+ \text{-N/L}$ 'un nitrifikasyonu için ise en az 6.1 mg O_2/L ($\approx 2 \times 1.33 \times 10^{-3} / 14 = 1.9 \times 10^{-4} \text{ mol} = 1.9 \times 10^{-4} \times 10^3 \times 32 = 6.1 \text{ mg/L}$) gerekli olacaktır. Giriş suyunun çözünmüş oksijen konsantrasyon değeri minimum 6.36 mg/L (aralık 6.36-13.8 mg/L, ortalama 9 mg/L) olduğundan tam nitrifikasyon için tüm reaktörlere yetecek kadar çözünmüş oksijen mevcut olduğu gözükmemektedir.

5.10 Çıkış Konsantrasyonlarının Kestirimi

Tahmini çıkış konsantrasyonlarının tespitinde piston akımlı reaktörler için kullanılan birinci dereceden basit bir kinetik model kullanılmıştır. Ayrıca hidrolik yük, pH ve giriş konsantrasyonlarına bağlı olarak elde edilen çoklu regresyon denklemleriyle de tahmini çıkış konsantrasyonları elde edilmiş ve her iki modelle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.10.1 Kinetik model

Tahmini çıkış konsantrasyonlarının belirlenmesi için bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarına dayanılarak sıcaklığa bağlı hız sabitleri (K_T) ve sıcaklık düzeltme katsayıları (θ) belirlenmiştir.

K_T değerleri, giriş ve çıkış konsantrasyonları ile hidrolik bekletme süreleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak verilen birinci dereceden reaksiyon kinetiğini gösteren denklemle (denklem 4.1) elde edilmiştir:

$$C_\varphi / C_g = \exp(-K_T.t) \quad (4.1)$$

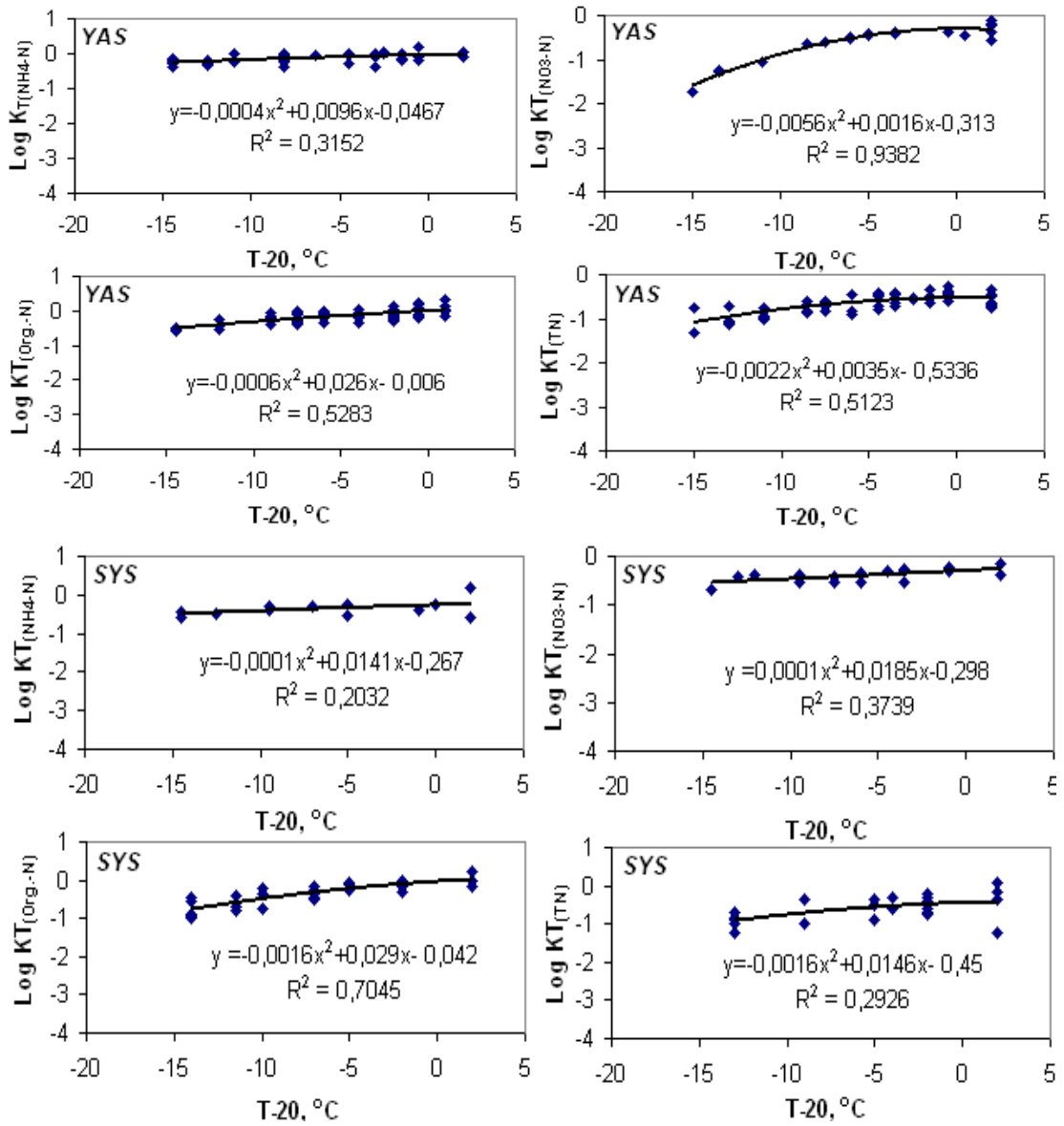
Burada; C_φ ve C_g : çıkış ve girişteki azot konsantrasyonları (mg/L), K_T : sıcaklık ve bitki yoğunluğuna bağlı hız sabiti, $K_T = k_{20} \theta^{T-20}$ (1/gün), k_{20} : 20°C'deki reaksiyon hız katsayısı (gün^{-1}), θ : sıcaklık katsayısı (boyutsuz), t : sistemdeki bekletme süresidir (gün).

K_T değerleri aynı sıcaklıkta ve en az iki örnekle elde edilen deney sonuçlarına dayanılarak bulunmuştur. $\text{Log}K_T$ ile $T-20$ arasında 2. dereceden bir polinom ilişkisi bulunmuştur. Bu ilişki aşağıdaki denklem 4.2 ile izah edilmiştir:

$$\text{Log}K_T = \pm a(T - 20)^2 \pm b(T - 20) \pm C \quad (4.2)$$

Burada, a ve b katsayılar olup, C ise bir sabittir.

Şekil 5.7’de azot için YAAS sistemlerindeki sıcaklık ($T-20$) ile $\text{Log}K_T$ değerleri arasındaki ikinci dereceden polinom ilişkileri ve bu ilişkilerin denklemleri gösterilmiştir.



Şekil 5.7: Azot için YAAS ve SYAS sistemlerindeki sıcaklık ($T-20$) ile $\text{Log}K_T$ değerleri arasındaki polinom ilişkilerinin denklemleri

Sulakalanlarda hız sabiti üzerine sıcaklığın etkisi aşağıdaki denklem 4.3 (van't Hoff-Arhenius ilişkisiyle) ile gösterilmiştir;

$$K_T = k_{20}\theta^{(T-20)} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'deki her iki tarafının logaritması alınarak aşağıdaki denklem 4.4 elde edilmiştir:

$$\text{Log}K_T = (T - 20).\text{Log}\theta + \text{Log}k_{20} \quad (4.4)$$

Denklem 4.2 ve denklem 4.4'deki $\text{Log}K_T$ değerleri birbirine eşitlenerek aşağıdaki denklem 4.5 elde edilmiştir:

$$(T - 20).\text{Log}\theta + \text{Log}k_{20} = (T - 20)[\pm a(T - 20) \pm b] \pm C \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'den görüldüğü üzere $\text{Log } \theta$ değeri $\pm a.(T - 20) \pm b$ değerine ve $\text{Log}k_{20}$ değeri de $\pm C$ değerine eşittir. Bu eşitliklerden θ ve k_{20} değerleri elde edilmiştir. Elde edilen θ ve k_{20} değerleri aşağıdaki denklem 4.6'da yerine konularak tahmini çıkış konsantrasyonları elde edilmiştir

$$C_{\zeta} = 10^{\frac{2.3025.\text{Log}C_g - k_{20}.\theta^{(T-20)}.t}{2.3025}} \quad (4.6)$$

Burada; C_g ve C_{ζ} sırayla giriş ve tahmini çıkış ve konsantrasyonları (mg/L), t : hidrolik bekletme süresi (gün), T : su sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{C}$).

Azot için elde edilen hız sabitleri ve sıcaklık katsayıları Tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.12: Hız sabitleri (20°C 'de) ve sıcaklık düzeltme katsayıları (θ)

	YAAS		SYAS	
	k_{20} (gün ⁻¹)	θ (boyutsuz)	k_{20} (gün ⁻¹)	θ (boyutsuz)
NH ₄ ⁺ -N	0.898	1.022	0.541	1.033
NO ₃ ⁻ -N	0.486	1.004	0.502	1.044
Org.-N	0.986	1.062	0.908	1.069
TN	0.293	1.008	0.355	1.034

Literatürde sulakalan sistemlerdeki azot için kaydedilen hız sabitleri çok geniş bir aralığı kapsamaktadır. **Del Bubba ve diğ. (2000)** tarafından *phragmites* bitkilerini içeren yatay YAAS sistemlerindeki nitrifikasyon için sıcaklık ile K_T arasındaki İkinci dereceden polinom ilişkisinin denklemini; $\text{Log}K_T = -0.0042(T-20)^2 + 0.0311(T-20) - 0.3015$ ($R^2=0.93$) olarak bulunmuştur. $k_{20}=0.499 \text{ gün}^{-1}$ 'dür. **Del Bubba ve diğ. (2000)** tarafından yapılan diğer pilot ölçekli bir çalışmada ise bu ilişkiler, $\text{Log}K_T = -0.0049(T-20)^2 + 0.0988(T-20) - 0.11626$ ($R^2=0.90$) olarak bulunmuştur. $k_{20}=0.687 \text{ gün}^{-1}$ 'dür.

Bu çalışmada bulunan aynı ilişki $\text{Log}K_T = -0.0004(T-20)^2 + 0.0096(T-20) - 0.0467$ ($R^2=0.32$) olup **Del Bubba ve diğ. (2000)** tarafından bulunan ilişkilerden daha zayıf olup hız katsayıları da (0.898) daha yüksektir. **Reed ve diğ. (1995)** tarafından SYAS sistemleri için nitrifikasyon hız sabiti $0.4107 \text{ (gün}^{-1}\text{)}$ olarak, **Kemp ve George (1997)** tarafından ise YAAS sistemleri için $0.497 \text{ (gün}^{-1}\text{)}$ olarak kaydedilmiştir.

Bu çalışmada YAAS sistemlerinde nitrifikasyon için elde edilen k_{20} değeri (0.898 gün^{-1}) literatürde kaydedilen değerlerden daha büyük olup, SYAS sistemleri için elde edilen değer (0.541 gün^{-1}) ise **Kemp ve George (1997)** tarafından kaydedilen değere daha yakındır. Aynı zamanda amonyaklaşma için elde edilen hız sabitleri (0.986 ve 0.908 1/gün) de literatürde kaydedilen değerlerden büyüktür. **Kadlec ve Knight (1996)** tarafından YAAS ve SYAS sistemlerindeki denitrifikasyon hız sabitleri sırayla 0.57 ve 0.32 (1/gün) olarak kaydedilmiştir. **Reed ve Brown (1995)** tarafından ise YAAS sistemleri için denitrifikasyon hız sabiti $1.0 \text{ (gün}^{-1}\text{)}$ olarak kaydedilmiştir.

Bu çalışmada YAAS ve SYAS sistemleri için elde edilen denitrifikasyon hız sabitleri (0.486 ve 0.502 1/gün) literatürdeki değer aralıkları içerisine düşmektedir. YAAS ve SYAS sistemlerinde TN için elde edilen giderim hızı sabitleri sırayla 0.293 ve 0.355 gün^{-1} olup **Kadlec ve Knight (1996)** tarafından kaydedilen 0.20 (YAAS) ve 0.31 gün^{-1} (SYAS) değerlerine biraz daha yakındır.

5.10.2 Çoklu regresyon modeli

Azot için hidrolik yük ($\text{L/m}^2/\text{gün}$), pH , giriş ve çıkış konsantrasyonlarına (mg/L) bağlı olarak elde edilen çoklu regresyon denklemleriyle tahmini çıkış konsantrasyonları (mg/L) elde edilmiştir.

Tablo 5.13’de çoklu regresyonla elde edilen tahmini çıkış konsantrasyonlarının denklemleri verilmiştir.

Tablo 5.13: Çoklu regresyonla elde edilen tahmini çıkış konsantrasyon denklemleri

Sistem	Denklem	R
YAAS	$\text{NH}_4^+(\text{ç}) = -1.62 + 0.281 \cdot \text{pH} + 0.141 \cdot \text{NH}_4^+(\text{g}) - 0.0048 \cdot \text{HYH}$	0.50
SYAS	$\text{NH}_4^+(\text{ç}) = 0.432 - 0.073 \cdot \text{pH} + 0.515 \cdot \text{NH}_4^+(\text{g}) + 0.0015 \cdot \text{HYH}$	0.74
YAAS	$\text{NO}_3^-(\text{ç}) = -3.145 + 0.289 \cdot \text{pH} + 0.64 \cdot \text{NO}_3^-(\text{g}) + 0.0173 \cdot \text{HYH}$	0.90
SYAS	$\text{NO}_3^-(\text{ç}) = -2.153 + 0.082 \cdot \text{pH} + 0.609 \cdot \text{NO}_3^-(\text{g}) + 0.023 \cdot \text{HYH}$	0.82
YAAS	$\text{ON}(\text{ç}) = -0.14 + 0.025 \cdot \text{pH} + 0.171 \cdot \text{ON}(\text{g}) - 0.0004 \cdot \text{HYH}$	0.69
SYAS	$\text{ON}(\text{ç}) = -0.312 + 0.045 \cdot \text{pH} + 0.212 \cdot \text{ON}(\text{g}) - 0.0001 \cdot \text{HYH}$	0.50
YAAS	$\text{TN}(\text{ç}) = -6.366 + 0.6 \cdot \text{pH} + 0.605 \cdot \text{TN}(\text{g}) + 0.0247 \cdot \text{HYH}$	0.83
	$\text{TN}(\text{ç}) = -1.058 + 0.463 \cdot \text{ON}(\text{g}) - 0.119 \cdot \text{NH}_4^+-\text{N}(\text{g}) + 0.588 \cdot \text{NO}_3^-(\text{g})$	0.85
SYAS	$\text{TN}(\text{ç}) = -3.8998 + 0.2611 \cdot \text{pH} + 0.614 \cdot \text{TN}(\text{g}) + 0.0254 \cdot \text{HYH}$	0.79
	$\text{TN}(\text{ç}) = -0.92 - 3.8 \cdot \text{ON}(\text{g}) - 0.659 \cdot \text{NH}_4^+-\text{N}(\text{g}) + 0.632 \cdot \text{NO}_3^-(\text{g})$	0.85
HYH: Hidrolik Yükleme Hızı (L/m ² /gün), ON: organik azot, ç: tahmini çıkış konsantrasyonu (mg/L), g: giriş konsantrasyonu (mg/L).		

Regresyon katsayıları (R: 0.69-0.90) dikkate alındığında (YAAS sistemlerindeki amonyum ve SYAS sistemlerindeki organik azot hariç) tahminlerin çok iyimser olduğu görülmektedir.

Tablo 5.13’deki sonuçlar bize en iyi tahminlerin NO_3^--N ve TN için yapılabileceğini göstermektedir.

TN’u giriş organik-N, amonyum ve nitrat azotuna bağlı olarak veren denklemde regresyon katsayılarının diğerine kıyasla daha büyük olması ve hata kareleri toplamının (YAAS için 20.4, SYAS için 14.7 mg/L) da diğerlerine göre daha düşük olması sebebiyle daha iyi bir yaklaşım olduğu gözükmemektedir.

Daha önceki çalışmalarda **Braskerud (2002)** tarafından çıkış toplam azot konsantrasyonları için $\text{TN}(\text{ç}) = -0.11 + 0.64 \cdot \text{ON}(\text{g}) + 1.18 \cdot \text{NH}_4^+-\text{N}(\text{g}) + 0.98 \cdot \text{NO}_3^-(\text{g})$ ve $\text{TN}(\text{ç}) = 0.008 + 0.93 \cdot \text{TN}(\text{g})$ doğrusal regresyon modelleriyle tahmin edilmiştir.

Bu model yüksek azot içerikli tarımsal atıksuların arıtımında kullanılan SYAS sulakalanlardan türetilmiştir.

Literatürdeki diğer doğrusal regresyon modeller sırayla; $\text{TN}(\text{ç}) = 2.6 + 0.46 \cdot \text{TN}(\text{g}) + 0.0124 \cdot \text{HYH}$ ve $\text{TN}(\text{ç}) = 0.409 \cdot \text{TN}(\text{g}) + 0.0122 \cdot \text{HYH}$ (**Kadlec ve Knight, 1996**, Kuzey Amerika’daki hem YAAS hem de SYAS sulakalanları için), $\text{TN}(\text{ç}) = 0.52 \cdot \text{TN}(\text{g}) + 0.31$ (**Kadlec ve diğ., 2000**; Danimarka’daki toprak dolgulu YAAS sulakalanları için), $\text{TN}(\text{ç}) = 0.42 \cdot \text{TN}(\text{g}) + 7.68$ (**Vymazal, 1998**;

Çek Cumhuriyeti'ndeki YAAS sulakalanları için) olarak verilmiştir. Bu çalışmada özellikle SYAS için elde edilen gözlenen çıkış konsantrasyonları **Kadlec ve Knight (1996)** ile **Braskerud (2002)** tarafından elde edilen modellerle denendiğinde birbirine çok yakın tahminler elde edilmiştir.

5.10.3 modellerin karşılaştırılması

Tablo 5.14-5.17'de YAAS ve SYAS sulakalan sistemleri için gözlenen çıkış konsantrasyonları ile çoklu regresyon (tahmin 1 ile gösterilen) ve birinci dereceden kinetik model (tahmin 2 ile gösterilen) ile elde edilen tahmini çıkış konsantrasyonları verilmiştir. Tablo 5.14'de görüldüğü gibi her iki sistem için kinetik modelle gözlenen tahmini NH_4^+ -N çıkış konsantrasyonları arasındaki hata karelerinin toplamı (SS) daha yüksek olduğundan regresyon denklemiyle daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Tablo 5.14: Gözlenen ve tahmini NH_4^+ -N çıkış konsantrasyonları

Ölçüm Tarihi	Gözlenen ve tahmini NH_4^+ -N çıkış konsantrasyonları (mg/L)					
	YAAS			SYAS		
	Gözlenen	Tahmin1	Tahmin2	Gözlenen	Tahmin1	Tahmin2
30Eyl.-2001	0.797	0.522	0.120	0.216	0.348	0.041
18Ek.-2001	1.195	0.776	0.286	0.316	0.657	0.079
25Ek.-2001	0.245	0.584	0.246	0.250	0.415	0.084
1Ka.-2001	0.281	0.363	0.287	0.280	0.239	0.102
6Ka.-2001	0.497	0.582	0.813	0.741	0.671	0.316
8Ka.-2001	0.173	0.568	0.746	0.610	0.559	0.249
13Ka.-2001	0.286	0.526	0.457	0.357	0.430	0.169
22Ka.-2001	0.486	0.596	0.869	0.873	0.600	0.380
4Ara.-2001	0.458	0.371	0.321	0.533	0.344	0.195
11Ara.-2001	0.537	0.492	0.510	0.693	0.508	0.295
13Ara.-2001	0.415	0.380	0.477	0.564	0.404	0.223
13Şu.-2002	0.060	0.108	0.076	0.081	0.052	0.034
6Ma.-2002	0.057	0.135	0.043	0.046	0.039	0.023
13Ma.-2002	0.079	0.167	0.048	0.037	0.027	0.023
20Ma.-2002	0.289	0.240	0.325	0.273	0.346	0.171
27Ma.-2002	1.007	0.353	0.696	0.420	0.491	0.323
3Nis.-2002	0.018	0.041	0.056	0.016	0.045	0.021
10Nis.-2002	0.037	0.174	0.060	0.057	0.017	0.028
5Haz.-2002	0.404	0.154	0.720	0.340	0.430	0.330
13Haz.-2002	0.031	-0.037	0.023	0.027	0.057	0.013
19Haz.-2002	0.048	-0.072	0.069	0.039	0.093	0.033
Ort. (mg/L)	0.33	0.33	0.35	0.32	0.32	0.15
STD (mg/L):*	0.33	0.24	0.29	0.26	0.22	0.13
SS (mg/L)**	-	1.12	2.49	-	0.37	1.15

*: standart sapma, **: gözlenen ve tahmini değerler arasındaki hata karelerinin toplamı.

Modellerle elde edilen tahmini değerlerin gözlenen değerlerle olan doğrusal ilişkisi t istatistiği ile de test edilebilir. Bu sonuçlara göre YAAS sistemlerinde hem korelasyon katsayısı (regresyon model için $r=0.71$, $t=4.36>t_c=2.09$, kinetik modelle $r=0.36$, $t=1.69<t_c$) oldukça düşük hem de $t<t_c$ olduğu için kinetik modelle iyi sonuçların elde edilemediği görülür. SYAS sistemleriyle $\text{NH}_4^+\text{-N}$ için (regresyon model için $r=0.86$, $t=7.19>t_c$, kinetik modelle $r=0.89$, $t=8.64>t_c$) daha iyi tahminlerin yapılacağı söylenebilir. Tablo 5.15’de YAAS ve SYAS sulakalan sistemleri için gözlenen çıkış $\text{NO}_3^-\text{-N}$ konsantrasyonları ile elde edilen tahmini çıkış $\text{NO}_3^-\text{-N}$ konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 5.15: Gözlenen ve tahmini $\text{NO}_3^-\text{-N}$ çıkış konsantrasyonları

Ölçüm Tarihi	Gözlenen ve tahmini $\text{NO}_3^-\text{-N}$ çıkış konsantrasyonları (mg/L)					
	YAAS			SYAS		
	Gözlenen	Tahmin1	Tahmin2	Gözlenen	Tahmin1	Tahmin2
30Eyl.-2001	0.495	0.050	0.980	0.344	-0.515	0.033
18Ek.-2001	0.926	0.207	1.040	0.322	-0.391	0.041
25Ek.-2001	1.249	3.798	2.409	0.338	1.056	0.389
1Ka.-2001	1.968	2.348	3.758	1.100	1.101	0.515
6Ka.-2001	4.286	5.303	5.660	2.210	2.837	1.426
8Ka.-2001	4.905	5.289	5.606	2.383	3.156	1.314
13Ka.-2001	4.653	4.581	5.066	2.067	2.461	0.928
22Ka.-2001	7.555	6.805	6.697	2.882	3.906	2.580
4Ara.-2001	6.876	7.690	7.246	4.048	4.579	2.800
11Ara.-2001	7.931	7.160	6.878	5.467	4.772	2.915
13Ara.-2001	6.944	5.303	5.743	4.267	3.961	2.273
13Şu.-2002	9.768	8.629	10.00	8.533	6.937	4.361
6Ma.-2002	10.04	10.04	10.86	7.997	6.794	3.134
13Ma.-2002	6.329	6.806	8.467	2.698	4.161	2.118
20Ma.-2002	8.538	8.811	9.956	3.789	5.802	2.799
27Ma.-2002	3.133	2.627	5.461	2.423	1.985	1.276
3Nis.-2002	5.983	5.774	9.101	4.919	3.667	2.260
10Nis.-2002	6.237	5.650	8.898	4.824	3.664	2.415
5Haz.-2002	4.389	4.793	11.77	3.044	3.896	2.019
13Haz.-2002	4.911	4.880	11.81	4.539	4.267	2.045
19Haz.-2002	6.108	6.680	13.64	4.622	4.718	2.535
Ort. (mg/L)	5.39	5.39	7.19	3.47	3.47	1.91
STD (mg/L):*	2.74	2.59	3.51	2.23	2.01	1.11
SS (mg/L)**	-	15.79	199.03	-	18.92	83.89

*: standart sapma, **: gözlenen ve tahmini değerler arasındaki hata karelerinin toplamı.

Regresyon modelle gözlenen tahmini $\text{NO}_3^-\text{-N}$ çıkış konsantrasyonları arasındaki hata karelerinin toplamı YAAS sistemlerinde biraz daha düşük olduğundan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (YAAS için $r=0.95$, $t=12.71>t_c$, SYAS için $r=0.86$,

t=7.19>tc). Kinetik modelle SYAS sistemlerinin YAAS sistemlerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (SYAS için r=0.92, t=10.13>tc, YAAS için r=0.69, t=4.17>tc). Sonuç itibarıyla hem YAAS hem de SYAS sistemlerinde NO₃⁻-N için regresyonla daha iyi tahminler elde edilmiştir. Tablo 5.16'a göre hata kareleri toplamı dikkate alındığında hem YAAS hem de SYAS sistemlerinde kinetik modelle kıyaslandığında (regresyon model için YAAS için r=0.82, t=6.28>tc, SYAS için r=0.70, t=4.28>tc, kinetik model için YAAS için r=0.85, t=6.96>tc, SYAS için r=0.82, t=6.16>tc) regresyonla organik azot için daha iyi tahminlerin elde edilebileceği görülmektedir. Tablo 5.13'deki sonuçlara göre YAAS sistemleri için elde edilen regresyon katsayısının (R²=0.60) daha büyük olması ve t istatistiği ile elde edilen sonuçlar gereği bu sistemlerle biraz daha iyi sonuçlar elde edildiği söylenebilir.

Tablo 5.16: Gözlenen ve tahmini Organik-N çıkış konsantrasyonları

Ölçüm Tarihi	Gözlenen ve tahmini Organik-N çıkış konsantrasyonları (mg/L)					
	YAAS			SYAS		
	Gözlenen	Tahmin1	Tahmin2	Gözlenen	Tahmin1	Tahmin2
30Eyl.-2001	0.033	0.069	0.016	0.024	0.042	0.001
18Ek.-2001	0.045	0.068	0.015	0.017	0.038	0.001
25Ek.-2001	0.023	0.050	0.017	0.017	0.028	0.002
1Ka.-2001	0.095	0.060	0.052	0.053	0.045	0.010
6Ka.-2001	0.220	0.177	0.313	0.105	0.102	0.066
8Ka.-2001	0.026	0.035	0.023	0.023	0.018	0.005
13Ka.-2001	0.038	0.048	0.023	0.030	0.038	0.004
22Ka.-2001	0.128	0.076	0.137	0.083	0.052	0.043
4Ara.-2001	0.102	0.064	0.097	0.073	0.049	0.031
11Ara.-2001	0.115	0.091	0.163	0.057	0.045	0.020
13Ara.-2001	0.104	0.071	0.125	0.093	0.040	0.032
13Şu.-2002	0.011	0.021	0.010	0.005	0.012	0.003
6Ma.-2002	0.029	0.065	0.091	0.012	0.038	0.016
13Ma.-2002	0.024	0.037	0.031	0.006	0.028	0.006
20Ma.-2002	0.111	0.177	0.321	0.063	0.098	0.063
27Ma.-2002	0.056	0.036	0.050	0.027	0.025	0.016
3Nis.-2002	0.022	0.026	0.038	0.026	0.019	0.011
10Nis.-2002	0.023	0.037	0.035	0.041	0.041	0.014
5Haz.-2002	0.050	0.046	0.098	0.087	0.048	0.026
13Haz.-2002	0.004	0.013	0.003	0.006	0.029	0.001
19Haz.-2002	0.030	0.020	0.037	0.015	0.028	0.009
Ort. (mg/L)	0.06	0.06	0.08	0.04	0.04	0.02
STD (mg/L):*	0.05	0.04	0.09	0.03	0.02	0.02
SS (mg/L)**	-	0.02	0.07	-	0.010	0.019

*: standart sapma, **: gözlenen ve tahmini değerler arasındaki hata karelerinin toplamı.

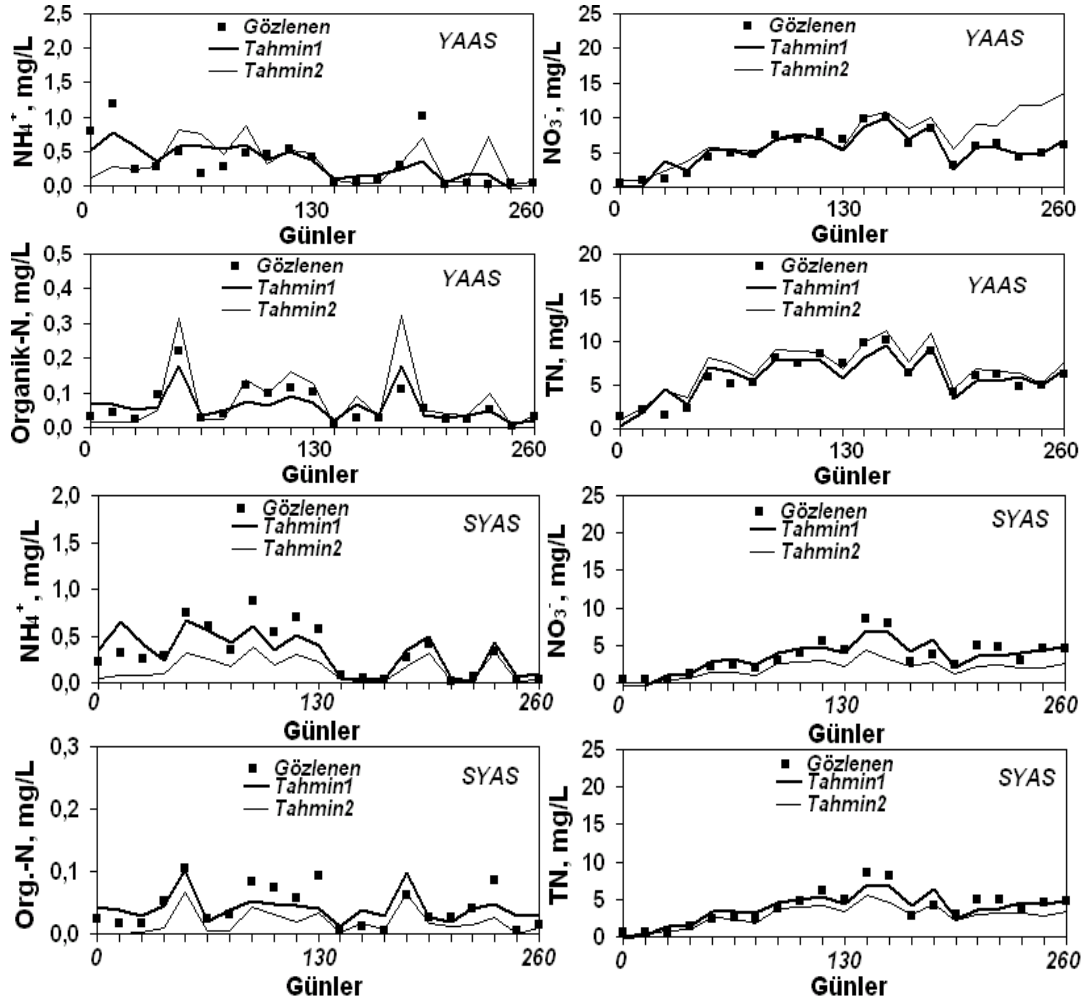
Tablo 5.17’de görüldüğü gibi hata kareleri toplamı dikkate alındığında hem YAAS hem de SYAS sistemlerinde (regresyon model için YAAS için $r=0.82$, $t=6.28>t_c$, SYAS için $r=0.70$, $t=4.28>t_c$, kinetik model için YAAS için $r=0.85$, $t=6.96>t_c$, SYAS için $r=0.82$, $t=6.16>t_c$) regresyonla toplam azot için daha iyi tahminler sağlanmıştır. Hata kareleri ile birlikte regresyon katsayılarının ($R^2=0.79$, 0.83) ve t istatistiği ile regresyon model için (YAAS için $r=0.91$, $t=9.49>t_c$, SYAS için $r=0.88$, $t=8.21>t_c$) ve kinetik model için (YAAS için $r=0.94$, $t=12.06>t_c$, SYAS için $r=0.91$, $t=9.56>t_c$) elde edilen değerlerin birbirine yakın olması sonucu modeller her iki sistemde de benzer sonuçları vermiştir.

Tablo 5.17: Gözlenen ve tahmini TN çıkış konsantrasyonları

Ölçüm Tarihi	Gözlenen ve tahmini TN çıkış konsantrasyonları (mg/L)					
	YAAS			SYAS		
	Gözlenen	Tahmin1	Tahmin2	Gözlenen	Tahmin1	Tahmin2
30Eyl.-2001	1.335	0.311	1.040	0.594	-0.276	0.198
18Ek.-2001	2.176	1.950	2.282	0.666	0.286	0.343
25Ek.-2001	1.527	4.487	4.323	0.615	1.426	0.879
1Ka.-2001	2.354	2.800	3.551	1.443	1.327	1.059
6Ka.-2001	6.005	7.064	8.067	2.387	3.323	2.491
8Ka.-2001	5.113	6.538	7.474	2.630	3.436	2.306
13Ka.-2001	5.321	5.392	6.029	2.463	3.100	1.877
22Ka.-2001	8.174	7.993	9.115	3.848	4.617	3.833
4Ara.-2001	7.455	7.770	8.843	4.665	4.985	3.892
11Ara.-2001	8.602	7.759	8.741	6.227	5.387	4.153
13Ara.-2001	7.492	5.819	6.900	4.933	4.376	3.357
13Şu.-2002	9.849	8.098	9.843	8.629	6.885	5.529
6Ma.-2002	10.135	9.576	11.253	8.064	6.819	4.568
13Ma.-2002	6.442	6.455	7.675	2.751	4.133	3.000
20Ma.-2002	8.948	9.312	10.99	4.135	6.351	4.396
27Ma.-2002	4.205	3.465	4.454	2.880	2.462	2.167
3Nis.-2002	6.033	5.495	6.816	4.971	3.608	2.973
10Nis.-2002	6.307	5.532	6.528	4.933	3.699	3.085
5Haz.-2002	4.853	5.876	6.369	3.481	4.471	3.143
13Haz.-2002	4.957	5.023	5.212	4.581	4.345	2.827
19Haz.-2002	6.197	6.765	7.678	4.685	4.819	3.424
Ort. (mg/L)	5.88	5.88	6.82	3.79	3.79	2.83
STD (mg/L):*	2.58	2.34	2.67	2.20	1.94	1.40
SS (mg/L)**	-	23.18	35.06	-	21.24	42.98

*: standart sapma, **: gözlenen ve tahmini değerler arasındaki hata karelerinin toplamı.

Şekil 5.8’de YAAS ve SYAS sistemlerde çoklu regresyon (tahmin 1 ile gösterilen) ve kinetik model (tahmin 2 ile gösterilen) ile elde edilen tahmini çıkış konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri görülmektedir.



Şekil 5.8: YAAS ve SYAS sistemlerinde azot için çoklu regresyon (tahmin 1) ve kinetik model (tahmin 2) ile elde edilen tahmini çıkış konsantrasyonları

5.10.4 Performansların istatistiksel değerlendirmesi

Deneyler sonucu elde edilen veriler Varyans Analizi (ANOVA) ve Tukey (HSD) Testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sabit hidrolik yük altında tüm sistemlerin farklı sıcaklık aralıklarındaki (0-10 ve 10-25°C) ortalamaları arası farkların istatistiksel bir anlamının olup olmadığı 2-yönlü Varyans analizi ile test edilmiştir. Test sonuçları EK D (Tablo D.1)’de verilmiştir. Test sonuçlarının özeti ise Tablo 5.18’de gösterilmiştir. Tablo 5.18’deki varyans analiz sonuçlarına göre hem YAAS hem de SYAS sistemlerde hidrolik yük sabitken (50 ve 80 L/m²/gün) farklı sıcaklık aralıklarında tüm bitki türlerinin ortalama NH₄⁺, NO₃⁻ organik-N ve TN değerleri

istatistiksel olarak birbirinden %95 olasılıkla farklı olmamasına karşın farklı sıcaklık aralığındaki ortalamalar 0.05 anlamlılık seviyesinde birbirinden farklıdır. Dolayısıyla her iki sistemde de sıcaklık ortalama $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, organik-N ve TN verimleri üzerinde etkili olmuş fakat kullanılan bitki türleri etkili olmamıştır.

Tablo 5.18: Hidrolik yükün sabit olduğu farklı sıcaklık aralıklarındaki (0-10 ve 10-25 °C) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları

YAAS Sulakalan Sistemleri				
Parametreler	HYH: 50 L/m ² /gün		HYH: 80 L/m ² /gün	
	Ortalama verimler arasındaki farkların varlığı	Sıcaklığın verim üzerine etkisi	Ortalama verimler arasındaki farkların varlığı	Sıcaklığın verim üzerine etkisi
	(p:0.05)*	(p:0.05)	(p:0.05)	(p:0.05)
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Yok	Var	Yok	Var
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	Yok	Var	Yok	Var
Org.-N	Yok	Var	Yok	Var
TN	Yok	Var	Yok	Var
SYAS Sulakalan Sistemleri				
Parametreler	HYH: 50 L/m ² /gün		HYH: 80 L/m ² /gün	
	Ortalama verimler arasındaki farkların varlığı	Sıcaklığın verim üzerine etkisi	Ortalama verimler arasındaki farkların varlığı	Sıcaklığın verim üzerine etkisi
	(p:0.05)	(p:0.05)	(p:0.05)	(p:0.05)
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	-	Var	Yok	Var
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	-	Var	Yok	Var
Org.-N	-	Var	Yok	Var
TN	-	Var	Yok	Var

*p: 0.05 değeri olayın %95 olasılıkla doğruluğunu belirleyen güven aralığıdır, -: o aralıkta data mevcut değil.

İki farklı sıcaklık aralığında (0-10 ve 10-25°C) ve farklı hidrolik yüklerde tüm bitkili sistemlerden elde edilen ortalamaların (verimler) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları EK D (Tablo D.2)'de verilmiştir.

Test sonuçlarının özeti ise Tablo 5.19'de gösterilmiştir. Hem düşük hem de yüksek sıcaklık aralıklarında farklı hidrolik yüklerdeki (50 ve 80 L/m²/gün) sistemlerin ortalama performansları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmamasına karşın iki farklı hidrolik yükleme hızlarındaki ortalamalar arasında önemli bir fark bulunmaktadır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında sabit sıcaklık aralıklarında her iki sistemde de hidrolik yük verimler üzerine etkili olmasına karşın bitkiler etkili olmamıştır.

Tablo 5.19: Düşük (0-10 °C) ve yüksek (10-25 °C) sıcaklık aralıklarında farklı hidrolik yük altındaki ortalamaların (verimler) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları

Parametreler	YAAS Sistemleri		SYAS Sistemleri	
	Sistemlerin (yada bitkilerin) Ortalama verimleri arasındaki farklar (p: 0.05)	Hidrolik yükün verimler üzerine etkisi (p: 0.05)	Sistemlerin (yada bitkilerin) Ortalama verimleri arasındaki farklar (p: 0.05))	Hidrolik yükün verimler üzerine etkisi (p: 0.05)
NH ₄ ⁺ -N	Yok	Var	Yok	Yok
NO ₃ ⁻ -N	Yok	Var	Yok	Yok
Org.-N	Yok	Var	Yok	Yok
TN	Yok	Var	Yok	Yok

*p=0.05 değeri olayın %95 olasılıkla doğruluğunu belirleyen güven aralığıdır.

Bitkili ve bitkisiz sistemler ile bitkili sistemlerin kendileri arasındaki ilişkileri gösteren varyans analiz (tek yönlü-ANOVA) ve Tukey test sonuçları EK D (Tablo D.3)'de verilmiştir. Test sonuçlarının özeti ise aşağıdaki Tablo 5.20'de gösterilmiştir.

Tablo 5.20: Sistemlerin yıllık ortalama verimlerinin varyans analiz (tek yönlü-ANOVA) ve Tukey test sonuçları

Parametreler	YAAS		SYAS	
	Bitkili ve bitkisiz sistemler arasındaki ilişki (p:0.05)	Bitkili sistemler arası ilişki (p:0.05)	Bitkili ve bitkisiz sistemler arasındaki ilişki (p:0.05)	Bitkili sistemler arası ilişki (p:0.05)
NH ₄ ⁺ -N	Var	Yok	Var	Var
NO ₃ ⁻ -N	Var	Yok	Var	Yok
Org.-N	Var	Yok	Var	Yok
TN	Var	Yok	Var	Yok

Tablo 5.20'deki sonuçlara göre hem YAAS hem de SYAS sulakalan sistemlerinde yıllık ortalama arıtma verimleri %95 olasılıkla bitkisiz (kontrol) sistemden farklıdır. Bitkili sistemlerin ortalama verimleri arasında ise 0.05 anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak bir fark bulunmamaktadır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, yıllık ortalama değerler baz alındığında hem YAAS hem de SYAS sistemlerinde azot arıtımında bitkili ve bitkisiz sistemler arasında önemli farklar bulunmaktadır. Sonuçta bitkilerin varlığı verimler üzerinde etkili olmasına karşın bitki çeşitlerindeki farklılıklar (köklü, yüzücü ve batık) verimler üzerinde etkili olmamıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada pilot ölçekli yapay sulakalan sistemleri kullanılarak azotlu bileşiklerin giderimi ve performansları üzerine etkili faktörler incelenmiştir. Deneyler üç grupta gerçekleştirilmiştir. İlk grupta köklü bitkiler, ikinci grupta yüzücü ve batık bitkiler üçüncü grupta ise tüm bitki türlerini içeren ve 3 kademeli olan seri bağlı bir sistem (sırayla köklü, yüzücü ve batık bitkiler) üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu deneylerde hidrolik yük, madde yükü ve sıcaklık gibi parametrelerin verim üzerine etkileri incelenmiştir.

Çalışma periyodu içerisinde bazı aylarda (Ocak, Şubat) olumsuz hava şartları (don etkisi) sebebiyle sisteme ara verilmesi ve yüzücü ve batık bitkilerin don etkisinden ölmesiyle (ölen bitkilerin su ortamında birikmesiyle) çıkış suyu kalitesi olumsuz yönde etkilenmiştir. Ayrıca zaman zaman besleme borularındaki alg gelişimleri sebebiyle oluşan tıkanmalar da çıkış suyu kalitesini etkilemiştir. Alg gelişimlerinin önlenmesi için her hangi bir kimyasal kullanılmamıştır.

Yıllık ortalama $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, organik-N ve TN giderimleri YAAS bitkili ve bitkisiz sistemlerinde sırayla, %73 ve %47, %37 ve %23, %73 ve %41, %44 ve %30 olarak ve bitkili ve bitkisiz SYAS sulakalanlarında ise sırayla %57 ve %34, %58 ve %22, %68 ve %24, %60 ve %27 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar bize klasik çakıl filtrasyonuna bitkilerin takviyesiyle azot gideriminin önemli derecelerde iyileştirilebileceğini göstermektedir. YAAS sistemlerinde amonyum, SYAS sistemlerinde ise nitrat ve dolayısıyla TN giderimleri daha yüksektir. YAAS sistemlerinde amonyumun SYAS sistemlerinden büyük olmasının olası sebepleri arasında dolgu malzemesi (çakıl) kullanılması ve bitki farklılıkları sayılabilir. Bu tür sistemlerin tümünde köklü bitkiler kullanılmıştır. Bu bitkilerin kökleriyle daha iyi bir hidrolik akımı sağlaması ve taban kısmında ki aerobik ve fakültatif mikroorganizmalara nitrifikasyon için önemli ölçülerde oksijen transfer etmeleri nitrifikasyon hızını arttırmıştır. Dolayısıyla hem yüzeyden bir miktar atmosferik oksijen transferi hem de taban kısımlarına bitkilerle oksijen transferi diğer sistemlere kıyasla amonyum giderimini daha üst seviyelere getirmiştir.

SYAS sistemlerinin taban kısımlarında oksijen seviyesi oldukça düşük olup bu bölgeler denitrifikasyon ağırlıklı çalışmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan yüzücü ve batık bitkiler çok hızlı geliştiklerinden yüzey bölgesini birkaç hafta içinde tamamen kaplayabilmektedirler. Ölen bitkiler sürekli tabana çöktüklerinden dolayı bu bölgede önemli miktarlarda amonyum ve denitrifikasyon için organik karbon ortama eklenmektedir. Ayrıca yüzücü ve batık bitkilerin nitrata köklü bitkilerden daha fazla asimile edebilmesi ve bu bitkilerin kış periyodundan daha az etkilenmesi (özellikle su mercimeği) vb. koşullar nedeniyle bu tür sistemlerde denitrifikasyon hızları daha yüksek olacağından (özellikle batık bitkilerde) nitrat giderimleri de yüksek çıkmıştır.

En yüksek NO_3^- -N (%69), organik-N (%93) ve TN (%70) giderimleri SYAS sistemlerindeki *Elodea-Egeria* (batık) bitkilerinden elde edilmiştir. Organik-N gideriminde *Iris pseudocorus* (köklü bitkiler) *Elodea-Egeria* bitkilerinin sağladığı aynı başarıyı (%93) sağlamıştır. YAAS sistemlerindeki *Paspalum* (köklü bitkiler) bitkisi ise en yüksek NH_4^+ -N giderimini (%80) sağlamıştır.

Sistemlerin yaz ve kış periyodundaki verimleri belirgin bir ölçüde değişiklik göstermiştir. YAAS sulakalan sistemlerinin yaz (%74) ve kış periyodundaki (%66) amonyum azotunu arıtma verimi SYAS sistemlerden daha iyidir. Buna karşın SYAS sistemlerinde de yaz (%59) ve kış (%54) nitrat ve dolayısıyla da TN (yaz %61, kış %54) için verimler daha iyi görülmektedir.

Hem yaz hem de kış periyodunda batık bitkilerin NO_3^- -N (%67, %65), Organik-N (%87, %63) ve TN (%68, %66) giderimleri diğerlerine göre daha yüksektir. Köklü bitkiler ise hem yaz (%74) hem de kış (%66) periyodunda diğerlerine göre daha başarılıdır.

Kışın nitrat gideriminden en az etkilenen bitki *Valisneria* (batık bitki), amonyum gideriminden en az etkilenen bitki ise *Poaceae* (köklü bitki) olmuştur. Bu bitkiler kışın en düşük çıkış konsantrasyonlarını vermiştir. Batık bitkilerin kışın diğerlerine göre daha düşük çıkış konsantrasyonları vermesinin nedeni bu bitkilerin tabanda koşullanmaları ve nitrata daha fazla gereksinim duymaları olabilir.

Azot giderimini daha iyi seviyelere getirebilmek için tasarlanılan ve sırayla köklü, yüzücü ve batık bitkilerden oluşan seri sistemle NH_4^+ -N arıtma verimi %72 (köklü bitkiler)'den %89'ye, NO_3^- -N arıtma verimi %67 (batık bitkiler)'den %73'e ve TN arıtma verimi ise %68 (batık bitkiler)'den %77'ye kadar arttırılmıştır. Sonuç olarak genel bir değerlendirme yapıldığında seri sistem azot giderimini daha iyi düzeylere getirmiştir. Bu sistemdeki tüm bitki türlerinde (veya kademelerde) arıtma verimleri diğer sistemlerde olduğu gibi kış periyodunda biraz daha düşük çıkmıştır.

Hasatlamamanın verim üzerine etkisini belirlemek için seçilen *Phragmites*, *Typhia*, *İris* (köklü) ve *Lemna* (yüzücü) bitkilerini içeren reaktörlerden bir tanesinde belirli zaman aralıklarında bitki hasadı yapılmış diğerinde ise bitki hasadı yapılmamış ve kontrol olarak kullanılmıştır. Köklü bitkilerin azot kullanım kapasiteleri 0.120-0.247 g/m²/gün (1.2-2.47 kg/ha/gün) aralığında değişmektedir. Bu değerler literatürde köklü bitkiler için kaydedilen 1.64-7.20 kg/ha/gün (**WEF, 2000**) değer aralıkları içerisinde kalmaktadır. *Lemna* bitkisi için elde edilen 0.284 g/m²/gün (2.84 kg/ha/gün) değeri ise **Reed ve diğ. (1988)** tarafından kaydedilen 3.66 kg/ha/gün değerinden biraz daha düşüktür.

Sonuçlara göre köklü bitkilerin hasatlanması ile verimler hasatsız olanlardan ortalama %5.3 (%2-%9), yüzücü bitkilerde (*Lemna*) ise ortalama %10 (%8-%12) daha yüksektir. Otoriterlerin çoğu bitki hasatının nütrient gideriminde etkili olmadığı yönünde hem fikir olmuşlardır (**Brix, 1994**). Literatürde köklü bitkilerin hasatlanması yalnızca hidrolik kapasitenin arttırılması, aktif büyümenin teşvik edilmesi ve sivrisinek konaklanmalarının engellenmesi için tavsiye edilmektedir (**Brix, 1994**). Örneğin, Lostowel (Ontario)'deki bir sistemde hasatlamayla azot gideriminin %10'dan daha küçük oranlarda kaldığı ve (**Herskowitz, 1986**). Santee (Kaliforniya)'deki bir sistemde ise %12 ile %16 arasında kaldığı belirtilmiştir (**Gersberg ve diğ., 1985**).

Bu çalışmada iki hasat günü arasındaki geçen sürede bitkilerin bünyelerine aldıkları TN miktarları ile toplam giriş konsantrasyonları arasındaki orana dayanılarak hasatla giderilen TN oranları bulunmuştur. Buna göre hasat süreleri içerisinde hasatla giderilen TN köklü bitkilerde ortalama %3.8 (%2-8.5) ve yüzücü bitkide (*Lemna*) ise ortalama %8.6 (%7.3-9.8)'dir. Literatürde sulakalan sistemlerinde azotun bitkilerle

direkt asimilasyonu TN gideriminin yalnızca %5 ya da %10' kadar olduğu belirtilmiştir (Cooke, 1994).

TN dışındaki tüm azot türleri için giriş konsantrasyonları ile verimler arasında üstel bir ilişki mevcut olmasına karşın organik azot için giriş ve % giderimler arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde doğrusal bir ilişki de mevcut gözükmemektedir. Regresyon katsayıları (0.0055-0.36) dikkate alındığında giriş azot konsantrasyonları ile verimler arasındaki üstel ilişkiler çok iyi gözükmemektedir. Ortalama giriş ve çıkış konsantrasyonları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde YAAS sistemlerinde ortalama giriş ve çıkış azot konsantrasyonları arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak doğrusal bir ilişki mevcuttur. Buna karşın SYAS sistemlerinde ise ortalama giriş ve çıkış amonyum ve organik azot konsantrasyonları arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak doğrusal bir ilişki mevcut olmasına karşın bu ilişkiler nitrat ve toplam azot için bulunmamaktadır.

Hem YAAS hem de SYAS tüm azot türleri için azot yükleme hızları ile giderim hızları arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde oldukça güçlü doğrusal ilişkiler bulunmuştur.

Her iki sistemde de hidrolik bekletme süreleri ile % giderimler arasında üstel ilişkiler mevcuttur. TN dışında tüm azot türleri için verimler başlangıçta artmış ve daha sonra sabit bir değere doğru hızlıca düşmüştür. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre YAAS sistemlerinde yalnızca toplam azot için giderimler ile hidrolik bekletme süreleri arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde doğrusal bir ilişki de mevcuttur.

Hidrolik yüklerle ($L/m^2/gün$) nitrifikasyon hızları ($g/m^2/gün$) arasında her iki sistemde de 2.dereceden bir polinom ilişkisi mevcutken, denitrifikasyon hızları arasında 2. (YAAS) ve 3. dereceden (SYAS) bir polinom ilişkisi vardır. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre ise her iki sistemde de denitrifikasyon hızları ile hidrolik bekletme süreleri arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde doğrusal bir ilişkide mevcuttur.

Bu çalışmada $LogK_T$ ile T-20 arasındaki 2. dereceden bir polinom ilişkisine dayandırılarak hız sabitleri bulunmuştur. YAAS sistemlerinde nitrifikasyon için elde edilen k_{20} değeri ($0.898 gün^{-1}$) literatürde kaydedilen değerlerden daha büyük olup, SYAS sistemleri için elde edilen değer ($0.541 gün^{-1}$) ise Kemp ve George (1997) tarafından kaydedilen değere daha yakındır. Aynı zamanda amonyaklaşma için elde edilen hız sabitleri (0.986 ve $0.908 gün^{-1}$) de literatürde kaydedilen değerlerden

büyükür. Denitrifikasyon hız sabitleri (YAAS için 0.486 ve SYAS için 0.502 gün⁻¹) ise literatürdeki değır aralıkları içerisine düşmektedir. YAAS ve SYAS sistemlerinde TN için elde edilen giderim hızı sabitleri ise sırayla 0.293 ve 0.355 gün⁻¹ olup **Kadlec ve Knight (1996)** tarafından kaydedilen 0.20 (YAAS) ve 0.31 (SYAS) gün⁻¹ değırlerine biraz daha yakındır. Bu sonuçlar bize amonyumun YAAS sistemleriyle, toplam azotun ise SYAS sistemleriyle daha iyi arıtılabileceğini göstermektedir.

Saf kültürlerde nitrifikasyon için optimum sıcaklıklar 25-35°C arasında ve toprakta ise 30-40°C arasında (**Vymazal, 1998**), denitrifikasyon için ise 25-30°C arasında değışmektedir (**Kadlec ve diğ., 2000**). Bu çalışmada sıcaklık aralığı 5-25°C arasında kaldığından hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon için optimum sıcaklıklara henüz ulaşılammıştır. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi sıcaklıkla nitrifikasyon ve denitrifikasyon hızları arasındaki polinom ilişkilerine dayanan denklemler yorumlandığında çalışma periyodunu kapsayan sıcaklık aralıklarında hızlarında sürekli arttığı ve 25 °C'den sonra yavaş yavaş düşme eğiliminde oldukları görülmektedir. Hız katsayıları sıcaklığın yanı sıra bitki çeşitlerine dolayısıyla kök yapılarına bağılı olarak da değışmektedir. (**Kadlec ve Knight, 1996**). Örneğin, Californiya (Santee)'de yapılan bir sulakalan çalışmasında aynı derinliklerdeki tüm reaktörlerde farklı bitkilerle çalışılmış ve farklı nitrifikasyon hızları elde edilmiştir. En yüksek verimi sağılayan bitkinin (*Bulrush*; sazlık) köklerinin yatak tabanını tamamen kapladıkları ve kök çevresine daha fazla oksijen transfer ettikleri sonucuna varılmıştır (**Gersberg ve diğ., 1985**). Bu çalışmada data sayısını arttırarak hız katsayılarını daha sağılıklı bulabilmek için köklü bitkiler YAAS, yüzücü ve batık bitkiler ise SYAS kategorisinde toplanarak genelleştirilmiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda özellikle bu hususun göz önüne alınması ve çok geniş sıcaklık aralıklarını kapsayan daha fazla sayıda data elde edilerek bitki çeşitlerine göre hız katsayılarının hesaplanmasına dikkat edilmesi gerekir.

Deney sonuçları ve elde edilen hız sabitleri 1.dereceden kinetik modelde yerine konularak ve aynı zamanda hidrolik yük, pH ve giriş konsantrasyonlarına bağılı olarak elde edilen çoklu regresyon denklemleriyle tahmini çıkış konsantrasyonları elde edilmiştir. Hem YAAS hem de SYAS sistemlerinde (nitrat hariç) oklu regresyonla elde edilen ortalama tahmini çıkış konsantrasyonlarıyla gözlenen değırler birbiriyle aynı bulunmuştur. Kinetik modelle elde edilen ortalamalar ise gözlenen değırle yakın bulunmuştur. Gözlenen ve tahmini çıkış konsantrasyonları

arasındaki hata karelerinin toplamı çoklu regresyonda daha küçük olması ve ortalama tahmini çıkış konsantrasyonlarıyla gözlenen değerlerin birbiriyle aynı olması bu modelle daha iyimser tahminlerin yapılabileceğini göstermiştir. Giderim hızlarını sadece giriş ve çıkış konsantrasyonları ile bekletme sürelerine bağlı olarak veren basit kinetik modeller farklı bölgelerde konumlandırılmış tüm sulakalanlar çok iyi tahminler vermeyebilir. Çünkü yapay sulakalanlarda azot dönüşümleri çok komplike ve dinamik bir süreçtir ve bir çok faktör dolaylı ya da dolaysız yünden performanslar üzerine etkili olabilir. Bu nedenle basit kinetik modellere bu faktörlerin de dahil edilerek yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Varyans analiz sonuçlarına göre her iki sistemde de sıcaklık ortalama NH_4^+-N , NO_3^--N , organik-N ve TN verimleri üzerinde etkili olmuş fakat kullanılan bitki türleri etkili olmamıştır. Aynı zamanda sabit sıcaklık aralıklarında her iki sistemde de hidrolik yük verimler üzerine etkili olmasına karşın bitkiler etkili olmamıştır. İstatistiksel olarak genel bir değerlendirme yapıldığında, yıllık ortalama değerler baz alındığında hem YAAS hem de SYAS sistemlerinde azot arıtımında bitkili ve bitkisiz sistemler arasında önemli farklar bulunmaktadır.

Sonuçta yıllık ortalama değerler baz alınarak yapılan testlerin sonucunda, yalnızca SYAS sistemlerinde amonyum azotu gideriminde hem bitkilerin varlığı hem de bitki çeşitlerindeki farklılıklar verimler üzerine etkili olmasına karşın genel olarak değerlendirildiğinde bitkilerin varlığı azot giderimleri üzerinde etkili olmasına karşın bitki çeşitlerindeki farklılıklar (köklü, yüzücü ve batık) verimler üzerinde etkili olmamıştır.

Bu araştırmanın önemli sonuçlarından birisi yapay sulakalan sistemlerinin üçüncü kademe tasfiye çıkış sularındaki azotlu kirleticilerin daha ileri düzeylere kadar giderilebileceği (amonyum: %52-%80, nitrat: %25-%69 ve TN: %33-%70) ve dolayısıyla da atıksu arıtımında nihai bir kademe (post treatment) olarak kullanılabileceğidir. Diğeri ise özellikle göl ve baraj sularının kirlenmesinde önem taşıyan azot kaynaklı kirlenme kontrolünde yapay sulakalan sistemlerinin etkin olarak kullanılabileceği sonucudur. Bu çalışma Türkiye'deki sulakalan çalışmaları için bir örnek teşkil etmesi sebebiyle bundan sonraki yapılacak sulakalan çalışmaları için de bir alt yapı özelliği taşımaktadır. Ayrıca üçüncü kademe çıkış sularıyla çalışıldığından literatürdeki büyük bir boşluğu da gidereceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada yapılamayan ve bundan sonraki yapılması öngörülen çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Kirleticilerin akım mesafesine karşı değişimleri incelenmelidir.
- Çalışma en az 2 yada 3 yılı (haftalık ölçümlerle) kapsamalı ve haftalık ölçümler yapılmalıdır.
- Hız katsayıları bitki türlerine göre ayrı ayrı bulunmalıdır.
- Bitki hasadı her yıl düzenli aralıklarla denenmeli ve bitkilerin hasatlamadan sonraki gelişimleri (boyları) ve azot kullanım hızları ölçülerek zamansal ilişkisi kurulmalıdır.
- Kütle dengesinin kurulabilmesi için en aynı bitkileri içeren bir reaktör ikiden fazla bölmelere ayrılarak bu bölmeler arasındaki tüm parametreler ölçülmelidir.
- Yağış ve buharlaşma etkileri (özellikle SYAS sistemlerinde) incelenmelidir.
- Derinlik etkisi incelenmelidir.
- Azot gideriminde yüksek verimlerin alınması için düşey (nitrifikasyon ağırlıklı) ve yatay (denitrifikasyon ağırlıklı) YAAS ile SYAS sistemlerinin bir kombinasyonu denenmelidir. Ayrıca geri devir etkileri de mutlaka incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- Ayaz, Ç.S. and Akça, L.**, 2001. Treatment of wastewater by constructed wetland in small settlements, *Water Sci. Tech.*, **41(1)**, 69-72.
- Bavor, H.J., Roser, D.J., McKersie, S.A. and Breen, P.**, 1988. Treatment of secondary effluent, Report to Sydney water board, Sydney, NSW, Australia.
- Bavor, H.J., Roser, D.J., Fisher, P.J. and Smalls, I.C.**, 1986. Joint Study on Sewage Treatment Using Shallow Lagoon-aquatic Plants Systems, Water Research laboratory, Hawkesbury Agricultural College Publishing, Richmond, NSW, Australia.
- Börner, T.**, 1992. Einflußfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen, *Dissertation*, FB 13, TH Darmstadt.
- Braskerud, B.C.**, 2002. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution, *Ecol. Eng.*, **18**, 351-370.
- Breen, P.F.**, 1990. A mass balance method for assessing the potential of artificial wetlands for wastewater treatment, *Wat. Res.*, **24(6)**, 689-697.
- Brix, H. and Schierup, H.H.**, 1990. Soil oxygenation in constructed reed beds: The role of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport, *The international conference on the use of constructed wetlands in water pollution control*, Oxford, UK, September 24-28, 1990, 53-66.
- Brix, H.**, 1987. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-the root zone method, *Wat. Sci. Tech.*, **19**, 107-118.
- Brix, H.**, 1994. Use of wetlands in water pollution control: historical development, present status and future perspectives, *Water Sci. Tech.*, **30(8)**, 209-223.
- Burgoon, P.S., DeBusk, T.A., Reddy, K.R. and Koopman, B.**, 1991. Vegetated submerged beds with artificial substrates. II: N and P removal, *J. Env. Eng.*, **117(4)**, 408-424.
- Burgoon, P.S.**, 2000. Denitrification in free water surface wetlands receiving carbon supplements, *Water Sci. Tech.*, **44(11)**, 163-169.

- Caffrey, J.M. and Kemp, W.M.**, 1991. Seasonal and spatial patterns of oxygen production, respiration and root-rhizome release in *Potamogeton perfoliatus* and *Zostera marina*, *Aquatic Botany*, **40**, 109-128.
- Cooke, L.G.**, 1994. Nutrient transformations in a natural wetland receiving sewage effluent and the implications for waste treatment, *Wat. Sci. Tech.*, **29**, 209-217.
- Cooper, P.F., Job, G.D., Gren, M.B. and Shutes, R.B.E.**, 1996. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Water Research Center Publications, Medmenham, UK.
- Cooper, P.**, 1999. A review of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems, *Wat.Sci.Tech.*, **40(3)**, 1-17.
- Cueto, A.**, 1993. Development of Criteria for the design and construction of engineered Aquatic Treatment Units in Texas, *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, in G.A. Moshiri (Ed.), Lewis Publishers, Chapter 9, 99-105.
- Del Bubba, M., Lepri, L., Garuti, G. and Masi, F.**, 2000. Evidence of nitrogen removal by submerged flow constructed wetlands in Italy, *The 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, V.1, Florida, USA, November 11-16.
- Drizo, A., Frost, C.A., Grace, J. and Smith, K.A.**, 2000. Phosphate and ammonium distribution in a pilot-scale constructed wetland with horizontal subsurface flow using shale as a substrate, *Water Res.*, **34(9)**, 2483-2490.
- Gerke, S., and Baker, L.**, 2001. Sequential model of nitrogen transformations in a treatment wetland receiving lagoon effluent. *Water Res.*, **35(16)**, 3857-3866.
- Gersberg, R.J., Elking, B.V. and Goldman., C.R.**, 1984. Use of artificial wetlands to remove nitrogen from wastewater, *JWPCF.*, **56(2)**, 152-156.
- Gersberg, R.J., Elking, B.V., Lyong, S.R. and Goldman. C.R.**, 1985. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands, *Water Res.*, **20**, 263-267.
- Gidley, T. M.**, 1995. Development of a Constructed subsurface slow setland simulation sodel, *MS Thesis*, North Carolina, USA.
- Hamilton, H., Nix, P.G. and Sobolewski, A.**, 1993. An Overview of Constructed Wetlands as Alternatives to Conventional Waste Treatment Systems, *Water Pollution Research Journal of Canada*, **28(3)**, 529-548.
- Hammer, D.A. and Knight, R.L.**, 1994. Designing constructed wetlands for nitrogen removal, *Water Sci. Tech.*, **29 (4)**, 15-27.

- Herskowitz, J.**, 1986. Town of Listowel artificial marsh project, final report, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, New York, USA.
- Hosoi, Y., Kido, Y., Miki, M. And Sumida, M.**, 1998. Field examination on reed growth, harvest and regeneration for nutrient removal, *Wat. Sci. Tech.*, **38(1)**, 351-359.
- ISKİ**, 1997. İstanbul Ömerli Baraj Gölünü Besleyen Derelerde Kirlilik Araştırması Raporu, *İSKİ Yayını*, Atıksu Arıtma ve Ruhsat Denetim Daire Başkanlığı Atıksu Daire Başkanlığı, İstanbul, Türkiye.
- IWA**, 2000. Constructed Wetlands for Pollution Control, Processes, Performance, Design and Operation, Scientific and Technical Report, *IWA Publishing Inc.*, by IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, London, UK.
- Jenssen, P.D., Maehlum, T. and Krogstad, T.**, 1993. Potential of constructed wetlands for wastewater treatment in northern environments, *Water Sci. Tech.*, **28**, 149-157.
- Kadlec, H.R. and Knight, R.L.**, 1996. Treatment Wetlands, Lewis publishers Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- Kadlec, H., Knight, R.L., Vyzamal, J., Brix, H., Cooper, P. and Haberl, R.**, 2000. Constructed Wetlands for pollution control, *Water Pollution Control Science and Technical Report*, by IWA specialist on use of macrophytes, , 61-68.
- Kemp, M.C. and George, D.B.**, 1997. Subsurface flow constructed wetlands treating municipal wastewater for nitrogen transformation and removal, *Water Environ. Res.*, **69(7)**, 373-440.
- Knight, R.L., Ruble, R.W., Kadlec, R.H., and Reed, S.**, 1993. Database: North Amerikan Wetlands for Water Quality Treatment, *PhaseII Report*, Prepared for US EPA, USA.
- Koottatep, T. and Polprasert, C.**, 1997. Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics, *Wat. Sci. Tech.*, **36(12)**, 1-8.
- Magmedov, V.G. and L.I., Yakovleva**, 1994. The Experience of the CIS on using constructed wetlands for waste water treatment, *European Water Pollution Control*, **4(2)**, 22-25.
- Martin, J.R., Keller, C.H., Clarke, Jr. and Knight, R.L.**, 2000. Long-term performance summary for the boot wetland treatment system, wetland systems for water pollution control, *Water Sci. Tech.*, **44(11)**, 134-138.
- Martin, J.F. and Reddy, K.R.**, 1997. Interaction and Spatial Distribution of Wetland Nitrogen Processes, *Ecological Modeling*, **105**, 1-21.

- Metcalf and Eddy**, 1991. *Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse*, Third edition, McGraw-Hill Inc., New York.
- Moshiri, G.A.**, 1993. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA.
- Nichols, D.S.**, 1983. Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater, *Water Pollution Control Federation Journal*, **55**, 495-505.
- Payne, N.F.**, 1992. *Techniques for Wildlife Habitat Management of Wetlands*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Perdomo, S., Fujita, M. and Furukawa, K.**, 1996. Oxygen transport through *Pistia stratiotes*, *The 5th Int. Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Universitat für Bodenkultur, Vienna, Austria, September 15-19, 1-8.
- Qasim, S.R.**, 1999. *Wastewater Treatment Plants, Planning, Design and Operation*, Second Edition, Technomic Publishing Co., Lancaster, The University of Texas at Arlington, USA.
- Reddy, K.R. and DeBusk, W.F.**, 1987. Nutrient Storage Capabilities of Aquatic and Wetland, In *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*, Mognolia Publishing In., Orlando, USA.
- Reddy, K.R. and DeAngelo, E.M.**, 1994. Soil Processes Regulating Water Quality in Wetlands, In *Global Wetlands: Old World and New* (ed. W. Mitsch), Armsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Reddy, K.R., Patrick, W.H. and Lindau, C.W.**, 1989. Nitrification-denitrification at the plant root sediment interface in wetlands, *Limnol. Oceanogr.*, **34**, 1004-1013.
- Reddy, K.R. and Patrick, W.H.**, 1984. Nitrogen transformations and Loss in Flooded Soils and Sediments, *CRC Crit., Rev.Envir.Control*, **13**, 273-309.
- Reed, S.C. and Brown, D.**, 1995. Subsurface flow Wetlands-A Performance Evaluation, *Water Environ.Res.*, **67(2)**, 244-248.
- Reed, S.C., Crites, R.W. and Middlebrooks, E.J.**, 1988. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, First Ed., McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Reed, S.C., Crites, R.W. and Middlebrooks, E.J.**, 1995. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, Second Ed., McGraw-Hill Inc., New York, USA.

- Rogers, K.H., Breen, A.J. and Chick, A.J.,** 1991. Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems: evidence for the role of aquatic plants, *Res.J.Wat. Poll. Cont. Fed.*, **63(7)**, 934-941.
- Scuhueler, T.R.,** 1999. Metropolitan Washington Council of Government and Natural Resources, Stormwater Best Management Practices, Raleigh-Durham, N.C. USA.
- Smith, R.G., Hayashi G. and DeFigueredo, R.F.,** 1988. Seasonal Denitrification of Secondary Effluent, *The 61st Annual Water Pollution Control Federation Conference*, Dallas, USA, October 5-9, 86-88.
- Standard Methods,** 1998. Standard Methods for the examination of eastewater 20th edition, *American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation*, Washington, DC, USA.
- Stephenson, M., Turner, G., Pope, P., Colt, J., Knight, A. and Tchobanoglous, G.,** 1980. The Use and Potential of Aquatic Species for Wastewater Treatment, in Appendix A: *The Environmental Requirements of Aquatic Plants*, Publication No.65, California State Water Resources Control Board, Sacramento, USA.
- SWDC,** 1999. The State of Wisconsin Department of Commerce, Publishings of the Illinois Academy of Science, **48**, 85-91, Wisconsin, USA.
- Tousignat, E. (Author), Frankhauser, O. and Hurd, S.,** 1999. Guidance Manual for The Design, Construction and Operation of Constructed Wetlands for Rural Applications In Ontario, Funded by the Canadapt Program of The Agricultural Adaptation Council, Alfred College (University of Guelph) Publishing, Ontario, USA
- US-EPA,** 1999. Design Manual: Constructeds Treatment of Municipal Wastewaters, 45268, EPA Report 625-R-99-022, Cincinnati, Ohio, USA.
- US-EPA,** 1980. Design Manual: Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems, EPA Report 625-1-80-012, Washington, USA.
- US-EPA,** 1993. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment A Technology Assessment, EPA Report 832-R-93-008, Washington, USA.
- US-EPA,** 2000. Wastewater Technology Fact Sheet, Wetlands: Free Water Surface Wetlands, Office of Water Washington, EPA Report 832-F-00-24, Washington, USA
- Vanier, S.M. and Dahab, M.F.,** 2001. Start-up performance of a subsurface-flow const. wetland for domestic wastewater treatment, *Env. Tech.*, **22**, 587-596.

- Verhoeven, J.T.A. and Meuleman, A.F.M.** 1999. Wetlands for Wastewater Treatment: Opportunities and Limitations, *Ecol.Eng.*, **12**, 5-12.
- Vymazal, J.**, 1993. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Czechoslovakia: State of the Art. Pp. 255-267. in G.A. Moshiri (Ed.), *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- Vymazal, J.**, 1995. *Algae and Element Cycling in Wetlands*, CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton , Florida, USA.
- Vymazal, J.**, 1998. Removal Mechanisms and Types of Constructed Wetlands. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*, Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, 17-66.
- Vymazal, J., Dusek, J. and Kvet, J.**, 1999. Nutrient Uptake and Storage by Plants In Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow: A Comparative Study, In *Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands* (Ed. J.Vymazal), Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.
- Watson, J.T. and Danzig, A.J.**, 1993. Pilot-Scale Nitrification Studies Using Vertical-Flow and Shallow Horizontal-Flow Constructed Wetland Cells, *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Edited by Gerald A.Moshiri, Ph.D. Lewis Publishers, Florida, USA.
- WEF**, 2000. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, The Water Environment Federation, Manual of Practice No.76, Volume I: Water Environment Federation publishers, Alexandria, VA, Washington, USA.
- WPCF**, 1990. Natural Systems for Wastewater, Manual of Practice FD-16, Water Pollution Control Federation publishers, Alexandria VA and American Society of Civil Engineers, Washington, USA.
- Yin, H. and Weiran, S.**, 1995. Using Reed Beds for Winter Operation of Wetland Treatment Systems for Wastewater, *Water Sci Tech.*, **32(3)**, 11-117.

EK A. GİRİŞ VE ÇIKIŞ SUYUNA AİT DENEY SONUÇLARI

Tablo A.1: Ortalama pH konsantrasyonları

pH		YAS Sulakalan Sistemleri													SYS Sulakalan Sistemleri								YAS	SYS	
	Giriş	Çıkış													Çıkış				Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış	
		mg/L	mg/L													mg/L				mg/L					
Ölçüm Tarihi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	20	21	21	18	19	
30.Eyl.01	7.5	7.3	7.2	7.1	7.3	7.8	7.4	8.7	8.3	7.3			7.8				7.5		7.5	8.1	7.5	8.8	9.1	9.1	
18.Eki.01	7.4	7.6	7.4	7.4	7.3	8.0	7.5	8.4	8.6	8.4			7.7				7.6		7.4	7.9	7.4	8.6	9.2	9.0	
25.Eki.01	7.3	7.2	7.2	7.3	7.7	7.8	7.6	7.7	9.5	8.1			8.1				7.4		7.3	8.1	7.3	8.4	8.4	9.7	
01.Kas.01	7.3	7.3	7.3	7.2	7.1	8.3	9.4	8.2	7.9	7.9			7.9				7.5		7.3	7.9	7.3	8.4	8.4	9.7	
06.Kas.01	7.2	7.4	7.3	7.2	7.3	8.0	7.7	7.7	7.7	7.5			8.1				7.3		7.2	7.5	7.2	8.0	8.1	8.2	
08.Kas.01	7.2	7.5	7.4	7.4	7.4	8.5	7.9	8.8	7.9	7.3			8.3				7.6		7.2	7.5	7.2	8.5	8.8	8.7	
13.Kas.01	7.5	7.4	7.3	8.5	7.4	7.8	9.4	8.1	8.2	8.0			7.9				7.6		7.5	7.6	7.5	8.8	9.0	8.5	
22.Kas.01	7.4	7.7	7.7	7.5	7.6	7.8	7.7	8.3	8.1	8.2			8.1				7.6		7.4	7.8	7.4	8.6	7.8	9.3	
04.Ara.01	7.5	7.7	8.2	8.0	7.7	7.8	7.9	8.4	8.0	8.1			8.4				7.5		7.5	7.6	7.5	8.4	8.0	9.3	
11.Ara.01	7.6	7.8	7.5	7.7	7.6	8.1	8.0	8.2	8.3	8.5			8.2				7.5		7.6	7.9	7.6	9.1	8.0	9.8	
13.Ara.01	7.2	7.9	7.9	7.5	7.3	7.1	7.2	7.1	7.5	7.6			7.5				7.4		7.2	7.9	7.2	7.1	7.4	7.1	
13.Şub.02	7.2	7.6	7.7	7.5	7.4	8.2	7.8	8.6	8.8	8.3	8.7	7.7	8.8	8.6	9.5	9.8	7.4	8.2	7.2	8.1	7.2	8.9	7.8	9.2	
06.Mar.02	7.3	7.5	7.5	7.5	7.3	7.5	7.4	7.5	7.5	7.5	7.8	7.6	7.6	8.6	9.6	8.4	7.5	7.4	7.3	7.6	7.3	8.9	8.2	9.8	
13.Mar.02	7.4	7.7	7.5	7.5	7.4	7.6	7.5	7.4	7.3	7.7	7.5	7.1	7.5	7.5	9.1	8.0	7.4	7.4	7.4	7.7	7.4	8.5	7.8	8.5	
20.Mar.02	7.3	7.4	7.2	7.3	7.5	7.2	7.3	7.2	7.3	7.6	7.1	7.1	7.4	9.3	8.6	7.3	7.5	7.5	7.3	8.6	7.3	8.5	7.1	7.9	
27.Mar.02	7.2	7.7	7.5	7.4	7.4	7.5	7.4	7.5	7.4	7.4	7.5	7.3	7.5	7.5	8.1	9.3	7.5	7.5	7.2	7.2	7.2	7.6	7.6	7.5	
03.Nis.02	7.2	7.6	7.3	7.3	7.3	7.4	7.1	7.3	7.3	7.4	7.4	7.1	7.5	7.3	8.1	8.8	7.4	8.6	7.2	7.6	7.2	8.0	7.5	9.5	
10.Nis.02	7.6	7.4	7.4	7.4	7.3	7.4	7.3	7.4	7.1	7.3	7.5	7.0	7.4	7.4	7.5	8.5	7.5	7.6	7.6	8.0	7.6	8.7	7.7	9.1	
05.Haz.02	7.6	7.3	7.5	6.9	7.3	7.2	7.2	7.8	7.3	7.5	7.2	7.2	7.1	7.0	7.6	7.2	7.4	7.7	7.6	7.3	7.6	7.8	7.7	9.3	
13.Haz.02	7.6	7.3	7.5	7.1	7.1	7.2	7.2	7.4	7.4	7.5	7.3	7.3	7.2	7.1	7.3	7.3	7.4	7.7	7.6	7.4	7.6	7.4	7.8	9.3	
19.Haz.02	7.4	7.0	7.2	7.2	7.2	7.2	7.1	7.4	7.4	7.4	7.0	7.3	7.2	7.1	7.5	7.3	7.3	7.8	7.4	7.8	7.4	8.2	7.7	10.9	

Tablo A.2: Ortalama sıcaklık konsantrasyonları (°C)

Sıcaklık		YAS Sulakalan Sistemleri													SYS Sulakalan Sistemleri								YAS	SYS	
	Giriş	Çıkış													Çıkış				Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış	
		mg/L	°C													°C				°C					
Ölçüm Tarihi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	20	21	21	18	19	
30.Eyl.01	25.5	17.8	17.9	16.7	18.1	17.7	16.8	18.7	19.4	18.7			18.8				17.8		17.6	17.6	17.6	17.8	17.4	19.8	
18.Eki.01	17.6	18.8	18.7	18.7	18.6	19.3	18.8	19.2	19.4	19.4			18.9				18.8		18.7	18.8	18.8	18.5	19.9	19.7	
25.Eki.01	18.0	12.2	12.2	12.0	11.7	12.7	12.5	12.7	12.6	12.4			12.7				12.7		12.0	12.2	12.2	12.2	12.5	12.7	
01.Kas.01	17.1	14.5	14.2	14.4	14.2	16.4	15.1	17.6	17.8	19.7			18.2				16.2		14.3	15.5	15.5	15.3	15.4	15.1	
06.Kas.01	16.6	12.0	12.2	12.1	12.3	11.8	12.0	12.0	11.9	11.8			12.0				12.0		12.2	11.4	11.4	12.2	11.9	11.8	
08.Kas.01	16.8	15.0	14.8	14.7	14.5	15.1	15.0	15.1	14.9	15.1			15.0				14.4		14.8	14.7	14.7	14.6	15.1	14.8	
13.Kas.01	17.4	17.1	17.2	19.9	16.8	17.1	17.1	17.7	17.7	18.1			17.8				16.6		17.8	16.6	16.6	16.7	16.6	16.8	
22.Kas.01	11.4	4.5	6.5	5.0	5.0	5.7	5.4	6.7	5.4	5.4			5.4				5.4		5.3	5.4	5.4	5.1	5.1	4.6	
04.Ara.01	11.9	6.6	5.4	6.1	6.2	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4			5.4				6.8		6.1	6.6	6.6	6.6	6.4	6.6	
11.Ara.01	6.6	6.1	5.4	6.0	6.0	5.4	6.1	5.4	6.7	7.0			5.4				5.8		5.9	6.4	6.4	6.8	6.2	6.2	
13.Ara.01	8.1	7.5	7.6	7.8	7.9	7.5	7.4	7.5	7.5	7.5			7.5				7.9		7.7	7.9	7.9	7.2	7.8	7.1	
13.Şub.02	15.0	7.1	7.8	8.3	8.9	8.8	8.6	11.4	16.5	11.8	11.8	11.7	11.5	11.6	11.7	12.2	10.1	9.5	8.0	9.2	9.2	9.4	8.0	7.8	
06.Mar.02	13.8	18.5	18.1	8.0	17.3	17.1	16.8	16.5	16.5	16.6	16.6	16.8	16.8	16.9	16.9	16.9	16.8	16.7	15.5	16.4	16.4	16.5	16.6	16.5	
13.Mar.02	18.6	16.0	16.0	15.4	15.4	15.3	15.0	14.9	15.0	15.0	15.0	15.0	9.0	15.0	15.1	15.1	15.1	15.1	15.7	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	
20.Mar.02	18.2	16.8	16.6	16.4	16.5	16.4	16.4	16.3	16.2	15.9	15.8	15.8	15.8	15.8	15.9	15.9	15.9	15.8	16.6	15.9	15.9	15.9	15.8	15.8	
27.Mar.02	8.8	10.7	9.3	9.3	9.1	9.7	9.5	9.3	9.4	8.6	8.9	9.2	10.0	9.2	9.1	9.4	10.4	9.6	9.6	9.0	9.0	9.2	9.7	9.7	
03.Nis.02	13.3	13.1	12.4	12.1	12.3	12.5	12.4	12.7	12.9	12.7	12.9	12.8	12.7	12.6	12.6	12.5	13.1	12.7	12.5	13.1	13.1	13.3	12.6	12.6	
10.Nis.02	12.7	12.4	11.1	11.8	11.4	12.0	11.8	12.3	12.6	12.6	12.9	12.9	12.5	12.9	13.5	12.7	9.0	12.6	11.7	12.6	12.6	12.7	12.5	12.6	
05.Haz.02	20.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	21.0	20.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	
13.Haz.02	22.1	22.0	19.0	22.0	21.0	21.0	21.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	22.0	21.0	21.0	21.0	21.0	22.0	22.0	
19.Haz.02	21.2	19.2	23.0	20.5	20.3	13.9	20.1	20.4	20.6	20.7	20.7	20.7	20.8	20.8	20.8	20.8	20.6	20.6	20.8	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	

Tablo A.3: Ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (mg/L)

Çözünmüş Oksijen	Giriş mg/L	YAS Sulakalan Sistemleri													SYS Sulakalan Sistemleri								YAS	SYS
		Çıkış mg/L													Çıkış mg/L				Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	20	21	21	18	19
Ölçüm Tarihi																								
30.Eyl.01	6.4	5.5	3.6	4.5	3.5	6.5	6.0	8.5	9.7	6.5			8.5				5.4		4.3	6.0	6.0	7.6	10.2	8.8
18.Eki.01	8.0	8.0	4.5	5.1	5.9	8.5	7.0	9.6	10.1	10.5			7.0				5.0		5.9	6.6	6.6	8.6	9.6	10.1
25.Eki.01	8.1	6.1	7.2	8.4	10.3	9.3	7.0	9.7	8.4	11.5			11.3				6.0		8.0	7.8	7.8	9.7	12.6	14.5
01.Kas.01	10.2	9.6	7.5	7.9	7.0	15.0	22.0	10.0	10.6	10.1			10.2				9.4		8.0	9.6	9.6	11.9	15.8	17.4
06.Kas.01	8.1	6.9	6.1	4.9	4.1	11.8	10.1	9.2	7.6	5.9			10.7				7.4		5.5	6.8	6.8	10.7	9.1	9.6
08.Kas.01	6.5	9.0	6.2	5.3	4.1	11.5	12.5	16.4	8.6	11.3			11.5				8.0		6.2	5.7	5.7	13.7	13.5	12.9
13.Kas.01	7.2	8.1	6.7	9.6	5.5	8.2	1.0	10.7	11.3	10.5			9.7				8.0		7.5	7.5	7.5	11.6	18.9	12.6
22.Kas.01	7.9	13.3	12.3	7.8	9.5	11.1	10.4	14.6	12.8	14.2			9.7				10.9		10.7	11.3	11.3	15.6	12.4	20.4
04.Ara.01	9.1	12.8	12.3	11.8	9.3	9.4	9.1	11.4	11.8	11.1			13.0				8.8		11.6	8.8	8.8	13.0	11.5	13.5
11.Ara.01	11.8	15.2	12.6	11.9	11.7	13.1	16.3	13.4	14.5	15.4			12.9				11.7		12.9	12.2	12.2	17.8	12.9	15.9
13.Ara.01	10.5	12.8	12.0	11.1	11.6	12.1	12.4	12.4	12.3	12.5			12.6				11.5		11.9	11.9	11.9	13.6	11.7	15.7
13.Şub.02	10.4	9.2	10.3	7.8	8.0	11.4	11.9	14.1	13.9	12.8	15.9	15.9	15.2	14.4	17.6	14.5	8.5	12.7	8.8	10.8	10.8	13.4	10.8	15.8
06.Mar.02	8.8	6.1	7.2	6.8	5.3	4.8	4.9	6.9	8.3	6.7	8.6	13.9	7.6	13.8	12.3	10.1	6.4	7.8	6.4	7.6	7.6	9.5	9.5	14.5
13.Mar.02	8.2	8.7	9.5	9.0	8.6	9.2	10.9	8.3	8.5	12.9	7.3	8.0	8.5	8.2	12.3	12.9	10.4	13.8	9.0	11.3	11.3	12.2	10.8	13.9
20.Mar.02	8.6	7.3	6.2	8.8	9.0	5.1	6.4	7.1	6.5	8.2	7.0	7.0	7.0	11.9	9.3	6.9	8.0	5.6	7.8	10.9	10.9	12.2	14.8	10.1
27.Mar.02	11.4	8.4	8.1	8.9	9.6	9.5	7.5	10.6	10.0	9.8	10.0	8.3	10.3	9.5	11.9	18.1	8.6	11.2	8.8	9.8	9.8	12.1	7.3	16.9
03.Nis.02	10.6	9.3	5.4	6.9	7.8	8.3	6.8	7.6	8.2	8.3	7.2	6.3	7.6	7.4	9.9	11.8	8.0	10.6	7.4	9.0	9.0	10.2	8.0	13.6
10.Nis.02	10.8	9.0	7.8	7.9	6.2	8.7	6.5	9.4	8.3	8.9	10.3	7.3	9.0	8.9	9.3	12.5	7.1	10.0	7.7	12.5	12.5	15.3	8.1	16.4
05.Haz.02	13.8	10.1	11.2	10.0	9.8	9.9	8.7	8.9	9.1	8.6	8.3	9.8	10.2	10.5	9.9	8.2	17.9	8.5	10.3	8.7	8.7	8.3	10.2	11.4
13.Haz.02	7.2	5.3	4.6	4.0	6.8	5.8	4.0	5.1	6.5	4.5	4.3	4.6	4.7	5.0	6.5	5.3	4.3	6.8	5.2	5.8	5.8	5.8	4.6	6.8
19.Haz.02	8.6	5.4	5.7	4.8	5.9	5.2	5.0	5.3	5.8	5.0	4.9	5.5	5.6	6.3	6.5	6.7	5.7	8.2	5.5	7.5	7.5	8.6	5.6	12.7

Tablo A.4: Ortalama TKN konsantrasyonları (mg/L)

TKN		YAS Sulakalan Sistemleri													SYS Sulakalan Sistemleri								YAS	SYS
																							Şahit	Şahit
		Giriş	Çıkış													Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış	Çıkış
Ölçüm Tarihi	mg/L	mg/L													mg/L									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	20	21	21	18	19
30.Eyl.01	1.55	0.90	0.96	0.95	0.88	0.67	0.60	0.78	0.80	0.94			0.82				0.37		0.9	0.23	0.2	0.12	0.98	1.10
18.Eki.01	3.60	0.98	0.42	0.56	0.84	1.56	1.45	1.98	1.84	1.42			1.35				0.70		0.7	0.16	0.2	0.14	2.30	2.40
25.Eki.01	2.20	0.84	0.70	0.42	0.30	0.10	0.02	0.12	0.08	0.06			0.04				0.50		0.6	0.16	0.2	0.14	1.26	1.68
01.Kas.01	1.40	0.30	0.42	0.30	0.30	0.30	0.56	0.30	0.56	0.42			0.30				0.60		0.3	0.26	0.3	0.14	0.56	1.20
06.Kas.01	3.90	0.95	1.10	1.10	0.56	0.90	0.10	1.10	0.84	0.32			0.20				1.90		0.9	0.50	0.5	0.14	2.20	2.30
08.Kas.01	3.08	0.56	0.08	0.14	0.19	0.06	0.39	0.19	0.06	0.14			0.18				1.60		0.2	0.18	0.2	0.12	0.90	1.70
13.Kas.01	2.10	1.00	0.75	0.16	0.56	0.06	0.06	0.40	0.13	0.06			0.07				0.80		0.6	0.24	0.2	0.12	0.72	1.20
22.Kas.01	2.98	0.97	0.70	1.40	0.30	0.42	0.70	0.40	0.40	0.40			0.40				2.30		0.8	0.35	0.4	0.22	2.00	1.80
04.Ara.01	1.20	0.30	1.10	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.70			0.30				0.85		0.9	0.56	0.6	0.41	1.00	0.70
11.Ara.01	1.70	0.70	1.40	0.30	1.30	0.80	0.30	0.30	0.42	0.70			0.30				0.98		0.9	0.88	0.9	0.39	1.30	1.80
13.Ara.01	1.84	1.00	0.42	0.30	0.70	1.20	0.30	0.70	0.30	0.11			0.16				1.10		0.6	0.45	0.5	0.42	0.30	1.30
13.Şub.02	0.22	0.08	0.06	0.06	0.06	0.09	0.12	0.06	0.06	0.06	0.07	0.03	0.05	0.10	0.08	0.11	0.16	0.20	0.1	0.05	0.1	0.05	0.11	0.21
06.Mar.02	0.39	0.13	0.15	0.17	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.05	0.3	0.4	0.06	0.04	0.04	0.07	0.04	0.31	0.1	0.09	0.1	0.04	0.33	0.29
13.Mar.02	0.22	0.11	0.14	0.05	0.07	0.09	0.15	0.05	0.13	0.13	0.1	0.1	0.09	0.05	0.13	0.15	0.04	0.14	0.1	0.05	0.1	0.03	0.18	0.17
20.Mar.02	1.90	0.64	0.51	0.72	1.15	0.08	0.36	0.35	0.07	0.08	0.1	0.6	0.05	0.08	0.08	0.10	0.20	1.40	0.8	0.60	0.6	0.21	0.81	1.60
27.Mar.02	1.90	0.08	0.83	0.90	1.20	0.98	1.30	1.23	1.43	1.32	1.4	1.3	1.35	1.32	1.60	1.57	0.67	0.82	0.8	0.42	0.4	0.25	1.21	1.18
03.Nis.02	0.21	0.03	0.04	0.07	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.0	0.0	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.1	0.04	0.0	0.03	0.07	0.16
10.Nis.02	0.21	0.07	0.09	0.07	0.06	0.05	0.02	0.04	0.06	0.05	0.0	0.1	0.09	0.04	0.04	0.07	0.17	0.16	0.1	0.07	0.1	0.06	0.08	0.14
05.Haz.02	1.60	0.42	0.48	0.54	0.54	0.43	0.32	0.43	0.32	0.54	0.2	0.5	0.54	0.18	0.27	0.32	0.40	0.30	0.5	0.47	0.5	0.41	1.20	1.07
13.Haz.02	0.05	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.04	0.05	0.0	0.1	0.04	0.03	0.02	0.05	0.04	0.05	0.0	0.03	0.0	0.03	0.04	0.05
19.Haz.02	0.21	0.13	0.08	0.02	0.08	0.07	0.09	0.09	0.07	0.08	0.1	0.1	0.09	0.03	0.06	0.09	0.027	0.09	0.1	0.07	0.1	0.07	0.13	0.16

Tablo A.5: Ortalama NH₄⁺-N konsantrasyonları (mg/L)

NH ₄ -N		YAS Sulakalan Sistemleri													SYS Sulakalan Sistemleri								YAS	SYS	
																			Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış	
	Giriş	Çıkış													Çıkış				Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış	
	mg/L	mg/L													mg/L				mg/L						
Ölçüm Tarihi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	20	21	21	18	19	
30.Eyl.01	1.36	0.87	0.94	0.90	0.83	0.64	0.55	0.74	0.78	0.93			0.79				0.33		0.89	0.20	0.20	0.12	0.90	0.93	
18.Eki.01	3.40	0.90	0.40	0.50	0.81	1.50	1.41	1.93	1.80	1.39			1.31				0.67		0.65	0.14	0.14	0.14	2.20	2.24	
25.Eki.01	2.10	0.81	0.67	0.39	0.25	0.07	0.01	0.10	0.07	0.05			0.03				0.47		0.53	0.14	0.14	0.14	1.20	1.60	
01.Kas.01	1.20	0.20	0.28	0.21	0.21	0.21	0.51	0.21	0.48	0.29			0.21				0.54		0.23	0.16	0.16	0.14	0.38	1.05	
06.Kas.01	3.00	0.64	0.75	0.76	0.39	0.69	0.09	0.77	0.57	0.17			0.14				1.70		0.64	0.41	0.41	0.11	1.80	1.60	
08.Kas.01	3.00	0.54	0.06	0.10	0.17	0.04	0.39	0.17	0.04	0.10			0.14				1.56		0.22	0.16	0.16	0.11	0.88	1.65	
13.Kas.01	2.00	0.96	0.69	0.10	0.51	0.04	0.02	0.36	0.10	0.05			0.03				0.75		0.57	0.21	0.21	0.11	0.67	1.12	
22.Kas.01	2.70	0.80	0.52	1.30	0.20	0.36	0.54	0.31	0.20	0.25			0.33				2.10		0.71	0.32	0.32	0.20	1.87	1.60	
04.Ara.01	1.00	0.20	0.97	0.90	0.90	0.21	0.23	0.24	0.21	0.51			0.21				0.73		0.74	0.50	0.50	0.37	0.51	0.50	
11.Ara.01	1.60	0.63	1.32	0.21	1.22	0.50	0.23	0.22	0.31	0.52			0.21				0.90		0.85	0.82	0.82	0.36	1.00	1.40	
13.Ara.01	1.56	0.95	0.33	0.22	0.55	1.00	0.21	0.53	0.24	0.01			0.11				0.88		0.51	0.42	0.42	0.39	0.22	1.10	
13.Şub.02	0.20	0.07	0.05	0.05	0.05	0.08	0.11	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.04	0.09	0.08	0.10	0.15	0.19	0.05	0.05	0.05	0.04	0.09	0.19	
06.Mar.02	0.13	0.10	0.11	0.10	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.10	0.09	0.07	0.07	0.03	0.11	0.11	
13.Mar.02	0.14	0.10	0.12	0.05	0.04	0.05	0.12	0.04	0.11	0.10	0.05	0.10	0.06	0.05	0.11	0.10	0.04	0.10	0.08	0.05	0.05	0.03	0.10	0.10	
20.Mar.02	0.98	0.57	0.28	0.70	0.80	0.07	0.30	0.06	0.03	0.06	0.07	0.47	0.02	0.07	0.07	0.09	0.17	0.70	0.59	0.49	0.49	0.16	0.58	1.00	
27.Mar.02	1.80	0.08	0.76	0.84	1.11	0.95	1.25	1.18	1.35	1.26	1.29	1.28	1.29	1.28	1.55	1.47	0.62	0.76	0.70	0.40	0.40	0.24	1.18	1.10	
03.Nis.02	0.13	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.10	
10.Nis.02	0.14	0.03	0.07	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03	0.04	0.08	0.03	0.03	0.02	0.11	0.10	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	
05.Haz.02	1.40	0.34	0.48	0.52	0.46	0.37	0.29	0.39	0.28	0.45	0.16	0.42	0.46	0.16	0.25	0.28	0.21	0.22	0.45	0.43	0.43	0.38	1.04	0.90	
13.Haz.02	0.05	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04	0.01	0.03	0.04	0.04	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	
19.Haz.02	0.14	0.10	0.07	0.01	0.03	0.03	0.08	0.02	0.05	0.02	0.08	0.08	0.07	0.03	0.06	0.06	0.02	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.10	

Tablo A.6: Ortalama NO₃⁻-N konsantrasyonları (mg/L)

NO ₃ -N		YAS Sulakalan Sistemleri													SYS Sulakalan Sistemleri								YAS	SYS
	Giriş mg/L	Çıkış mg/L													Çıkış mg/L				Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış
Ölçüm Tarihi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	20	21	21	18	19
30.Eyl.01	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5			0.5				0.7		0.5	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3
18.Eki.01	1.1	1.0	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9			0.9				0.7		0.9	0.3	0.3	0.0	1.0	0.4
25.Eki.01	6.7	0.7	3.4	1.0	3.6	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5			0.9				0.5		2.2	0.5	0.5	0.1	9.0	3.3
01.Kas.01	3.9	0.4	3.4	3.8	2.3	3.6	1.1	1.1	1.1	1.6			1.3				1.3		2.5	1.0	1.0	1.0	7.9	5.0
06.Kas.01	8.6	0.9	5.3	3.8	5.5	3.2	4.3	7.2	6.5	3.8			2.3				2.1		3.9	3.5	3.5	1.0	7.7	9.5
08.Kas.01	8.6	6.9	4.4	3.1	5.6	5.0	5.3	5.2	5.0	4.5			4.0				2.5		5.0	4.0	4.0	0.7	7.7	7.7
13.Kas.01	7.3	6.9	3.4	3.1	4.4	5.0	5.3	5.2	5.0	4.5			3.8				3.3		4.4	2.3	2.3	0.7	7.7	5.5
22.Kas.01	10.8	10.5	9.9	6.9	6.1	7.0	3.4	7.9	6.7	11.0			6.3				5.6		8.3	2.0	2.0	1.0	6.0	8.0
04.Ara.01	12.2	4.6	12.0	12.0	8.5	5.3	8.8	1.6	5.8	3.3			6.9				7.6		9.3	3.0	3.0	1.6	7.3	11.0
11.Ara.01	11.3	6.1	9.0	9.0	8.1	8.8	6.3	8.8	8.4	8.4			6.4				6.6		8.1	6.0	6.0	3.8	9.3	9.0
13.Ara.01	8.6	8.4	4.3	6.5	8.6	7.9	5.2	8.4	7.7	6.4			6.1				3.5		6.9	6.0	6.0	3.3	4.4	10.2
13.Şub.02	13.4	13.1	13.3	12.9	5.2	11.5	8.8	12.2	9.0	7.5	11.7	2.1	4.2	9.3	5.4	4.0	6.6	6.1	11.1	10.0	10.0	9.0	9.7	11.7
06.Mar.02	15.5	11.5	10.8	10.8	7.8	11.0	9.1	10.4	10.6	7.5	7.2	2.1	10.8	10.5	2.6	10.6	12.0	8.7	10.2	8.0	8.0	4.0	11.0	11.4
13.Mar.02	10.4	8.2	10.4	6.6	4.1	8.2	3.0	1.4	5.1	5.5	7.2	4.4	10.7	7.4	1.6	6.2	3.1	2.9	7.3	3.0	3.0	2.0	5.9	8.0
20.Mar.02	13.6	7.9	12.1	9.3	11.8	11.0	8.7	10.3	7.8	3.0	7.2	11.2	3.5	11.0	2.6	1.2	3.1	5.3	10.3	5.0	5.0	3.3	6.5	8.3
27.Mar.02	4.0	4.2	2.5	2.8	3.0	3.9	3.0	2.7	3.7	3.5	4.4	3.0	2.2	4.0	3.4	3.3	2.2	4.0	3.1	3.0	3.0	2.1	4.1	2.5
03.Nis.02	8.6	0.3	5.4	3.9	7.8	7.2	7.0	8.4	6.5	7.7	6.4	5.5	5.5	2.8	6.6	3.8	7.8	0.7	4.4	4.1	4.1	2.9	6.0	3.9
10.Nis.02	8.2	4.8	4.7	3.9	5.2	8.1	7.5	7.0	7.3	8.2	6.1	3.8	5.6	2.9	5.1	2.8	7.8	0.8	4.7	4.0	4.0	2.7	6.6	3.5
05.Haz.02	5.8	3.6	5.2	3.9	4.6	5.6	5.4	5.3	3.7	5.0	4.8	0.1	1.6	0.0	0.3	0.5	3.4	1.8	4.3	3.5	3.5	2.2	4.1	4.2
13.Haz.02	6.0	3.7	5.0	5.7	4.8	5.9	5.5	4.3	3.8	5.3	5.1	1.2	5.1	0.3	0.3	0.6	5.9	1.6	4.8	4.7	4.7	3.0	5.4	5.0
19.Haz.02	8.9	2.8	5.0	5.0	6.9	8.8	8.6	7.7	7.5	8.3	1.6	1.6	0.5	1.2	1.2	0.8	7.6	3.3	4.9	4.0	4.0	2.3	7.4	7.9

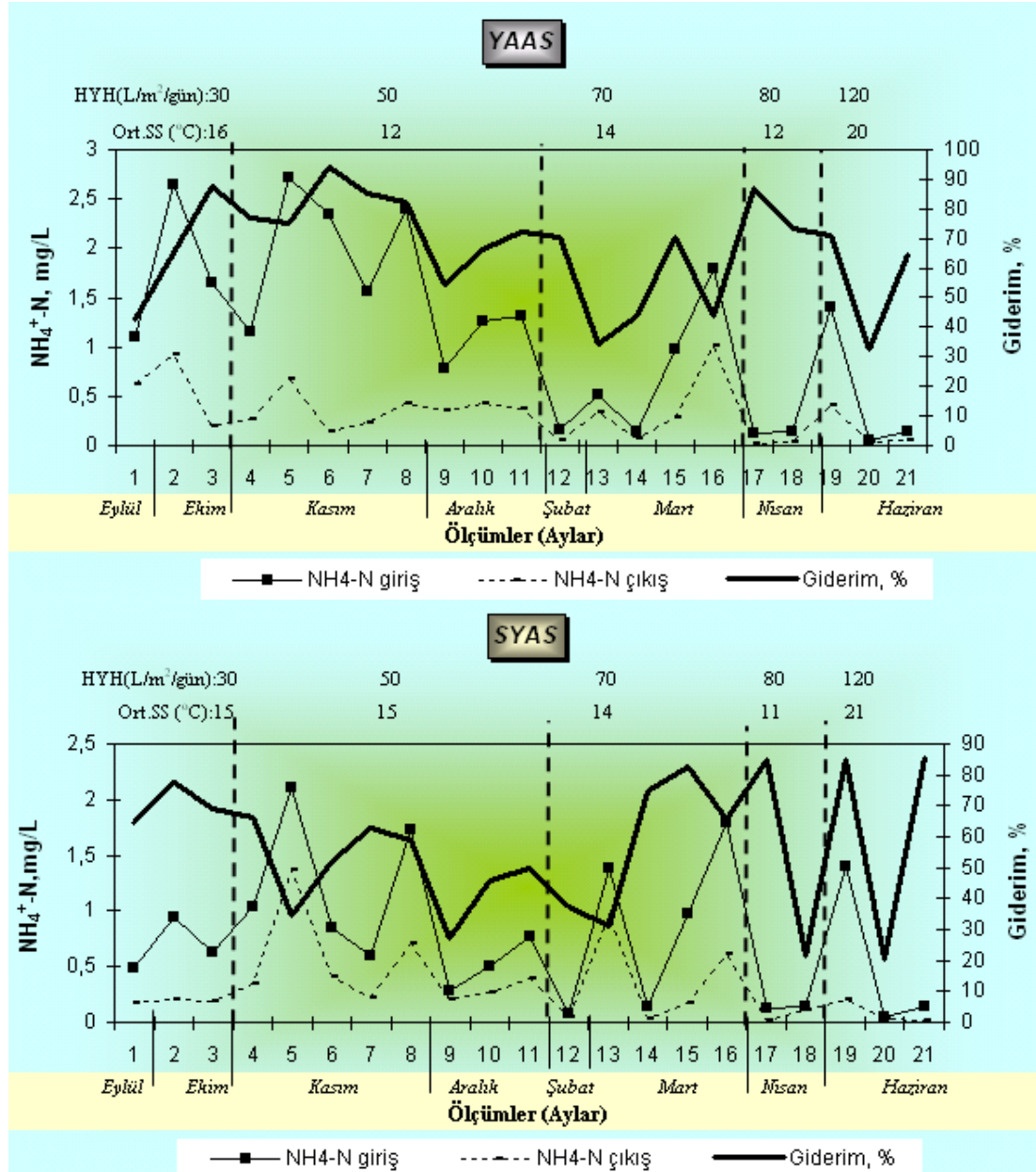
Tablo A.7: Ortalama organik-N konsantrasyonları (mg/L)

Org. Azot		YAS Sulakalan Sistemleri													SYS Sulakalan Sistemleri								YAS	SYS
	Giriş	Çıkış													Çıkış				Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Şahit	Şahit
																							Çıkış	Çıkış
		mg/L																						Çıkış
Ölçüm Tarihi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	20	21	21	18	19
30.E.01	0.19	0.030	0.020	0.05	0.05	0.04	0.05	0.010	0.020	0.060			0.130				0.040		0.04	0.030	0.030	0.001	0.03	0.10
18.E.01	0.20	0.080	0.020	0.06	0.03	0.03	0.04	0.014	0.068	0.030			0.040				0.030		0.05	0.020	0.020	0.002	0.04	0.08
25.E.01	0.10	0.030	0.030	0.03	0.05	0.03	0.01	0.020	0.010	0.008			0.012				0.030		0.03	0.010	0.010	0.001	0.06	0.08
01.K.01	0.20	0.100	0.140	0.09	0.09	0.09	0.05	0.090	0.080	0.130			0.090				0.059		0.11	0.030	0.030	0.001	0.18	0.10
06.K.01	0.90	0.310	0.350	0.34	0.17	0.21	0.01	0.330	0.270	0.150			0.700				0.110		0.29	0.086	0.086	0.030	0.33	0.70
08.K.01	0.08	0.060	0.027	0.05	0.02	0.02	0.00	0.021	0.016	0.045			0.040				0.040		0.04	0.100	0.100	0.002	0.02	0.03
13.K.01	0.10	0.040	0.060	0.06	0.05	0.02	0.04	0.040	0.031	0.006			0.041				0.050		0.05	0.010	0.010	0.050	0.05	0.08
22.K.01	0.28	0.070	0.180	0.10	0.10	0.06	0.16	0.090	0.040	0.100			0.070				0.190		0.11	0.040	0.040	0.080	0.02	0.12
04.A.01	0.10	0.100	0.300	0.10	0.08	0.09	0.07	0.060	0.090	0.190			0.090				0.040		0.15	0.160	0.160	0.160	0.49	0.20
11.A.01	0.10	0.170	0.300	0.09	0.08	0.06	0.07	0.080	0.110	0.180			0.090				0.200		0.16	0.157	0.157	0.130	0.30	0.19
13.A.01	0.28	0.050	0.090	0.08	0.15	0.06	0.09	0.170	0.060	0.100			0.050				0.040		0.09	0.060	0.060	0.029	0.08	0.22
13.Ş.02	0.02	0.007	0.006	0.01	0.01	0.00	0.01	0.009	0.008	0.014	0.02	0.006	0.012	0.008	0.018	0.05	0.007	0.03	0.01	0.015	0.015	0.008	0.02	0.02
06.M.02	0.26	0.030	0.040	0.07	0.02	0.02	0.03	0.020	0.011	0.016	0.29	0.348	0.029	0.009	0.003	0.03	0.005	0.27	0.04	0.006	0.006	0.003	0.22	0.18
13.M.02	0.08	0.010	0.020	0.01	0.03	0.05	0.04	0.006	0.022	0.032	0.04	0.044	0.008	0.006	0.020	0.05	0.006	0.01	0.02	0.000	0.000	0.001	0.08	0.02
20.M.02	0.92	0.070	0.230	0.02	0.35	0.01	0.06	0.290	0.034	0.012	0.01	0.110	0.039	0.010	0.007	0.01	0.029	0.49	0.17	0.110	0.110	0.016	0.23	0.09
27.M.02	0.10	0.005	0.010	0.01	0.01	0.01	0.03	0.023	0.028	0.007	0.01	0.001	0.005	0.004	0.009	0.01	0.009	0.01	0.01	0.019	0.019	0.013	0.02	0.04
03.N.02	0.08	0.018	0.007	0.05	0.05	0.02	0.02	0.018	0.019	0.023	0.01	0.019	0.005	0.014	0.012	0.01	0.030	0.03	0.03	0.025	0.025	0.014	0.04	0.04
10.N.02	0.07	0.040	0.022	0.05	0.04	0.00	0.00	0.020	0.035	0.004	0.01	0.030	0.010	0.012	0.009	0.05	0.007	0.11	0.04	0.030	0.030	0.009	0.05	0.06
05.H.02	0.20	0.080	0.002	0.02	0.08	0.06	0.03	0.042	0.036	0.086	0.03	0.078	0.074	0.022	0.018	0.04	0.190	0.02	0.04	0.510	0.510	0.479	0.16	0.10
13.H.02	0.01	0.004	0.002	0.04	0.00	0.01	0.01	0.003	0.003	0.003	0.03	0.035	0.005	0.006	0.007	0.01	0.003	0.01	0.01	0.013	0.013	0.011	0.01	0.01
19.H.02	0.08	0.026	0.012	0.01	0.05	0.04	0.01	0.067	0.017	0.057	0.04	0.008	0.016	0.005	0.004	0.02	0.007	-0.04	0.02	0.001	0.001	0.005	0.06	0.06

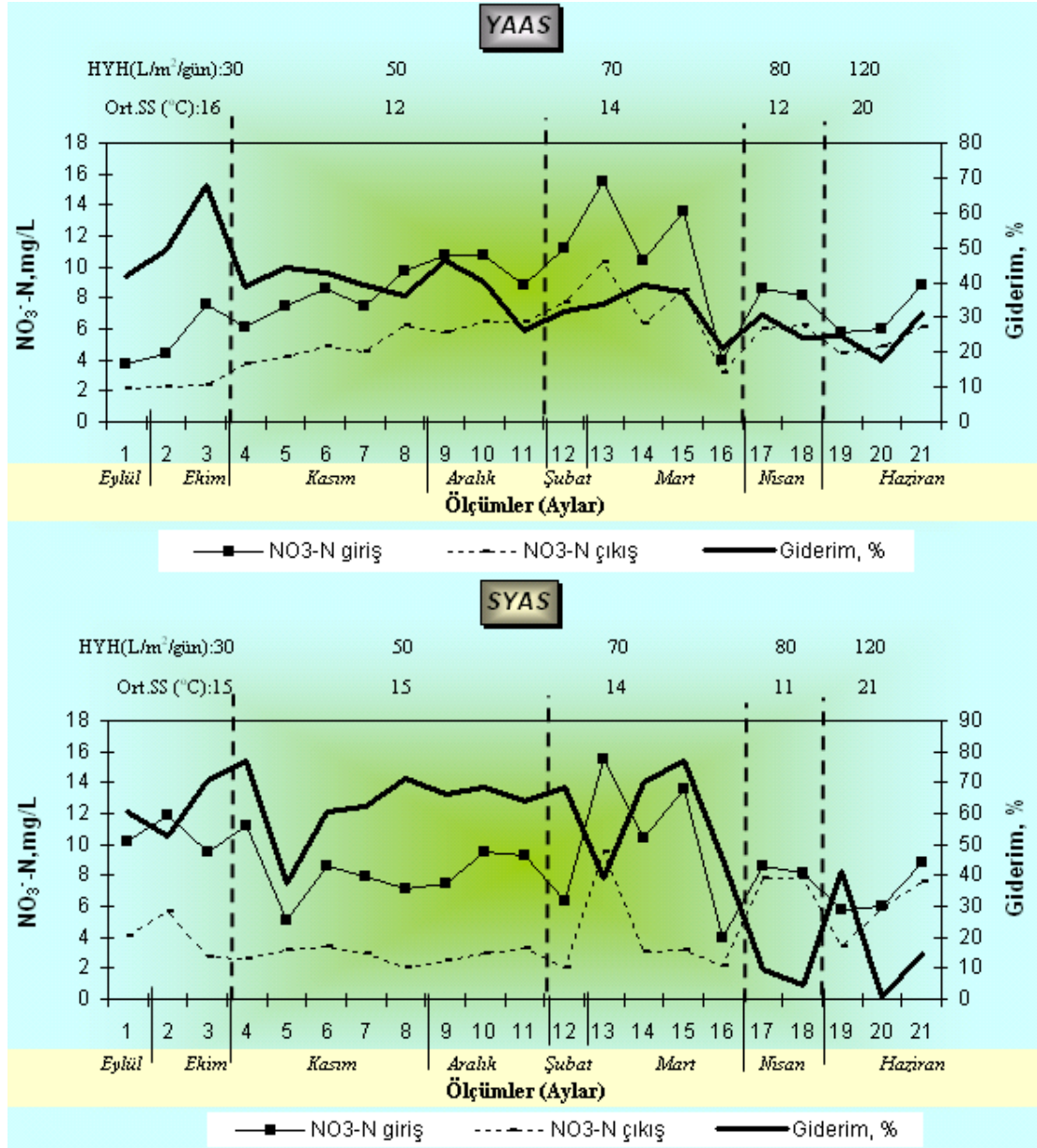
Tablo A.8: Ortalama TN konsantrasyonları (mg/L)

TN		YAS Sulakalan Sistemleri													SYS Sulakalan Sistemleri								YAS	SYS	
	Giriş	Çıkış													Çıkış				Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Çıkış	Çıkış	
		mg/L	mg/L													mg/L				mg/L					
Ölçüm Tarihi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	20	20	21	21	18	19	
30.Eyl.01	2.3	1.4	1.5	1.4	1.4	1.2	1.1	1.3	1.3	1.5			1.3				1.1		1.4	0.5	0.5	0.2	1.3	1.4	
18.Eki.01	5.2	2.0	1.3	1.4	1.8	2.5	2.4	2.9	2.9	2.4			2.3				1.4		1.6	0.4	0.4	0.2	3.3	2.8	
25.Eki.01	9.4	1.5	4.1	1.5	3.9	0.7	0.6	0.8	0.6	0.6			1.0				1.0		2.7	0.7	0.7	0.2	10.3	5.0	
01.Kas.01	5.8	0.7	3.8	4.1	2.6	3.9	1.7	1.4	1.7	2.0			1.6				1.9		2.8	1.3	1.3	1.2	8.5	6.2	
06.Kas.01	13.0	1.8	6.4	4.9	6.1	4.1	4.4	8.3	7.4	8.8			7.8				4.0		4.8	2.0	2.0	1.2	9.9	11.8	
08.Kas.01	12.2	7.5	4.5	3.2	5.8	5.0	5.7	5.4	5.1	4.7			4.2				4.1		5.2	3.0	3.0	0.8	8.6	9.4	
13.Kas.01	9.9	7.9	7.5	3.3	5.0	5.0	5.4	5.6	5.1	4.6			3.9				4.1		5.9	2.5	2.5	0.8	8.4	6.7	
22.Kas.01	14.3	11.5	10.6	8.3	6.4	7.4	4.1	8.3	7.1	11.4			6.7				8.0		9.2	2.4	2.4	1.2	8.0	9.8	
04.Ara.01	13.9	4.9	13.1	13.0	9.5	5.6	9.1	2.0	6.1	4.0			7.2				8.4		10.1	3.6	3.6	2.0	8.3	11.7	
11.Ara.01	13.5	6.8	10.4	9.3	9.4	9.6	6.6	9.2	8.8	9.1			6.7				7.6		9.0	6.9	6.9	4.2	10.6	10.8	
13.Ara.01	10.9	9.4	4.7	6.9	9.3	9.1	5.5	9.3	8.1	6.5			6.3				4.6		7.6	6.5	6.5	3.7	4.7	11.5	
13.Şub.02	14.1	13.2	13.4	12.9	5.3	11.6	8.9	12.3	9.1	7.5	11.8	2.1	4.3	9.4	5.5	4.1	6.8	6.3	11.2	10.1	10.1	9.1	9.8	12.0	
06.Mar.02	16.4	11.6	11.0	11.0	7.9	11.1	9.1	10.5	10.7	7.5	7.5	2.5	10.9	10.6	2.6	10.7	12.0	9.0	10.4	8.1	8.1	4.1	11.3	11.7	
13.Mar.02	11.2	8.3	10.5	6.7	4.2	8.3	3.2	1.5	5.3	5.6	7.3	4.6	10.8	7.4	1.7	6.3	3.1	3.0	7.4	3.1	3.1	2.0	6.1	8.2	
20.Mar.02	16.0	8.6	12.6	10.0	12.9	11.1	9.1	10.7	7.8	3.1	7.2	11.7	3.6	11.0	2.7	1.3	3.3	6.7	11.0	5.6	5.6	3.5	7.3	9.9	
27.Mar.02	6.4	4.3	3.3	3.7	4.2	4.9	4.3	3.9	5.1	4.9	5.8	4.3	3.6	5.4	5.0	4.9	2.8	4.8	3.9	3.4	3.4	2.4	5.3	3.7	
03.Nis.02	9.3	0.4	5.4	4.0	7.9	7.3	7.1	8.5	6.6	7.7	6.4	5.5	5.5	2.8	6.7	3.9	7.8	0.7	4.4	4.2	4.2	2.9	6.1	4.1	
10.Nis.02	8.9	4.9	4.8	4.0	5.3	8.2	7.5	7.1	7.4	8.2	6.1	3.9	5.7	3.0	5.1	2.9	8.0	1.0	4.7	4.1	4.1	2.7	6.7	3.7	
05.Haz.02	7.9	4.0	5.7	4.4	5.1	6.0	5.7	5.8	4.0	5.5	5.0	0.6	2.2	0.2	0.6	0.8	3.8	2.1	4.8	4.0	4.0	2.6	5.3	5.3	
13.Haz.02	6.5	3.7	5.1	5.7	4.9	5.9	5.5	4.4	3.8	5.3	5.2	1.2	5.2	0.4	0.4	0.7	6.0	1.7	4.9	4.7	4.7	3.0	5.4	5.1	

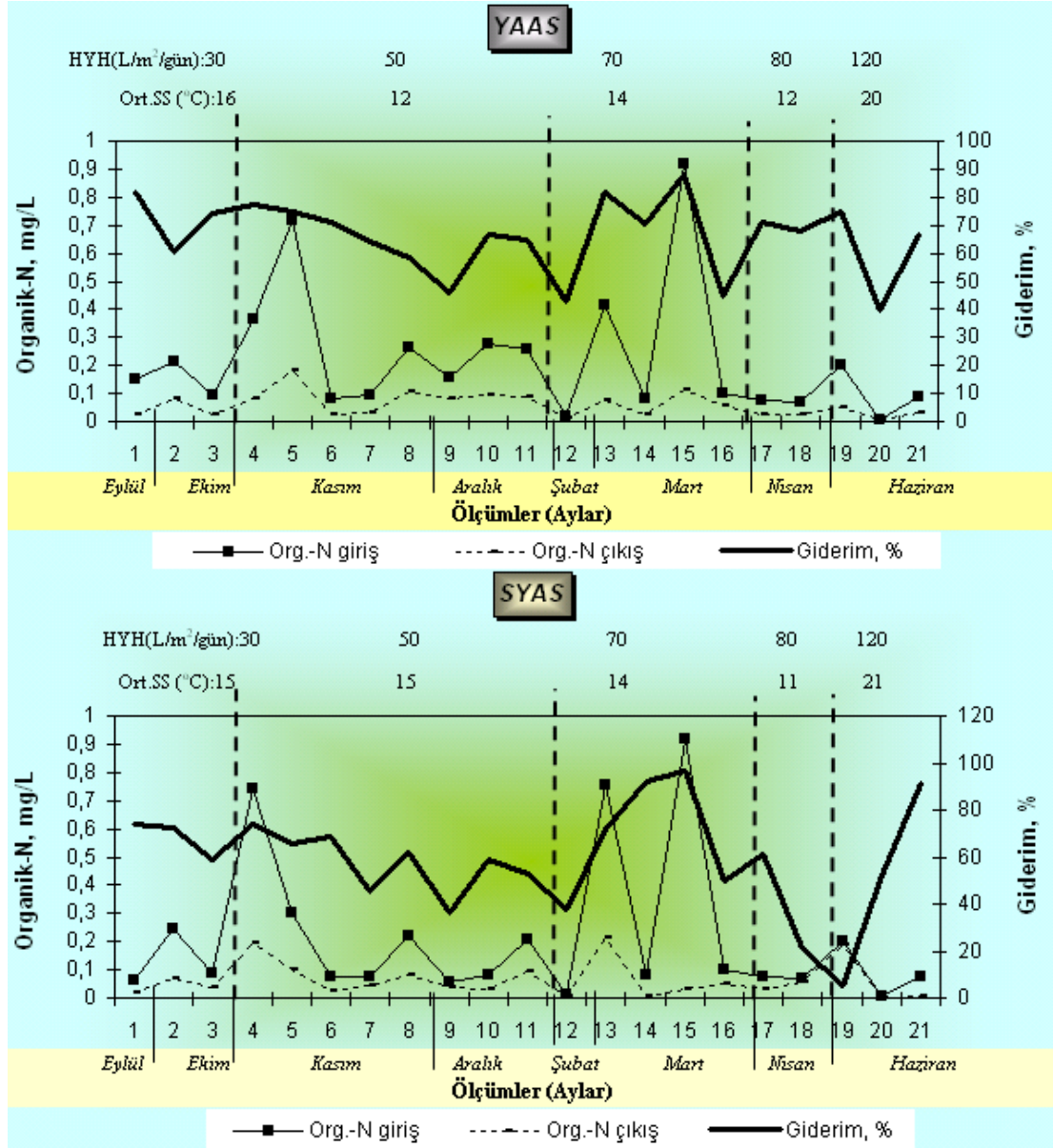
EK B. GİRİŞ VE ÇIKIŞ AZOT KONSANTRASYONLARININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ



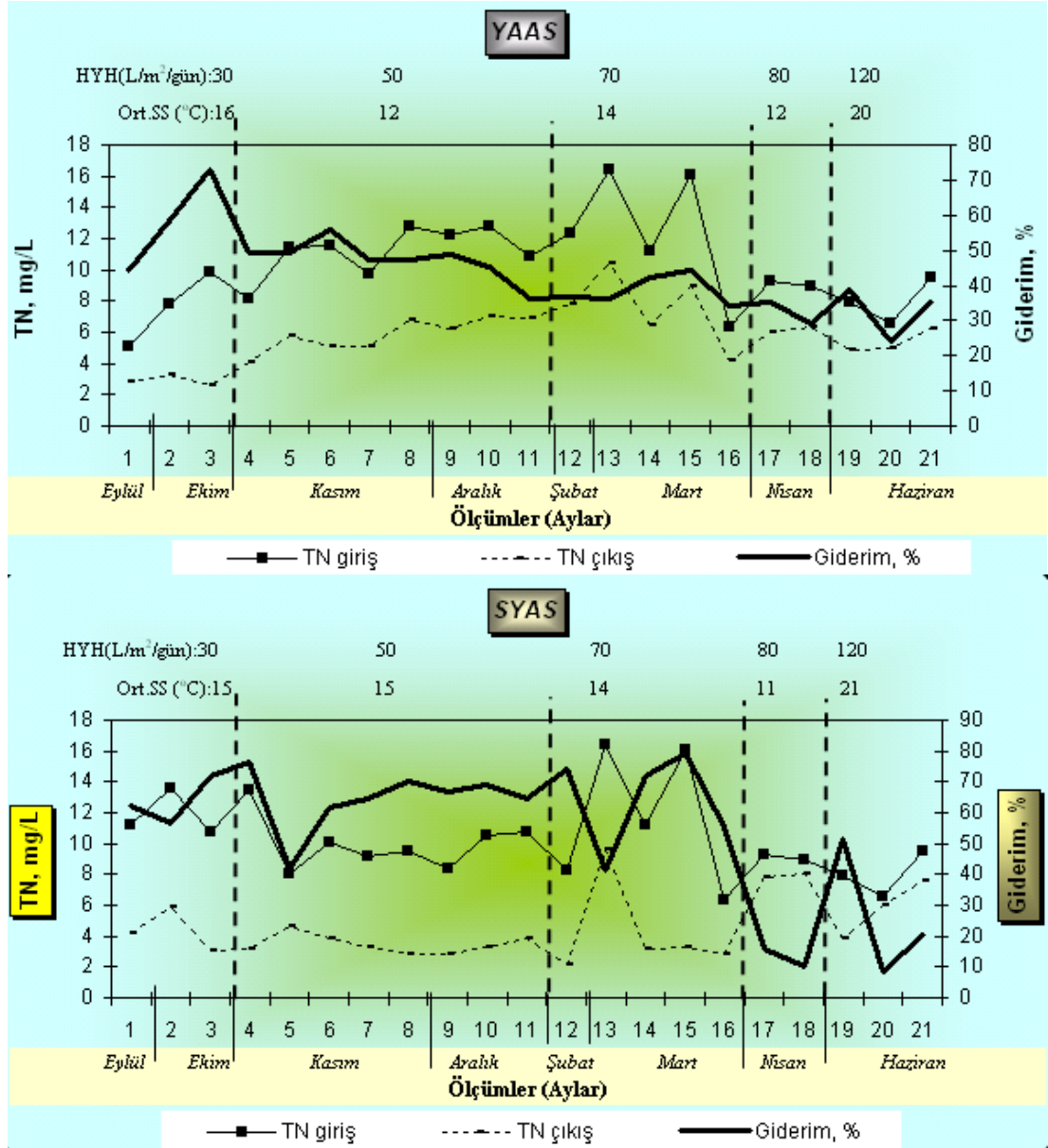
Şekil B.1: NH_4^+-N



Şekil B.2: NO_3^- -N



Şekil B.3: Organik-N



Şekil B.4: Toplam-N

**EK C. BİTKİLERİN KIŞ PERİYODUNDAKİ GELİŞİMLERİ İLE İLGİLİ
GÖRÜNTÜLERİ**



Şekil C.1: Canna



Şekil C.2: Canna, Cyperus, Typhia ve Juncus



Şekil C.3: Juncus



Şekil C.4: *Typhya latifolia*



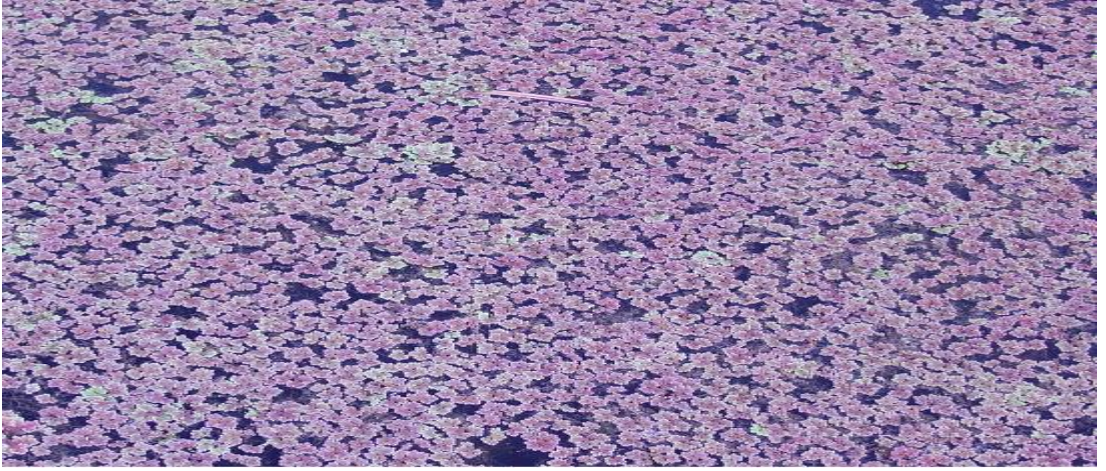
Şekil C.5: *Phragmites communis*



Şekil C.6: *Paspalum paspalodes*



Şekil C.7: *Iris foetidissima*



Şekil C.8: *Lemna minor*



Şekil C.9: Seri bağlı sistem

EK D. İSTATİSTİK TEST SONUÇLARI

Tablo D.1: Sabit hidrolik yük ve farklı sıcaklık aralıklarındaki (0-10 ve 10-25 °C) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları

Sistem:	SYAS						Sistem:	SYAS					
Parametre:	NH ₄ ⁺						Parametre:	NO ₃ ⁻					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık					
Sabitler:	Hidrolik Yük (80 L/m ² -gün)						Sabitler:	Hidrolik Yük (80 L/m ² -gün)					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	3	157,2	52,4	0,81703	0,31	9,28	Satırlar Arası	3	1047,3	349,1	0,26028	2,26	9,28
Sütunlar Arası	1	3375,5	3375,5	0,02059	20,18	10,13	Sütunlar Arası	1	2479,5	2479,5	0,0279	16,05	10,13
Hata (rest)	3	501,9	167,3				Hata (rest)	3	463,5	154,5			
Toplam	7	4034,6					Toplam	7	3990,3				
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						
Sistem:	SYAS						Sistem:	SYAS					
Parametre:	Organik Azot						Parametre:	Toplam Azot					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık					
Sabitler:	Hidrolik Yük (80 L/m ² -gün)						Sabitler:	Hidrolik Yük (80 L/m ² -gün)					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	3	1636,6	545,5	0,20996	2,80	9,28	Satırlar Arası	3	856,6	285,5	0,16477	3,51	9,28
Sütunlar Arası	1	3687,0	3687,0	0,02241	18,94	10,13	Sütunlar Arası	1	2303,4	2303,4	0,01295	28,34	10,13
Hata (rest)	3	584,0	194,7				Hata (rest)	3	243,8	81,3			
Toplam	7	5907,7					Toplam	7	3403,9				
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						
Sistem:	YAAS						Sistem:	YAAS					
Parametre:	NH ₄ ⁺						Parametre:	NH ₄ ⁺					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık					
Sabitler:	Hidrolik Yük (50 L/m ² -gün)						Sabitler:	Hidrolik Yük (80 L/m ² -gün)					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	9	1546,0	171,8	0,18637	1,85	3,18	Satırlar Arası	12	943,9	78,7	0,9721	0,31	2,69
Sütunlar Arası	1	1281,2	1281,2	0,00481	13,80	5,12	Sütunlar Arası	1	3703,7	3703,7	0,00232	14,81	4,75
Hata (rest)	9	835,4	92,8				Hata (rest)	12	3001,3	250,1			
Toplam	19	3662,5					Toplam	25	7648,9				
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						
Sistem:	YAAS						Sistem:	YAAS					
Parametre:	NO ₃ ⁻						Parametre:	NO ₃ ⁻					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık					
Sabitler:	Hidrolik Yük (50 L/m ² -gün)						Sabitler:	Hidrolik Yük (80 L/m ² -gün)					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	9	757,2	84,1	0,09073	2,54	3,18	Satırlar Arası	12	2093,2	174,4	0,5979	0,86	2,69
Sütunlar Arası	1	979,7	979,7	0,00041	29,56	5,12	Sütunlar Arası	1	2776,4	2776,4	0,00299	13,75	4,75
Hata (rest)	9	298,3	33,1				Hata (rest)	12	2422,8	201,9			
Toplam	19	2035,3					Toplam	25	7292,4				
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						

Sistem:	YAAS						Sistem:	YAAS					
Parametre:	Organik Azot						Parametre:	Organik Azot					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık					
Sabitler:	Hidrolik Yük (50 L/m ² -gün)						Sabitler:	Hidrolik Yük (80 L/m ² -gün)					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	9	1354,5	150,5	0,0807	2,66	3,18	Satırlar Arası	12	1550,5	129,2	0,62168	0,83	2,69
Sütunlar Arası	1	469,2	469,2	0,01821	8,29	5,12	Sütunlar Arası	1	4688,2	4688,2	0,00014	30,22	4,75
Hata (rest)	9	509,5	56,6				Hata (rest)	12	1861,5	155,1			
Toplam	19	2333,1					Toplam	25	8100,2				
Null Hipotezi (α:0,05) ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						
Sistem:	YAAS						Sistem:	YAAS					
Parametre:	Toplam Azot						Parametre:	Toplam Azot					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Sıcaklık					
Sabitler:	Hidrolik Yük (50 L/m ² -gün)						Sabitler:	Hidrolik Yük (80 L/m ² -gün)					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	9	589,6	65,5	0,05564	3,06	3,18	Satırlar Arası	12	1468,3	122,4	0,60785	0,85	2,69
Sütunlar Arası	1	1102,2	1102,2	5,2E-05	51,46	5,12	Sütunlar Arası	1	1905,4	1905,4	0,00339	13,25	4,75
Hata (rest)	9	192,8	21,4				Hata (rest)	12	1725,6	143,8			
Toplam	19	1884,5					Toplam	25	5099,3				
Null Hipotezi (α:0,05) ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Sıcaklık %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						

Tablo D.2: Sabit sıcaklık ve farklı hidrolik yüklerdeki (50 ve 80 L/m²/gün) varyans analiz (iki yönlü-ANOVA) sonuçları

Sistem:	YAAS						Sistem:	YAAS					
Parametre:	NH ₄ ⁺						Parametre:	NH ₄ ⁺					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Hidrolik Yük (50, 80 L/m ² -gün)						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Hidrolik Yük (50, 80 L/m ² -gün)					
Sabitler:	Sıcaklık						Sabitler:	Sıcaklık					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	9	688,9	76,5	0,98718	0,20	3,18	Satırlar Arası	9	777,9	86,4	0,10005	2,44	3,18
Sütunlar Arası	1	2001,1	2001,1	0,04744	5,26	5,12	Sütunlar Arası	1	1707,0	1707,0	6,7E-05	48,19	5,12
Hata (rest)	9	3421,2	380,1				Hata (rest)	9	318,8	35,4			
Toplam	19	6111,2					Toplam	19	2803,6				
Null Hipotezi (α:0,05) ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Hidrolik Yük %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Hidrolik Yük %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						
Sistem:	YAAS						Sistem:	YAAS					
Parametre:	NO ₃ ⁻						Parametre:	NO ₃ ⁻					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Hidrolik Yük (50, 80 L/m ² -gün)						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Hidrolik Yük (50, 80 L/m ² -gün)					
Sabitler:	Sıcaklık						Sabitler:	Sıcaklık					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	9	1234,2	137,1	0,53316	0,94	3,18	Satırlar Arası	9	1175,9	130,7	0,00304	7,51	3,18
Sütunlar Arası	1	759,9	759,9	0,04795	5,23	5,12	Sütunlar Arası	1	625,2	625,2	0,0002	35,94	5,12
Hata (rest)	9	1306,7	145,2				Hata (rest)	9	156,6	17,4			
Toplam	19	3300,8					Toplam	19	1957,7				
Null Hipotezi (α:0,05) ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Hidrolik Yük %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Hidrolik Yük %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						

Sistem:	YAAS						Sistem:	YAAS					
Parametre:	Organik Azot						Parametre:	Organik Azot					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Hidrolik Yük (50, 80 L/m2-gün)						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Hidrolik Yük (50, 80 L/m2-gün)					
Sabitler:	Sıcaklık						Sabitler:	Sıcaklık					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	9	2147,3	238,6	0,06687	2,86	3,18	Satırlar Arası	9	733,4	81,5	0,23278	1,65	3,18
Sütunlar Arası	1	714,7	714,7	0,01688	8,56	5,12	Sütunlar Arası	1	473,0	473,0	0,01277	9,60	5,12
Hata (rest)	9	751,6	83,5				Hata (rest)	9	443,7	49,3			
Toplam	19	3613,6					Toplam	19	1650,1				
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Hidrolik Yük %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Hidrolik Yük %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						
Sistem:	YAAS						Sistem:	YAAS					
Parametre:	Toplam Azot						Parametre:	Toplam Azot					
Değişkenler:	Bitki Türleri ve Hidrolik Yük (50, 80 L/m2-gün)						Değişkenler:	Bitki Türleri ve Hidrolik Yük (50, 80 L/m2-gün)					
Sabitler:	Sıcaklık						Sabitler:	Sıcaklık					
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	p	F	F_c 0,05
Satırlar Arası	9	1022,5	113,6	0,65567	0,76	3,18	Satırlar Arası	9	676,4	75,2	0,02539	4,01	3,18
Sütunlar Arası	1	1059,4	1059,4	0,02599	7,08	5,12	Sütunlar Arası	1	1197,6	1197,6	2,2E-05	63,83	5,12
Hata (rest)	9	1346,2	149,6				Hata (rest)	9	168,9	18,8			
Toplam	19	3428,1					Toplam	19	2042,9				
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho kabul ve p>0,05 olduğu için Ho Kabul h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red							Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar ho(satırlar):p1=p2=...=pn, Ho red ve p<0,05 olduğu için Ho Red h1(sütunlar):f1=f2=...=fn, H1 Red ve p<0,05 olduğu için H1 Red						
SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklı değildir. Hidrolik Yük %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.							SONUÇLAR: Sistemlerin performansları %95 olasılıkla birbirinden farklıdır. Hidrolik Yük %95 olasılıkla performanslar üzerine etkilidir.						

Tablo D.3: Bitkili ve bitkisiz sistemler ile bitkili sistemler arasındaki ilişkileri gösteren varyans analiz (tek yönlü-ANOVA) ve Tukey (HSD) test sonuçları

Parametre:		NH ₄ ⁺						
Sistem:		SYAS Sulakalan sistemleri						
Sistem sayısı:		3 (16, 20 ve 21.)						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _c	
							0,05	0,01
Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		3	11606,03	3868,6771	9,2E-05	8,07	2,72	4,04
Hata		80	38339,27	479,24093				
Toplam		83	49945,31					
Null Hipotezi-1		Açıklamalar						
α:0,01 için; ho:p1=p2=..pn=		Red		ve p<0,01 olduğu için		Red		
α:0,05 için; h0:p1=p2=..pn=		Red		ve p<0,05 olduğu için		Red		
		Sonuçlar 1:						
(0,01 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası							önemli farklılıklar vardır.	
(0,05 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası							önemli farklılıklar vardır.	
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _c	
							0,05	0,01
Bitkili Sistemler arası		2	9605,23	4802,61	0,00053	8,57	3,15	4,98
Hata		60	33637,85	560,63				
Toplam		62	43243,07					
Null Hipotezi-2		Açıklamalar						
α:0,01 için; ho:p1=p2=..pn=		Red		ve p<0,01 olduğu için		Red		
α:0,05 için; h0:p1=p2=..pn=		Red		ve p<0,05 olduğu için		Red		
		Sonuçlar 2:						
(0,01 için) Bitkili Sistemler arası							önemli farklılıklar vardır.	
(0,05 için) Bitkili Sistemler arası							önemli farklılıklar vardır.	
Tukey HSD Testi:		Kritik Değeri: α:0,01 için= <u>40,7</u> α:0,01 için= <u>49,9</u>						
0.01 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler: 1								
0.05 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:1								

Parametre:		NO ₃ ⁻						
Sistem:		SYAS Sulakalan sistemleri						
Sistem sayısı:		3 (16, 20 ve 21.)						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		3	6902,31	2300,7686	0,01695	3,60	2,72	4,04
Hata		80	51099,97	638,74959				
Toplam		83	58002,27					
Null Hipotezi-1		Açıklamalar						
α:0,01 için;	h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =	Kabul		ve p>0,01 olduğu için		Kabul		
α:0,05 için;	h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =	Red		ve p<0,05 olduğu için		Red		
		Sonuçlar 1:						
(0,01 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
(0,05 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar vardır.						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkili Sistemler arası		2	2039,13	1019,6	0,21583	1,57	3,15	4,98
Hata		60	38886,75	648,11				
Toplam		62	40925,88					
Null Hipotezi-2		Açıklamalar						
α:0,01 için;	h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =	Kabul		ve p>0,01 olduğu için		Kabul		
α:0,05 için;	h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =	Kabul		ve p>0,05 olduğu için		Kabul		
		Sonuçlar 2:						
(0,01 için) Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
(0,05 için) Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
Tukey HSD Testi:		Kritik Değeri: α:0,01 için= <u>47,0</u> α:0,01 için= <u>57,6</u>						
0,01 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler: 1								
0,05 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:1 ve 3								
Parametre:		Organik Azot						
Sistem:		SYAS Sulakalan sistemleri						
Sistem sayısı:		3 (16, 20 ve 21.)						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		3	14722,72	4907,5728	0,04552	2,80	2,72	4,04
Hata		80	140450,69	1755,6337				
Toplam		83	155173,41					
Null Hipotezi-1		Açıklamalar						
α:0,01 için;	h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =	Kabul		ve p>0,01 olduğu için		Kabul		
α:0,05 için;	h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =	Red		ve p<0,05 olduğu için		Red		
		Sonuçlar 1:						
(0,01 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
(0,05 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar vardır.						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkili Sistemler arası		2	6733,10	3366,6	0,24183	1,45	3,15	4,98
Hata		60	138957,68	2315,96				
Toplam		62	145690,78					
Null Hipotezi-2		Açıklamalar						
α:0,01 için;	h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =	Kabul		ve p>0,01 olduğu için		Kabul		
α:0,05 için;	h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =	Kabul		ve p>0,05 olduğu için		Kabul		
		Sonuçlar 2:						
(0,01 için) Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
(0,05 için) Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
Tukey HSD Testi:		Kritik Değeri: α:0,01 için= <u>77,9</u> α:0,01 için= <u>95,5</u>						
0,01 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler: 1 ve 2								
0,05 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:1 ve 2								

Parametre:		Toplam Azot						
Sistem:		SYAS Sulakalan sistemleri						
Sistem sayısı:		3 (16, 20 ve 21.)						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		3	5348,93	1782,977	0,01049	4,00	2,72	4,04
Hata		80	35688,17	446,10208				
Toplam		83	41037,10					
Null Hipotezi-1		Açıklamalar						
$\alpha:0,01$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,01$ olduğu için Kabul						
$\alpha:0,05$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Red ve $p<0,05$ olduğu için Red						
		Sonuçlar 1:						
(0,01 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
(0,05 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar vardır.						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkili Sistemler arası		2	1487,31	743,7	0,22986	1,51	3,15	4,98
Hata		60	29609,58	493,49				
Toplam		62	31096,88					
Null Hipotezi-2		Açıklamalar						
$\alpha:0,01$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,01$ olduğu için Kabul						
$\alpha:0,05$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,05$ olduğu için Kabul						
		Sonuçlar 2:						
(0,01 için) Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
(0,05 için) Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
Tukey HSD Testi:		Kritik Değeri: $\alpha:0,01$ için= <u>39,3</u> $\alpha:0,01$ için= <u>48,2</u>						
0,01 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler: 1								
0,05 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:1 ve 3								
Parametre:		NH ₄ ⁺						
Sistem:		YAAS Sulakalan sistemleri						
Sistem sayısı:		10 (1,2,3,4,5,6,7,8,9 ve 12.)						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		10	13563,20	1356,3197	0,01324	2,31	1,87	2,40
Hata		220	129003,18	586,3781				
Toplam		230	142566,38					
Null Hipotezi-1		Açıklamalar						
$\alpha:0,01$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,01$ olduğu için Kabul						
$\alpha:0,05$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Red ve $p<0,05$ olduğu için Red						
		Sonuçlar 1:						
(0,01 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
(0,05 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar vardır.						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkili Sistemler arası		9	5389,56	598,84	0,4459	0,99	1,93	2,50
Hata		200	120444,19	602,22				
Toplam		209	125833,75					
Null Hipotezi-2		Açıklamalar						
$\alpha:0,01$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,01$ olduğu için Kabul						
$\alpha:0,05$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,05$ olduğu için Kabul						
		Sonuçlar 2:						
(0,01 için) Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
(0,05 için) Bitkili Sistemler arası		önemli farklılıklar yoktur.						
Tukey HSD Testi:		Kritik Değeri: $\alpha:0,01$ için= <u>33,8</u> $\alpha:0,01$ için= <u>39,1</u>						
0,01 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler: 5,6,7,8,9 ve 12.								
0,05 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:1,3,4,5,6,7,8,9 ve 12.								

Parametre:	NO ₃ ⁻							
Sistem:	YAAS Sulakalan sistemleri							
Sistem sayısı:	10 (1,2,3,4,5,6,7,8,9 ve 12.)							
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		10	13351,83	1335,1834	0,02755	2,07	1,87	2,40
Hata		220	141563,77	643,47169				
Toplam		230	154915,61					
Null Hipotezi-1		Açıklamalar						
α:0,01 için; h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =		Kabul		ve p>0,01 olduğu için		Kabul		
α:0,05 için; h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =		Red		ve p<0,05 olduğu için		Red		
		Sonuçlar 1:						
(0,01 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası								önemli farklılıklar yoktur.
(0,05 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası								önemli farklılıklar vardır.
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkili Sistemler arası		9	7509,05	834,34	0,17574	1,43	1,93	2,50
Hata		200	116406,20	582,03				
Toplam		209	123915,24					
Null Hipotezi-2		Açıklamalar						
α:0,01 için; h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =		Kabul		ve p>0,01 olduğu için		Kabul		
α:0,05 için; h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =		Kabul		ve p>0,05 olduğu için		Kabul		
		Sonuçlar 2:						
(0,01 için) Bitkili Sistemler arası								önemli farklılıklar yoktur.
(0,05 için) Bitkili Sistemler arası								önemli farklılıklar yoktur.
Tukey HSD Testi:		Kritik Değeri: α:0,01 için= 35,4 α:0,01 için= 41,0						
0,01 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler: 12.								
0,05 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:1, 6 ve 12.								
Parametre:	Organik Azot							
Sistem:	YAAS Sulakalan sistemleri							
Sistem sayısı:	10 (1,2,3,4,5,6,7,8,9 ve 12.)							
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		10	45371,56	4537,1556	0,00025	3,52	1,87	2,40
Hata		220	283409,66	1288,2257				
Toplam		230	328781,22					
Null Hipotezi-1		Açıklamalar						
α:0,01 için; h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =		Red		ve p<0,01 olduğu için		Red		
α:0,05 için; h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =		Red		ve p<0,05 olduğu için		Red		
		Sonuçlar 1:						
(0,01 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası								önemli farklılıklar vardır.
(0,05 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası								önemli farklılıklar vardır.
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkili Sistemler arası		9	5317,12	590,79	0,28206	1,22	1,93	2,50
Hata		200	96544,82	482,72				
Toplam		209	101861,93					
Null Hipotezi-2		Açıklamalar						
α:0,01 için; h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =		Kabul		ve p>0,01 olduğu için		Kabul		
α:0,05 için; h ₀ :p ₁ =p ₂ =...=p _n =		Kabul		ve p>0,05 olduğu için		Kabul		
		Sonuçlar 2:						
(0,01 için) Bitkili Sistemler arası								önemli farklılıklar yoktur.
(0,05 için) Bitkili Sistemler arası								önemli farklılıklar yoktur.
Tukey HSD Testi:		Kritik Değeri: α:0,01 için= 50,1 α:0,01 için= 57,9						
0,01 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:								
0,05 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:1,5,6,7,8,9 ve 12.								

Parametre:		Toplam Azot						
Sistem:		YAAS Sulakalan sistemleri						
Sistem sayısı:		10 (1,2,3,4,5,6,7,8,9 ve 12.)						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası		10	10161,19	1016,1194	0,02019	2,18	1,87	2,40
Hata		220	102686,10	466,755				
Toplam		230	112847,29					
Null Hipotezi-1		Açıklamalar						
$\alpha:0,01$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,01$ olduğu için Kabul						
$\alpha:0,05$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Red ve $p<0,05$ olduğu için Red						
		Sonuçlar 1:						
		(0,01 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası önemli farklılıklar yoktur.						
		(0,05 için) Bitkisiz ve Bitkili Sistemler arası önemli farklılıklar vardır.						
Varyasyon	Kaynağı	SD	KT	KO	p (Sig.)	F	F _C	
							0,05	0,01
Bitkili Sistemler arası		9	5009,81	556,65	0,29567	1,20	1,93	2,50
Hata		200	92639,17	463,20				
Toplam		209	97648,98					
Null Hipotezi-2		Açıklamalar						
$\alpha:0,01$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,01$ olduğu için Kabul						
$\alpha:0,05$ için; $h_0:p_1=p_2=...=p_n=$		Kabul ve $p>0,05$ olduğu için Kabul						
		Sonuçlar 2:						
		(0,01 için) Bitkili Sistemler arası önemli farklılıklar yoktur.						
		(0,05 için) Bitkili Sistemler arası önemli farklılıklar yoktur.						
Tukey HSD Testi:		Kritik Değeri: $\alpha:0,01$ için= 30,2 $\alpha:0,01$ için= 34,9						
		0,01 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler: 1,6,8 ve 12.						
		0,05 önemlilik seviyesinde bitkisiz sistemden farklı olan sistemler:1,3,4,6,7,8,9 ve 12.						

EK E. ÇOKLU REGRESYON ANALİZ SONUÇLARI

Değişkenler (girilen/atılan)					YAAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları				
Model	Değişkenler (girilen)	Değişkenler (atılan)	Metod						
1,00	pH NH4-N giriş HYH (L/m2-gün)	-	Giriş						
Model özeti									
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata (tahminin)					
1,00	0,71	0,50	0,41	0,2564					
ANOVA									
Varyasyon	sd	KT	KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)		
					0,05	0,01			
Regresyon	3,00		1	0 5,66	3,20	5,19	0,00706627725		
pH	1,00	0,025125		0 0,38	4,45	8,40	0,54464292834		
NH4-N giriş	1,00	0,907943		1 13,81	4,45	8,40	0,00171629204		
HYH (L/m2-gün)	1,00	0,183622		0 2,79	4,45	8,40	0,11298193325		
Hata	17,00		1	0					
Genel	20,00		2						
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi (α:0,01)				
Regresyon	tesadüfî değildir.				Regresyon	tesadüfî değildir.			
pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).			
NH4-N giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				NH4-N giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).			
HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).			
Katsayılar									
Model	Kısmi	Stand.Hata	Standart Katsayılar	t	t(kritik)		B		
	b				0,05	0,01			
Sabit	-1,616	1,590		-1,02			0,32382		
pH	0,280	0,392	0,13134	0,72	2,11	2,90	0,48380		
NH4-N giriş	0,141	0,066	0,45585	2,14	2,11	2,90	0,04722		
HYH (L/m2-gün)	-0,005	0,003	-0,37019	-1,67	2,11	2,90	0,11298		
Ri=0 Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar					Ri=0 Hipotezi (α:0,01)				
pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).				pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).			
GİRİŞ	'in verim üzerine etkisi vardır (Ri=0 Red).				NH4-N giriş	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).			
HRT	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).				HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).			
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri									
α:0,05 için:					α:0,01 için:				
pH	ile	NH4-N giriş	arasında önemli fark var.		pH	ile	NH4-N giriş	arasında önemli fark var.	
pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
NH4-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		NH4-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
NH4 çıkış=-1,6157+0,2805*pH+0,1408*NH4-N giriş-0,0048*HYH (L/m2-gün)					R ² = 0,50				
Değişkenler (girilen/atılan)					YAAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları				
Model	Değişkenler (girilen)	Değişkenler (atılan)	Metod						
1,00	pH NO3-N giriş HYH (L/m2-gün)	-	Giriş						
Model özeti									
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata (tahminin)					
1,00	0,95	0,89	0,88	0,9638					
ANOVA									
Varyasyon	sd	KT	KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)		
					0,05	0,01			
Regresyon	3,00		134	45 48,16	3,20	5,19	0,00000001598		
pH	1,00	1,3230		1 1,42	4,45	8,40	0,24907823270		
NO3-N giriş	1,00	129,5712		130 139,50	4,45	8,40	0,00000000128		
HYH (L/m2-gün)	1,00	3,3122		3 3,57	4,45	8,40	0,07616118461		
Hata	17,00		16	1					
Genel	20,00		150						
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi (α:0,01)				
Regresyon	tesadüfî değildir.				Regresyon	tesadüfî değildir.			
pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).			
NO3-N giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				NO3-N giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).			
HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).			
Katsayılar									
Model	Kısmi	Stand.Hata	Standart Katsayılar	t	t(kritik)		B		
	b				0,05	0,01			
Sabit	-3,15	19,88		-0,16			0,87616		
pH	0,29	1,52	0,01652	0,19	2,11	2,90	0,85150		
NO3-N giriş	0,64	0,06	0,91130	11,10	2,11	2,90	0,00000		
HYH (L/m2-gün)	0,02	0,01	0,16291	1,89	2,11	2,90	0,07616		
Ri=0 Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar					Ri=0 Hipotezi (α:0,01)				
pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).				pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).			
GİRİŞ	'in verim üzerine etkisi vardır (Ri=0 Red).				NO3-N giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Ri=0 Red).			
HRT	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).				HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Ri=0 Kabul).			
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri									
α:0,05 için:					α:0,01 için:				
pH	ile	NO3-N giriş	arasında önemli fark var.		pH	ile	NO3-N giriş	arasında önemli fark yok.	
pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark yok.		pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark yok.	
NO3-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		NO3-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
NO3-N çıkış=-3,1452+0,2891*pH+0,6396*NO3-N giriş+0,0173*HYH (L/m2-gün)					R ² = 0,90				

Değişkenler (girilen/atılan)					YAAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları				
Model	Değişkenler (girilen)		Değişkenler(atılan)	Metod					
1,00	pH Org.-Ngiriş HYH (L/m2-gün)		-	Giriş					
Model özeti									
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata (tahminin)					
1,00	0,82	0,67	0,62	0,0329					
ANOVA									
Varyasyon	sd	KT		KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)	
						0,05	0,01		
Regresyon		3,00		0,038	0,0127	11,76	3,20	5,19	0,00020551310
pH	1,00		0,0018		0,0018	1,67	4,45	8,40	0,21291871463
Org.-Ngiriş	1,00		0,0350		0,0350	32,44	4,45	8,40	0,00002626109
HYH (L/m2-gün)	1,00		0,0013		0,0013	1,17	4,45	8,40	0,29357436512
Hata		17,00		0,018	0,0011				
Genel		20,00		0,056					
Null Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi(α:0,01)				
Regresyon tesadüfî değildir.					Regresyon tesadüfî değildir.				
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				
Org.-Ngiriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					Org.-Ngiriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				
HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				
Katsayılar									
Model	Kısmi		Standart Katsayılar		t	t(kritik)		ß	
	b	Stand.Hata				0,05	0,01		
Sabit	-0,1454	0,3900			-0,37			0,71386	
pH	0,0257	0,0511	0,07582		0,50	2,11	2,90	0,62127	
Org.-Ngiriş	0,1714	0,0311	0,79334		5,51	2,11	2,90	0,00004	
HYH (L/m2-gün)	-0,0003	0,0003	-0,16156		-1,08	2,11	2,90	0,29357	
Bi=0 Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					Bi=0 Hipotezi(α:0,01)				
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).				
GİRİŞ 'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).					Org.-Ngiriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).				
HRT 'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).				
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri									
α:0,05 için:					α:0,01 için:				
	ile	Org.-Ngiriş	arasında önemli fark var.			ile	Org.-Ngiriş	arasında önemli fark var.	
pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
Org.-Ngiriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		Org.-Ngiriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
Org.-H çıkış=-0,1455+0,0258*pH+0,1715*Org.-Ngiriş-0,0004*HYH (L/m2-gün)					R ² = 0,68				
Değişkenler (girilen/atılan)					YAAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları				
Model	Değişkenler (girilen)		Değişkenler(atılan)	Metod					
1,00	pH TN giriş HYH (L/m2-gün)		-	Giriş					
Model özeti									
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata (tahminin)					
1,00	0,91	0,83	0,79	1,1677					
ANOVA									
Varyasyon	sd	KT		KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)	
						0,05	0,01		
Regresyon		3,00		110	37	26,85	3,20	5,19	0,00000111961
pH	1,00		1,9754		2	1,45	4,45	8,40	0,24523451780
TN giriş	1,00		100,7665		101	73,90	4,45	8,40	0,00000013530
HYH (L/m2-gün)	1,00		7,0996		7	5,21	4,45	8,40	0,03565944853
Hata		17,00		23	1				
Genel		20,00		133					
Null Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi(α:0,01)				
Regresyon tesadüfî değildir.					Regresyon tesadüfî değildir.				
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				
TN giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					TN giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				
HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				
Katsayılar									
Model	Kısmi		Standart Katsayılar		t	t(kritik)		ß	
	b	Stand.Hata				0,05	0,01		
Sabit	-6,37	23,05			-0,28			0,78575	
pH	0,60	1,86	0,03647		0,32	2,11	2,90	0,75061	
TN giriş	0,60	0,07	0,88810		8,41	2,11	2,90	0,00000	
HYH (L/m2-gün)	0,02	0,01	0,24764		2,28	2,11	2,90	0,03566	
Bi=0 Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					Bi=0 Hipotezi(α:0,01)				
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).				
GİRİŞ 'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).					TN giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).				
HRT 'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).				
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri									
α:0,05 için:					α:0,01 için:				
	ile	TN giriş	arasında önemli fark yok.			ile	TN giriş	arasında önemli fark yok.	
pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
TN giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		TN giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
TN-1 çıkış=-6,3657+0,6009*pH+0,6045*TN giriş+0,0247*HYH (L/m2-gün)					R ² = 0,83				

Değişkenler (girilen/atılan)					YAAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları				
Model	Değişkenler (girilen)		Değişkenler (atılan)	Metod					
1,00	ORG-giriş NH4-giriş NO3-giriş		-	Giriş					
Model özeti									
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata (tahminin)					
1,00	0,92	0,85	0,82	1,0928					
ANOVA									
Varyasyon	sd		KT	KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)	
						0,05	0,01		
Regresyon		3,00		113	38	31,47	3,20	5,19	0,00000036646
ORG-giriş	1,00		9,1426		9	7,66	4,45	8,40	0,01318832332
NH4-giriş	1,00		29,6780		30	24,85	4,45	8,40	0,00011298922
NO3-giriş	1,00		73,9023		74	61,89	4,45	8,40	0,00000045826
Hata		17,00		20	1				
Genel		20,00		133					
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi (α:0,01)				
Regresyon	tesadüfî değildir.				Regresyon	tesadüfî değildir.			
ORG-giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				ORG-giriş	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).			
NH4-giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				NH4-giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).			
NO3-giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				NO3-giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).			
Katsayılar									
Model	Kısmi		Standart Katsayılar		t	t(kritik)		B	
	b	Stand.Hata				0,05	0,01		
Sabit	1,06	23,05			0,05			0,96392	
ORG-giriş	0,46	1,16	0,04410		0,40	2,11	2,90	0,69461	
NH4-giriş	-0,12	0,27	-0,04997		-0,44	2,11	2,90	0,66879	
NO3-giriş	0,59	0,07	0,88919		7,87	2,11	2,90	0,00000	
Bi=0 Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar					Bi=0 Hipotezi (α:0,01)				
ORG-giriş	'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).				ORG-giriş	'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).			
GİRİŞ	'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).				NH4-giriş	'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).			
HRT	'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).				NO3-giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).			
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri									
α:0,05 için:					α:0,01 için:				
ORG-giriş	ile	NH4-giriş	arasında önemli fark var.		ORG-giriş	ile	NH4-giriş	arasında önemli fark var.	
ORG-giriş	ile	NO3-giriş	arasında önemli fark yok.		ORG-giriş	ile	NO3-giriş	arasında önemli fark yok.	
NH4-giriş	ile	NO3-giriş	arasında önemli fark var.		NH4-giriş	ile	NO3-giriş	arasında önemli fark var.	
TII-2 çıkış=1,0581+0,4625*ORG-giriş-0,1191*NH4-giriş+0,5878*NO3-giriş					R ² = 0,85				
Değişkenler (girilen/atılan)					SYAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları				
Model	Değişkenler (girilen)		Değişkenler (atılan)	Metod					
1,00	pH NH4-N giriş HYH (L/m2-gün)		-	Giriş					
Model özeti									
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata (tahminin)					
1,00	0,86	0,73	0,68	0,1478					
ANOVA									
Varyasyon	sd		KT	KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)	
						0,05	0,01		
Regresyon		3,00		1,010684	0,336895	15,42	3,20	5,19	0,00004209889
pH	1,00		0,0229694		0,022969	1,05	4,45	8,40	0,31950208284
NH4-N giriş	1,00		0,9730514		0,973051	44,55	4,45	8,40	0,00000391298
HYH (L/m2-gün)	1,00		0,0146636		0,014664	0,67	4,45	8,40	0,42391628501
Hata		17,00		0,371306					
Genel		20,00		1,381991	0,021842				
Null Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi (α:0,01)				
Regresyon	tesadüfî değildir.				Regresyon	tesadüfî değildir.			
pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).			
NH4-N giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				NH4-N giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).			
HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).			
Katsayılar									
Model	Kısmi		Standart Katsayılar		t	t(kritik)		B	
	b	Stand.Hata				0,05	0,01		
Sabit	0,432	2,410			0,18			0,85986	
pH	-0,073	0,227	-0,04361		-0,32	2,11	2,90	0,75060	
NH4-N giriş	0,515	0,088	0,92664		5,82	2,11	2,90	0,00002	
HYH (L/m2-gün)	0,001	0,002	0,13799		0,82	2,11	2,90	0,42392	
Bi=0 Hipotezi (α:0,05) Açıklamalar					Bi=0 Hipotezi (α:0,01)				
pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).				pH	'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).			
GİRİŞ	'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).				NH4-N giriş	'in verim üzerine etkisi vardır (Bi=0 Red).			
HRT	'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).				HYH (L/m2-gün)	'in verim üzerine etkisi yoktur (Bi=0 Kabul).			
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri									
α:0,05 için:					α:0,01 için:				
pH	ile	NH4-N giriş	arasında önemli fark var.		pH	ile	NH4-N giriş	arasında önemli fark var.	
pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
NH4-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		NH4-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
NH4-N çıkış=0,432-0,0733*pH+0,5147*NH4-N giriş+0,0015*HYH (L/m2-gün)					R ² = 0,74				

Değişkenler (girilen/atılan)					SYAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları				
Model	Değişkenler (girilen)		Değişkenler (atılan)	Metod					
1,00	pH NO3-N giriş HYH (L/m2-gün)		-	Giriş					
Model özeti									
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata (tahminin)					
1,00	0,90	0,81	0,78	1,0549					
ANOVA									
Varyasyon	sd	KT		KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)	
						0,05	0,01		
Regresyon		3,00		81	27	24,18	3,20	5,19	0,00000229814
pH	1,00		0,2660		0	0,24	4,45	8,40	0,63113198354
NO3-N giriş	1,00		74,9386		75	67,34	4,45	8,40	0,00000025770
HYH (L/m2-gün)	1,00		5,5322		6	4,97	4,45	8,40	0,03954511545
Hata		17,00		19	1				
Genel		20,00		100					
Null Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi(α:0,01)				
Regresyon tesadüfî değildir.					Regresyon tesadüfî değildir.				
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				
NO3-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					NO3-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				
HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				
Katsayılar									
Model	Kısmi		Standart Katsayılar		t	t(kritik)		ß	
	b	Stand.Hata				0,05	0,01		
Sabit	-2,15	17,68			-0,12			0,90449	
pH	0,08	1,68	0,00572		0,05	2,11	2,90	0,96187	
NO3-N giriş	0,61	0,08	0,80756		7,16	2,11	2,90	0,00000	
HYH (L/m2-gün)	0,02	0,01	0,26395		2,23	2,11	2,90	0,03955	
ßi=0 Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					ßi=0 Hipotezi(α:0,01)				
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).				
GİRİŞ 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).					NO3-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).				
HRT 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).				
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri									
α:0,05 için:					α:0,01 için:				
pH	ile	NO3-N giriş	arasında önemli fark var.		pH	ile	NO3-N giriş	arasında önemli fark var.	
pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark yok.		pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark yok.	
NO3-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		NO3-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
NO3-II çıkış=-2,1533+0,0816*pH+0,6087*NO3-II giriş+0,0228*HYH (L/m2-gün)					R ² = 0,82				
Değişkenler (girilen/atılan)					SYAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları				
Model	Değişkenler (girilen)		Değişkenler (atılan)	Metod					
1,00	pH Org.-N giriş HYH (L/m2-gün)		-	Giriş					
Model özeti									
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata (tahminin)					
1,00	0,70	0,49	0,40	0,0246					
ANOVA									
Varyasyon	sd	KT		KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)	
						0,05	0,01		
Regresyon		3,00		0,0100	0,0033	5,47	3,20	5,19	0,00808812542
pH	1,00		0,0000		0,0000	0,00	4,45	8,40	0,99935580801
Org.-N giriş	1,00		0,0100		0,0100	16,41	4,45	8,40	0,00083018914
HYH (L/m2-gün)	1,00		0,0000		0,0000	0,01	4,45	8,40	0,91533769657
Hata		17,00		0,0103	0,0006				
Genel		20,00		0,0203					
Null Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi(α:0,01)				
Regresyon tesadüfî değildir.					Regresyon tesadüfî değildir.				
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				
Org.-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					Org.-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).				
HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).				
Katsayılar									
Model	Kısmi		Standart Katsayılar		t	t(kritik)		ß	
	b	Stand.Hata				0,05	0,01		
Sabit	-0,311	0,910			-0,34			0,73633	
pH	0,045	0,039	0,22129		1,16	2,11	2,90	0,26130	
Org.-N giriş	0,212	0,053	0,73054		4,01	2,11	2,90	0,00091	
HYH (L/m2-gün)	0,000	0,000	-0,02010		-0,11	2,11	2,90	0,91534	
ßi=0 Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					ßi=0 Hipotezi(α:0,01)				
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).				
GİRİŞ 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).					Org.-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).				
HRT 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).				
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri									
α:0,05 için:					α:0,01 için:				
pH	ile	Org.-N giriş	arasında önemli fark var.		pH	ile	Org.-N giriş	arasında önemli fark var.	
Org.	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
Org.-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		Org.-N giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.	
Org.-II çıkış=-0,3115+0,0451*pH+0,212*Org.-II giriş-0,0001*HYH (L/m2-gün)					R ² = 0,50				

Değişkenler (girilen/atılan)						SYAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları					
Model	Değişkenler (girilen)		Değişkenler (atılan)	Metod							
1,00	pH TN giriş HYH (L/m2-gün)		-	Giriş							
Model özeti											
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata	(tahminin)						
1,00	0,88	0,78	0,74	1,1178							
ANOVA											
Varyasyon	sd	KT		KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)			
						0,05	0,01				
Regrasyon	3,00	75		25	20,10	3,20	5,19	0,00000789287			
pH	1,00	0,1437		0	0,11	4,45	8,40	0,73868910454			
TN giriş	1,00	67,9947		68	54,42	4,45	8,40	0,00000108155			
HYH (L/m2-gün)	1,00	7,2103		7	5,77	4,45	8,40	0,02800400970			
Hata	17,00	21		1							
Genel	20,00	97									
Null Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi(α:0,01)						
Regrasyon tesadüfî değildir.					Regrasyon tesadüfî değildir.						
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).						
TN giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					TN giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).						
HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).						
Katsayılar											
Model	Kısmi		Standart Katsayılar		t	t(kritik)		ß			
	b	Stand.Hata				0,05	0,01				
Sabit	-3,90	17,73			-0,22			0,82853			
pH	0,26	1,77	0,01860		0,15	2,11	2,90	0,88448			
TN giriş	0,61	0,09	0,79786		6,72	2,11	2,90	0,00000			
HYH (L/m2-gün)	0,03	0,01	0,29858		2,40	2,11	2,90	0,02800			
ßi=0 Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					ßi=0 Hipotezi(α:0,01)						
pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).					pH 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).						
GİRİŞ 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).					TN giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).						
HRT 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).					HYH (L/m2-gün) 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).						
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri											
α:0,05 için:					α:0,01 için:						
pH	ile	TN giriş	arasında önemli fark yok.		pH	ile	TN giriş	arasında önemli fark yok.			
pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark yok.		pH	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark yok.			
TN giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.		TN giriş	ile	HYH (L/m2-gün)	arasında önemli fark var.			
TII-1 çıkış=-3,8998+0,2611*pH+0,614*TII giriş+0,0254*HYH (L/m2-gün)					R ² = 0,79						
Değişkenler (girilen/atılan)											
Model	Değişkenler (girilen)		Değişkenler (atılan)	Metod	SYAS Yapay Sulakalan Sistem Çoklu Regrasyon Analiz Sonuçları						
1,00	Org.-N giriş NH4-N giriş NO3-N giriş		-	Giriş							
Model özeti											
Model	Çoklu R	R ²	Ayarlı R ²	Standart hata							(tahminin)
1,00	0,92	0,85	0,82	0,9307							
ANOVA											
Varyasyon	sd	KT		KO	F	Tablodan F		F (anlamlılık)			
						0,05	0,01				
Regrasyon	3,00	82		27	31,51	3,20	5,19	0,00000036327			
Org.-N giriş	1,00	1,6051		2	1,85	4,45	8,40	0,19119240099			
NH4-N giriş	1,00	26,6082		27	30,72	4,45	8,40	0,00003580699			
NO3-N giriş	1,00	53,6527		54	61,94	4,45	8,40	0,00000045560			
Hata	17,00	15		1							
Genel	20,00	97									
Null Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					Null Hipotezi(α:0,01)						
Regrasyon tesadüfî değildir.					Regrasyon tesadüfî değildir.						
Org.-N giriş 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).					Org.-N giriş 'in verim üzerine etkisi yoktur (Hipotez Kabul).						
NH4-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					NH4-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).						
NO3-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).					NO3-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (Hipotez Red).						
Katsayılar											
Model	Kısmi		Standart Katsayılar		t	t(kritik)		ß			
	b	Stand.Hata				0,05	0,01				
Sabit	0,92	17,73			0,05			0,95924			
Org.-N giriş	-3,80	2,21	-0,18996		-1,72	2,11	2,90	0,10355			
NH4-N giriş	-0,66	0,55	-0,14188		-1,21	2,11	2,90	0,24377			
NO3-N giriş	0,63	0,08	0,85206		7,87	2,11	2,90	0,00000			
ßi=0 Hipotezi(α:0,05) Açıklamalar					ßi=0 Hipotezi(α:0,01)						
Org.-N giriş 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).					Org.-N giriş 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).						
GİRİŞ 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).					NH4-N giriş 'in verim üzerine etkisi yoktur (ßi=0 Kabul).						
HRT 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).					NO3-N giriş 'in verim üzerine etkisi vardır (ßi=0 Red).						
Bağımsız değişkenlerin birbirine etkileri											
α:0,05 için:					α:0,01 için:						
Org.-N giriş	ile	NH4-N giriş	arasında önemli fark var.		Org.-N giriş	ile	NH4-N giriş	arasında önemli fark var.			
Org.-N giriş	ile	NO3-N giriş	arasında önemli fark var.		Org.-N giriş	ile	NO3-N giriş	arasında önemli fark var.			
NH4-N giriş	ile	NO3-N giriş	arasında önemli fark var.		NH4-N giriş	ile	NO3-N giriş	arasında önemli fark var.			
TII-2 çıkış=0,9197-3,8031*Org.-N giriş-0,6588*NH4-N giriş+0,6323*NO3-N giriş					R ² = 0,85						

ÖZGEÇMİŞ

Bilal TUNÇSİPER, 1966 yılında Sivas'ta doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Sivas'ta tamamladıktan sonra, 1991 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başlamış ve 1994 yılında aynı bölümden mezun olmuştur. 1995 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır ve halen bu görevini sürdürmektedir. 1995 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programına başlamış ve 1997 yılında Yüksek Mühendis ünvanı almıştır. 1997 yılında 2547 Sayılı YÖK Kanunu'nun 35(g) Maddesi gereğince Niğde Üniversitesi'nden İTÜ'ne Doktora Eğitimi için geçici görevlendirilmiştir. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği doktora programına kaydolan ve 1 yıl ingilizce hazırlık okuyan Bilal TUNÇSİPER evli ve 2 çocuk sahibidir.