

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜZEYSEL AKIŞLI DOĞAL ARITIM SİSTEMİ İLE EVSEL ATIKSU ARITIMININ
ARAŞTIRILMASI**

Su Ürünleri Mühendisi Emine Merve ACAREL

**FBE Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr Hürrem BAYHAN

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. DOĞAL ARITMA SİSTEMLERİ VE YÜZEYSEL AKIŞLI DOĞAL ARITIM SİSTEMİ (YADA).....	3
2.1 Sistemin Arıtım Mekanizması	9
2.1.1 Katı madde giderimi	9
2.1.2 BOİ giderimi	10
2.1.3 Azot giderimi	10
2.1.4 Fosfor giderimi	12
2.1.5 Mikroorganizma giderimi	12
2.2 İşletme Parametreleri ve Arıtmaya Etkileri	12
3. MATERYAL VE METOD.....	14
3.1 Deneysel Çalışma Düzenegi	14
3.1.1 Ön arıtma	14
3.1.2 Küçük boyutlu YADA sistemi	15
3.1.3 Büyük boyutlu YADA sistemi	20
3.2 Atıksu Kaynağı	23
3.3 Yapılan Analizler.....	23
4. DENEYSEL BULGULAR.....	26
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	75
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	82

KISALTMA LİSTESİ

AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ ₅	5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Mg	Magnezyum
N	Azot
Na	Sodyum
NH ₃ -N	Amonyak Azotu
NO ₃	Nitrat
NO ₃ -N	Nitrat Azotu
NO ₂ -N	Nitrit Azotu
P	Fosfor
PCB	Poliklorlubifenil
PO ₄ -P	Fosfat
SAR	Sodyum Absorbsiyon Oranı
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TP	Toplam Fosfor
YADA	Yüzeysel Akışlı Doğal Arıtım

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Yüzeysel akışlı sistemler.....	5
Şekil 2.2	Kuru yaş periyodunun amonyak giderimine etkisi.	11
Şekil 3.1	İmhoff Tankı	15
Şekil 3.2	Küçük boyutlu YADA sistemi.....	16
Şekil 3.3	Küçük boyutlu YADA sistemi en kesiti	17
Şekil 3.4	Laboratuar ölçekli İmhoff Tankı.....	17
Şekil 3.5	Laboratuar ölçekli küçük boyutlu YADA sistemi	18
Şekil 3.6	Rulo çim kesiti	18
Şekil 3.7	Ön arıtım olarak imhoff tank sistemiyle çalıştırılan paralel bağlı YADA sistemlerinin şakış diyagramı.....	19
Şekil 3.8	Ön arıtım olarak Imhoff tankı uygulması akış diyagramı.....	20
Şekil 3.9	Büyük boyutlu YADA sistemi (üstten görünüm)	21
Şekil 3.10	Büyük boyutlu YADA sisteminin akış diyagramı	22
Şekil 3.11	Büyük boyutlu YADA sistemi en kesiti	22
Şekil 3.12	Laboratuar ölçekli büyük boyutlu YADA sistemi	23
Şekil 4.1	Küçük boyutlu paralel YADA sistemi zamana bağlı AKM değişimi.....	27
Şekil 4.2	Küçük boyutlu paralel YADA sistemi zamana bağlı KOI değişimi.....	28
Şekil 4.3	Küçük boyutlu paralel YADA sistemi zamana bağlı BOI ₅ değişimi.....	29
Şekil 4.4	Küçük boyutlu paralel YADA sistemi zamana bağlı TN değişimi	30
Şekil 4.5	Küçük boyutlu seri YADA sistemi zamana bağlı AKM değişimi	31
Şekil 4.6	Küçük boyutlu seri YADA sistemi zamana bağlı KOI değişimi.....	32
Şekil 4.7	Küçük boyutlu seri YADA sistemi zamana bağlı BOI ₅ değişimi.....	33
Şekil 4.8	Küçük boyutlu seri YADA sistemi zamana bağlı TN değişimi.....	34
Şekil 4.9	Büyük boyutlu YADA sisteminde zamana bağlı AKM değişimi.....	35
Şekil 4.10	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi	36
Şekil 4.11	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi	37
Şekil 4.12	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı AKM değişimi	38
Şekil 4.13	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi	39

Şekil 4.14	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı AKM değişimi.....	40
Şekil 4.15	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi.....	41
Şekil 4.16	Büyük boyutlu YADA sistemi 1,5 cm/ günde ilave arıtımında zamana bağlı AKM değişimi	42
Şekil 4.17	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde zamana bağlı KOI değişimi	43
Şekil 4.18	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde zamana bağlı KOI değişimi	44
Şekil 4.19	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi.....	45
Şekil 4.20	Büyük boyutlu YADA sistemi 1,5 cm/ günde zamana bağlı KOI değişimi	46
Şekil 4.21	Büyük boyutlu YADA sisteminde farklı hidrolik yüklerde zamana bağlı BOI ₅ değişimi	47
Şekil 4.22	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde zamana bağlı TN değişimi .	48
Şekil 4.23	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı AKM değişimi.....	49
Şekil 4.24	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi	50
Şekil 4.25	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TKN değişimi.....	51
Şekil 4.26	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde zamana bağlı TN değişimi	52
Şekil 4.27	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TKN değişimi.....	53
Şekil 4.28	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde zamana bağlı TN değişimi	54
Şekil 4.29	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TKN değişimi.....	55
Şekil 4.30	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı NH ₃ -N değişimi	56
Şekil 4.31	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı NH ₃ -N değişimi	57
Şekil 4.32	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı NH ₃ -N değişimi	58

Şekil 4.33	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı $\text{NH}_3\text{-N}$ değişimi	59
Şekil 4.34	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde zamana bağlı TP değişimi ..	60
Şekil 4.35	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TP değişimi	61
Şekil 4.36	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde zamana bağlı TP değişimi	62
Şekil 4.37	Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TP değişimi	63
Şekil 4.38	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde zamana bağlı TP değişimi	64
Şekil 4.39	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TP değişimi	65
Şekil 4.40	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde zamana bağlı TP değişimi .	66
Şekil 4.41	Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TP değişimi	67
Şekil 4.42	Büyük boyutlu YADA sisteminde farklı hidrolik yüklerde zamana bağlı $\text{PO}_4\text{-P}$ değişimi	68

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Bazı bitkilerdeki besi maddesi tutma miktarları	6
Çizelge 3.1	Rutin Deney Programı	25
Çizelge 4.1	Ataköy atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ortalama değerleri	26
Çizelge 4.2	Sistemde toplam koliform giriş ve çıkış değerleri	73
Çizelge 5.1	Yüzeysel akışlı doğal arıtım sistemleri çıkış suyu değerleri.....	77

ÖNSÖZ

Çalışmam sırasında bana her türlü desteği veren, bilgi ve birikimleriyle yol gösteren tez danışmanım, saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Hürrem Bayhan'a,

Çevre Mühendisliği Bölümünü tanımama ve yüksek lisans yapma imkânını bana sağlayan Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı sayın hocam Prof. Dr. Ferruh Ertürk'e

Tezin yazımı konusunda yardımlarını esirgemeyen, çalışma süresince gösterdiği sabır ve yardımlarından dolayı değerli arkadaşlarım Çevre Yüksek Mühendisi Sevgi Koca'ya, Çevre Yüksek Mühendisi Sezen Çömez'e, Çevre Mühendisliği Bölümü öğrencileri Ahmet Adiller ve Serkan Demir'e, Ziraat Mühendisi ve Peyzaj Mimarı Ayşegül Bayraktar'a ve Gökhan Küçükece'ye

Manevi desteklerinden ötürü tüm yüksek lisans dönem arkadaşlarıma,

Bugünlere gelmemin başlıca sebebi olan, maddi manevi destekleri ve gösterdikleri anlayıştan dolayı sevgili anneme ve ablama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez oluşturulurken akademik çalışmaların yapılabilmesi için gerekli mali destek, TÜBİTAK KAMAG 107G252 no'lu proje tarafından sağlanmıştır.

Emine Merve Acarel

ÖZET

Doğal arıtım, su arıtımında kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Geleneksel arıtma yöntemleriyle kıyaslandığında özellikle düşük yatırım maliyeti, enerji ihtiyacının, ekipmanların, bakım onarım maliyetlerinin ve nitelikli eleman ihtiyacının daha az olmasından dolayı tercih sebebi olmuştur.

Bu çalışmanın amacı, özellikle su sıkıntısı çekilen küçük yerleşim birimlerinde, hem tarımsal açıdan hem de çevresel açıdan fayda sağlayabilecek ucuz ve pratik yöntemlerin uygulanabilirliğini göstermektir. Arazide arıtma yöntemlerinden biri olan yüzeysel akışlı sistem uygulaması laboratuvar ortamında denenmiştir.

Çalışmada öncelikle çökelebilen katıların giderilmesi, anaerobik çürümenin sağlanması için, Imhoff tankında evsel atık suların bekletilmesi esas alınarak, iki adet özdeş Küçük Boyutlu Yüzeysel Akışlı Sistem ve Büyük Boyutlu Yüzeysel Akışlı Sistemde arıtım çalışmaları yapılmıştır. Büyük boyutlu yüzeysel akışlı sistemin uzunluğu ve toprak derinliği daha fazladır. İlave arıtım olarak kil ve zeolit üniteleriyle ile seri bağlı çalıştırılmış, giderim veriminin ne ölçüde değiştiği izlenmiştir.

Çalışma kapsamında yüzeysel akışlı doğal arıtım sistemleri giriş- çıkış suyunda KOİ, BOİ₅, TKN, NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, AKM ve toplam koliform parametrelerinin analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: yüzeysel akışlı doğal arıtım, arazide arıtım

ABSTRACT

Natural treatment is one of the oldest methods being used in wastewater treatment. Compared with conventional treatment methods, it is preferred especially due to low investment costs and less need for maintenance, repair, energy, equipment and qualified staff.

The purpose of this study is to demonstrate the applicability of these practical and cost-effective methods, especially in small settlements facing water shortages, in terms of environment and agriculture. One of the methods of land treatment system, overland flow is tested in laboratory.

In this study, firstly, by taking domestic wastewater retention in Imhoff tank into account, the wastewater coming from the Imhoff tank is treated by small and large scale overland flow systems for the removal of deposited solids ensuring the anaerobic decay. The length of large-scale surface-flow system and the soil depth are greater. As an additional treatment, the systems are followed by clay and zeolite units and the variation in efficiency is monitored. Moreover, COD, BOD₅, TKN, NH₃-N, NO₃⁻ N, NO₂⁻ N, PO₄⁻ P, SS removal rates were investigated in the overall systems

Key words: overland flow treatment, land treatment

1. GİRİŞ

Türkiye'deki küçük yerleşim birimlerinin çoğunda, atıksu arıtım tesisleri tam olarak kurulmamıştır. Bu nedenle, yerel yönetimler bu konuda büyük bir arayış içindedir. Atık suların arıtımı için geleneksel arıtma tesislerine alternatif olarak daha basit ve az bakım isteyen tesisler tercih edilmektedir ve AB hazırlık süreci içerisinde bu sorunu çözmek için çok büyük yatırım gereklidir. Bu tip yerleşim yerlerinden kaynaklanan düşük debili atık suların arıtılmasında kullanılmak üzere yeni sistemlerin geliştirilmesi ihtiyacı bu şekilde ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacın düşük maliyetli sistemlerle giderilmesi, bu yerleşimlerin kısa sürede arıtma uygulamasına geçebilmesi, ülke ekonomisine daha düşük yük getireceği sebebiyle önemlidir.

Ülkemizde, yaygın olarak kullanılan geleneksel arıtma tesislerine alternatif yeni atık su arıtma teknolojileri uygulanmasıyla, teknolojiler arasında karşılaştırma imkânı bulunabileceği gibi sürekli yeni arıtma teknolojilerinin uygulamaya konulması, bu teknolojilerin ülkemizde de çok iyi öğrenilmesini ve uygulanmasını zorunlu kılınacaktır. Küçük yerleşim yerlerinde atıksu daha basit bir toplama ve taşıma sistemi ile arıtılması mümkün olmaktadır. Bu şekilde taşınan atıksu birincil ve ikincil arıtma uygulamasına tabi tutulmaktadır. Bu tip yerleşim alanlarında ön arıtma özellikle fosseptik kullanılarak yapılmaktadır, tercihen imhoff tankı da bu amaçla kullanılmaktadır. Ayrıca bir bütün olarak atıksuyun arıtımında paket arıtma sistemleri de tercih edilmektedir. Ön arıtım sonrası, atıksuyun verileceği alıcı ortamın hassasiyetine bağlı olarak doğal arıtma sistemlerinin farklı şekilleri sistem bütünlüğü içerisinde paralel veya seri bağlı olarak kullanılabilir.

Doğal arıtma sistemleri özünde doğanın kendi arıtım gücünü kullanarak çevreye zarar vermeden arıtımı gerçekleştirmeyi amaçlar, böylece suların tarımsal alanlarda geri kullanımı sağlandığı gibi su tasarrufu da sağlanmış olur. Doğal arıtım sistemleri yüksek oranda nütrient gidermek suretiyle, bitki büyümesini hızlandırır. Ön arıtması yapılmış olan atıksu arıtma platformundan geçerken, sistemdeki mevcut bitkiler azot ve fosforu bünyelerine alarak, büyüme performansı gösterirler.

Yapılan doğal arıtma çalışmalarında, az enerji kullanımı ile suyun geri kazanımı sağlanarak iyi bir arıtım sağlanmış olmaktadır.

Türkiye’ de özellikle nüfusun az, arazinin bol ve ucuz olduğu yerlerde uygulanabilir bir sistem olan doğal arıtma sistemleri uygun çevre koşullarında iyi bir arıtım verimi elde edilen bir sistemlerdir.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Evsel atıksuların arıtımında kullanılan ve bu tez kapsamında yer alan doğal arıtma sistemi; “Yüzeysel Akışlı Doğal Arıtım” (YADA) sistemidir. Bu sistem dünyanın çeşitli ülkelerinde uzun yıllardan beri uygulanmakta olmasına rağmen ülkemizde henüz yaygınlaşmamıştır. Bu tez çalışmasının diğer bir amacı da, dünyada yaygın olarak kullanılan, ancak ülkemizde kullanımı az olan bu sistemin uygulanabilirliğini ortaya koymaktır ve su havzası içerisinde bulunan küçük yerleşim alanlarındaki atıksu arıtımı sorununa alternatif bir çözüm önerisi sunmaktır. Bu çalışmada, ön arıtma olarak Imhoff Tankı kullanılmıştır ve sistemde “Kimyasal Oksijen İhtiyacı”(KOİ), “Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı” (BOİ₅),” Toplam Fosfor” (TP), “Nitrat Azotu” (NO₃-N), “Nitrit Azotu” (NO₂-N), “Amonyak Azotu” (NH₃-N), “Toplam Kjeldahl Azotu” (TKN), Toplam Koliform, “Askıda Katı Madde” (AKM),”Fosfat” (PO₄-P) parametreleri izlenmiştir.

2. DOĞAL ARITMA SİSTEMLERİ VE YÜZEYSEL AKIŞLI DOĞAL ARITIM SİSTEMİ (YADA)

Atıksuların arazide arıtımı eski Atinalılara kadar uzanmaktadır. ABD'de doğal arıtma esaslı sistemlerin kullanımı ise 1880 yıllarına dayanmaktadır (Jewel vd., 1979). Almanya'da 1600'lü yıllardan kalma bir arazide arıtma sisteminin uzun süre çalıştığı kayıtlarda geçmektedir (MetCalf and Eddy, 1991). Avrupa'da olduğu gibi ABD'de de atıksuların sulamada kullanımı giderek yaygınlaştığı gibi yirminci yüzyılın ilk yarısında buna ilave olarak yer altı suyunun beslemesinde de kullanıldığı görülmüştür. Bu geçiş döneminden sonra, yasal düzenlemeler çerçevesinde, doğal arıtım sistemi çıkış suları Amerika'da yaygın bir şekilde sulama suyu kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Arazide arıtım, Güneş ve Saygın (1997) tarafından, atıksuların araziye kontrollü bir şekilde uygulanarak bitki, toprak ve su arasındaki etkileşimler sonucu suda bulunan kirleticilerin belirli oranlarda giderilmesi olarak tanımlanmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan bu yöntem, değişik uygulama şekilleriyle, özellikle küçük yerleşim birimlerinde veya su sıkıntısı çekilen bölgeler için gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Doğal arıtma sistemlerinde özellikle dağıtım kanallarında tıkanmaya ve zamanla koku probleminin oluşmasına neden olabilecek katı maddelerin giderimi için bir ön arıtma ihtiyacı vardır. Bunun için bir ön ızgara veya çöktürme ünitesi gerektiği gibi duruma göre biyolojik arıtma da gerekli olabilir. Doğal arıtma sistemlerinde arıtım kapasitesi sınırlı olduğundan amaca uygun arıtma verimi için gerekli ön arıtma işlemleri bu duruma göre belirlenmelidir.

Doğal arıtım sistemlerinin, inşası, maliyeti ve bakımları ucuzdur. Dolayısıyla iş ve işçi sağlığı gibi problemler yaşanmaz. Bunun yanında çok yüksek BOİ₅ ve koliform giderimi sağlanabildiği gibi, azot ve fosfor giderimi de iyi seviyelerdedir.

Bu sistemlerde arıtım ve son uzaklaştırma için birleşik metotlar kullanılabilir. Özellikle yüzeysel akışlı sistemlerde mutlaka bir ön arıtma ihtiyacı vardır. Sistemde arıtılacak çamur yoktur. Bu sistemler uygulanırken ayrıca yer altı suyu beslemesi de gerçekleşir.

Doğal arıtım sistemlerinin yük salınımlarına karşı dayanıklılığı iyidir. Zirai alanlar sulanırken sistem kendini amorti edebilir. Bu sistemlerde yukarıda saydığımız avantajların yanı sıra,

koku, haşere ve böcek problemleri görülebilir. Sıcaklığa ve bitkilerin nütrient ihtiyacına göreceli olarak bağımlı bir sistemdir. Doğal arıtma sistemlerine kontrolsüz uygulamalar yapılması halinde bitkiler kirletilebilir, bu önemli bir sorundur, çünkü sistem toprağa bağımlıdır. Özellikle hızlı filtrasyon uygulamalarında nitratlarla yer altı suyunun kirlenme ihtimali de vardır.

Sulanan bitkilerin kontrolü zordur. Endüstriyel deşarjlar halinde toprak, bitki ve yer altı suyunda kimyasal etkiye uğrayabilir (Samsunlu, 2006).

Doğal Arıtma Tekniklerini birbirinden farklı iki temel sistem başlığı altında ele alabiliriz.

❖ Toprak bazlı arıtma sistemleri

Geçmişten günümüze kadar gelen ve hala da kullanılmakta olan tekniklere sahip sistemlerdir.

Toprak bazlı sistemleri genel olarak üç grup altında toplayabiliriz;

- Sulama sistemleri
- Zemine sızdırma sistemleri (=hızlı infiltrasyon)
- Yüzeysel akışlı sistemler (Şekil 2.1)

❖ Su bazlı arıtma sistemleri (sulu ortamda arıtma sistemleri)

Sulakalan Sistemleri (Yapay Bataklık Sistemleri; sazlık, su kamışlı sistemler, Yüzen Bitki Sistemleri, Batık Bitki Sistemleri) olarak sınıflandırılabilir.

Yüzeysel akışlı doğal arıtma sistemleri esasında düşük geçirimli, kil veya silt içeren, zayıf drenajı olan topraklar ve yavaş akışlı sistemlerin kullanımı için geliştirilmiş arazi arıtım sistemleridir.

Yüzeysel akışlı sistemlerde, bitkilendirilmiş eğimli araziler (set), atıksu uygulama alanını oluşturur. Her setin üst kısmına atıksu uygulaması yapılır ve setten toplama kanalına doğru atıksu süzülür (Şekil 2.1). Toprağın geçirgenliğine bağlı olarak atıksuyun toprağa sızması gerçekleşir. Yüzeysel akış yolunda çıkış atıksuyu fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtıma maruz kalır ve yüksek kalitede çıkış suyu elde edilir.



Şekil 2.1 Yüzeysel akışlı sistemler (Samsunlu, 2006)

Bu sistemler değişik hidrolik yükleme ve dinlenme periyodunda çalıştırılır. Yüzeysel akışlı sistemlerde, yüzeysel akışa bağlı olarak, akışın yoğun gerçekleştiği yüzeye yakın bölgede biyofilm tabakasının oluştuğu görülür ve mikroorganizmalar bu yüzeydeki tabakaya tutunur.

Yüzeysel akışlı arıtım sistemlerinde, ön arıtması yapılmış atıksular (duruma göre biyolojik arıtımı yapılmış olan) %2 -8 eğime sahip ve üzerinde bitki örtüsü bulunan araziye üst kısımdan yağmurlama veya normal yüzeysel akışla uygulanır. Bu şekildeki uygulama ile arıtılmış olan sular alt tarafta su toplama hendeginde toplanır (Vernick ve Walker 1981).

Yüzeysel Akışlı Doğal Arıtma Sisteminin arazi uygulamaları için, seçilen arazi yüzeysel akışlı yöntemin genel uygulama ölçütlerini sağlamış olması gerekir. Şöyle ki; yüzeysel akış sistemi az geçirimli topraklarda uygulanır, bu sebeple öncelikle arazideki toprak geçirgenliği yarı geçirimli ya da geçirimsiz olmalıdır. Toprak geçirgenlik (permeabilite) katsayısı (k) değeri $10^{-6} - 10^{-7}$ mm/ sa olması uygundur. Genellikle geçirgen olmayan topraklar için bu sistemler geliştirilmiştir, ancak kısmen geçirgen topraklar için de kullanılabilir. Geçirgenliği azaltmak için, bitki toprağı sıkılaştırılabilir. Yüzeyden akış sırasında, yüzeydeki toprak, zamanla yeterli miktarda AKM giderimi sağlamamışsa, toprak yüzeyinde biyolojik kalınlaşma sonucunda bir birikim oluşarak zamanla tıkanmalara yol açabilir (Reed, 1989).

Yüzeyden akış sırasında, çok az miktarda atıksu toprağı geçer. Çoğunlukla yüzeyden akarak atıksu toplama hendeklerinde toplanır. Uygulanan atıksuyun, toplanan atıksuya oranı ışık,

sıcaklık, basınç, rüzgâr, nem ve yağış şartlarına göre değişmektedir. Bu sistemde atıksular toprak yüzeyinden aşağı doğru ince bir film halinde akarken fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak arıtılmaktadır.

Sistemin bitkilendirilmesi genellikle her mevsim yeşil kalabilen, toprak yüzeyini iyi örten ve kök gelişimleri iyi olan, nütrient giderimi yüksek suya dayanıklı ve atıksu bileşenlerine karşı düşük hassasiyetli, böylelikle işletimi kolay çim tipleri, tercih edilmelidir. Bunlara örnek olarak, perennial çimi, turf çimi, belirli ağaç tipleri ve bazı tarla bitkileri verilebilir. Bazı özel bitki türlerine ait özellikler Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Bazı bitkilerdeki besin maddesi tutma miktarları kg/ha. yıl (Metcalf and Eddy, 1991)

Yem bitkileri	Azot	Fosfor	Potasyum
Yonca (Alfalfa)	225-540	22-35	175-225
Brom otu (Bromegrass)	130-225	40-55	245
Köpek dişi(sahil tipi),(Coastal Bermudagrass)	400-675	35-45	225
Çayır salkım otu (Kentucky)	200-270	45	200
Tarla ayrığı (Quackgrass)	255-280	30-45	275
Kanarya kamışı (Reed canarygrass), (Calamagrostis)	335	40-45	315
Delice otu (Ryegrass)	200-280	60-85	270-325
Taş yoncası (Sweet clover)	175	20	100
Kamışsı yumak (Tall fescue)	150-325	30	300
Domuz ayrığı (Orchardgrass)	250-350	20-50	225-315
Tarla Bitkileri			
Arpa (Barley)	125	15	20
Mısır (Corn)	175-200	20-30	110
Pamuk (Cotton)	75-110	15	40
Dane sorgumu (Grain sorghum)	135	15	70
Patates (Potatoes)	230	20	245-325
Soya (Soybean)	250	10-20	30-55
Buğday (Wheat)	160	15	20-45

Erozyonu engellemek ve arıtımın sağlanması için yoğun ve düzenli bir şekilde tutucu bitki çeşitleri tercih edilir. Suya toleranslı bitkilerden, ortama adapte olabilen türler tercih edilir. Bu sistemde atıksuda bulunan amonyak azotu büyük oranda nitrifikasyon-denitrifikasyon mekanizmasıyla giderilirken, bir kısmı da bitkiler tarafından kullanılmak suretiyle yaklaşık %80-90 civarında bir azot giderimi gerçekleşmektedir (Muslu, 1994). Sistemin fosfor giderim mekanizması düşük gerçekleştiğinde işletme aşamasında ölçüm yapılarak bu parametre açısından giderimi artırıcı ek tedbirler alınması gerekebilir (Zwerman ve De Haan, 1973; Kadlec ve Knight, 1996; Drizo ve diğ.,2000).

Yüzeysel akışlı bir sistemle atıksu arıtımı yapılan bir çalışmada, atıksular önce bekletme tankına alınmış, buradan yüzeysel akışlı arıtım bölgelerinden geçirilerek, uzun bekletme süreli stabilizasyon havuzlarına alınmıştır (Ketchum, 1978). Yapılan bu çalışmada yüzeysel akışlı doğal arıtma sistemi %4 lük bir eğimde gerçekleştirilmiş ve atıksuyun yer altı suyuna karışımını önlemek için zemin bentonit (kil) malzemeyle kaplanmıştır. Söz konusu çalışmada 170 mg/L BOI₅ ve 250 mg/L KOI konsantrasyonuna sahip olan giriş suyu arıtılarak BOI₅ 7 mg/L' ye, KOI ise 80 mg/L' ye düşmüştür. BOI₅ için %94'lük, KOI için %54' lük bir arıtmanın gerçekleştiği görülmüştür.

Diğer bir çalışmada (Chen ve Patrick, 1981) azot giderim seviyesi araştırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonunda söz konusu sistem ile arıtılan evsel atıksulardaki NH₄-N giderim oranı %80 – 90 mertebelerinde gerçekleşmiştir.

Başka bir çalışmada, Tedaldi ve Loehr (1991), tam ölçekli bir gıda endüstrisi atıksularının yüzeysel akışlı sistemin kullanıldığı bir arıtma tesisinde inceleme yapmışlar. Bu çalışma sonunda arıtma sisteminin KOİ, BOİ₅, toplam organik karbon ve askıda katı madde giderim verimleri %93, toplam azot için de %84 – 89 oranında belirlenmiş ve çıkış suyu deşarj limitlerine uygun olup olmadığı tartışılmıştır.

Chernicharo vd., (2001) tarafından yapılan çalışmada ön arıtmadan geçen evsel atıksular havasız çamur yataklı reaktörde arıtıldıktan sonra çıkış suyu, yüzeysel akışlı doğal arıtma sistemine verilmiştir. Yüzeysel akışlı doğal arıtım sistemi farklı çalışma periyotları ve organik yükleme oranlarında çalıştırılarak yüksek arıtma verimleri elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonunda KOİ giderim verimleri %50 seviyelerinden % 77' ye BOİ₅ giderim verimleri ise %

50' den % 83' e kadar yükselmiştir. Bunun yanı sıra ortalama TKN giderim verimleri %54, ortalama amonyak verimleri ise % 59 seviyelerinin üzerine çıkmıştır.

Diğer bir çalışmada, yüzeysel akışlı sistemlerin, katı atık depolama alanlarında oluşan sızıntı sularının arıtımında nitrifikasyon için uygun şartlar sağladığı ve arıtma işlemlerini kolaylaştırdığı belirtilmiştir (Sundberg ve diğ., 2007).

Yüzeysel akışlı sistemler ile evsel atıksuların arıtılması üzerine yapılan çalışmada mevsimsel sıcaklık değişimlerinin etkisi, Surampalli ve diğ., (1996) tarafından araştırılmıştır. Sıcak mevsimlerde, ortalama BOİ₅ ve AKM giderimi sırasıyla %89 ve %85 olmuştur. Soğuk mevsimlerde ise, bu parametrelerin giderimi sırasıyla %81 ve %69 olarak bulunmuştur. Bütün yıl boyunca ise BOİ₅ ve AKM giderimi sırasıyla %84 ve %76 mertebesinde. Yaz ve kış ayları için çıkış amonyak azotu değerleri ise sırasıyla 1,2 ve 2,9 mg/L olarak olmuştur. Bu durum özellikle yaz aylarında önemli bir amonyak nitrifikasyonu olduğunu göstermektedir. Çalışma periyodunun çoğunda hidrolik yükleme değerleri 4 cm/gün'den daha düşük alınmıştır. Genellikle düşük hidrolik yüklerde yüksek BOİ₅ giderimleri (%70'den büyük) elde edilmiş, ancak AKM giderimi biraz düşük olmuştur.

Jenkins vd., (1984) yüzeysel akışlı sistemlerin, evsel atıksularda öncelikle organik kirletici maddelerin ve iz organiklerin giderimi için etkili bir süreç olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışmada, yüzeysel akışlı sistemlerle suda bulunan düşük konsantrasyonlu toksik organik maddelerin giderimi araştırılmıştır. Eğim uzunluğunun, uygulama oranının ya da atıksuda yüzeysel akışın eğim üzerindeki ortalama bekleme süresinin bir fonksiyonu olduğunu ve giderim oranlarının birinci dereceden kinetiklerle ifade edildiği belirlenmiştir. Bu çalışmada test edilen 13 bileşikten sadece PCB (Poliklorlu Bifenil) ve az miktarda Pentaklorofenol, toprakta birikmiştir.

Surampalli vd. (2007) tarafından atıksu stabilizasyon havuzunu takip eden yüzeysel akışlı sistem ile yapay sulak alan atıksu arıtım sistemlerinin besleyici madde (nütrient) giderim kapasitesi araştırılmıştır. Ayrıca bu sistemlerde mevsimsel sıcaklık değişimlerinin giderim performansına etkisi araştırılmıştır. Giriş ve çıkış sularında BOİ₅, AKM, pH, sıcaklık, amonyak azotu, toplam fosfor ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda birleşik havuz (stabilizasyon havuzu), yüzeysel akış ve yapay sulak alan sistemler bütünü (seri bağlı) evsel

atıksu arıtımı için uygun olduğu görülmüştür. Çalışmada giderim verimleri; BOI_5 %90, toplam fosfor %84,2, AKM %93,4, amonyak azotu % 90,7 olarak bulunmuştur.

2.1 Sistemin Arıtım Mekanizması

Yüzeysel akışlı sistemlerde arıtım fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç mekanizmada gerçekleşmektedir. Bu çalışmada, gözlemlenen arıtım süreçleri sırasıyla şunlardır; fiziksel arıtım olarak katı madde giderimi, Kimyasal arıtım olarak BOI_5 , azot ve fosfor giderimi, biyolojik arıtım olarakta mikroorganizma giderimi gerçekleşmiştir. Bu sebeple aşağıda ilgili konular hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmuştur.

2.1.1 Katı madde giderimi

Yüzeysel akışlı sistemler atıksularda katı madde gideriminde, algler istisna olarak kabul edilirse, gayet etkili bir sistemdir. Genellikle çıkış suyunda 10 mg/L' den daha düşük AKM sonucu elde edilebilir.

Sisteme verilen atıksu akış hızı genellikle 0,3- 3 cm/sa aralığında olduğundan katı maddeler ortamda tutunabilir. Tutulan bu katı maddeler zamanla biyofilmde substrat olarak kullanılarak giderilir.

Yüzeysel akışlı sistemler algler için iyi bir giderim sağlamazlar. Alg hücrelerinin sistem içerisindeki filtrasyon ve sedimentasyonla giderimleri istenen seviyelerde gerçekleşmemektedir. Alg konsantrasyonunun giriş suyunda yüksek olması yüzeysel akışlı sistemlerde istenmediği için ikinci bir arıtım sistemi ihtiyacını gerekli kılabilir. Yüzeysel akışlı sistem öncesi stabilizasyon havuzu olması halinde oluşan alg patlamaları sistem çıkış suyunu olumsuz olarak etkilemektedir. Alg giderimini geliştirmek için bu havuzlara veya lagünlere ek arıtım işlemlerinin yanında ayrıca atıksuyun düşük akış hızı ile sisteme verilmesi gerekir (0,09 m³/m.sa). Diğer bir önlem olarakta dengeleme havuzu veya lagünlerde alg patlamalarını engellemek için su mercimeği bitkisi çeşitli bölgelerde uygulanmış ve katı madde çıkış konsantrasyonları 30 mg/L' nin altına düşürülmüştür (Reed,1989).

Askıda katılar çimlen ve organik döküntüler arasından geçerken çökeltme ve filtrasyonla tutulmakta, toprak yüzeyindeki biyolojik tabaka tarafından adsorplanarak

giderilmektedir. Yüzeysel akış yönteminde akış hızının düşüklüğünden ve sığ akış derinliğinden dolayı askıda katıların çoğu uygulama noktasından birkaç metre sonra giderilmiş olur.

2.1.2 BOİ giderimi

Yüzeysel akışlı sistemde BOİ₅ giderimi toprak ve bitki yüzeyinde oluşan biyofilmde gerçekleşmektedir. Biyofilmde bulunan bu mikroorganizmalar atıksuda bulunan çözünebilir organik maddelerden besin olarak yararlanırlar. Bu şekilde yeni hücreler oluşturur ve atıksuyu arıtırlar. Sonuçta biyofilm çok yoğunlaşmaya başlar bu nedenle de aşırı bir büyüme gözlenir. Toprağa ve bitki yüzeyine en yakın hücreler gerekli çözünmüş oksijeni sağlayamadıkları için ölürlür. Diğer sabit filmli reaktörlerin aksine nasılsa ölü biyolojik katılar sistemden kaldırılamadığında da sistemde herhangi bir kayda değer değişim görülmez (Reed, 1989).

2.1.3 Azot giderimi

Katı madde ve BOİ₅ çıkış konsantrasyonları genellikle uygulama oranından bağımsızdır. Ancak azot çıkış konsantrasyonu için aynı ifade kullanılamaz. Sistemdeki azot giderimi mekanizması, bitki alımı, nitrifikasyon- denitrifikasyon ve amonyak buharlaşmasından oluşmaktadır. Azot çıkış konsantrasyonları, organik karbon, sıcaklık ve atıksu uygulama oranı ve işletme planına bağlıdır. Yüzeysel akışlı sistemlerde, bitki alımından yaklaşık %20 – 30 arasında toplam azotu giderirler. Rutin hasat ve bitkilerin biçilmesi de bitki tarafından azot alımını gerçekleştiren mekanizmalardandır. Yağmurlama şeklinde uygulama tekniklerinde atıksuyun pH'ına bağlı olarak, amonyak %5 – 40 arasında buharlaşma ile gaz fazına geçmesiyle kayıp olur. Ortalama amonyak kaybı (buharlaşma ile gaz fazına geçerek) %7 – 11 arasında değişmektedir. Sistemdeki buharlaşma kaybı genel olarak %5'ten daha azdır.

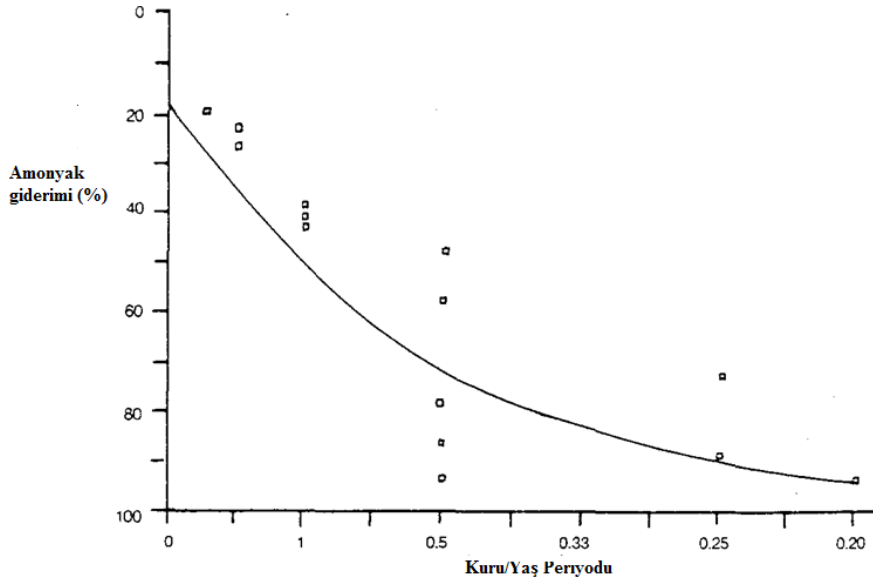
Sedimentasyon ve filtrasyon mekanizmasıyla askıda organik azotun giderimi sağlanır. Çıkış suyunda amonyak azotu ve dönüşen amonyak, toprak üzerindeki iyon değişim reaksiyonlarıyla absorbe edilir ve nitrifikasyon oluşur veya organik madde atıksuda kanallardan akışa geçer. Tutulamayan kısım da amonyak ve nitrifiye madde olmuş olarak aşığıya iner.

Absorbe edilen amonyakın nitrifikasyonu atıksu uygulamasında toprakta aerobik ortam

olduğu sürece gerçekleşir. Atıksuda adsorbe edilen amonyak dinlenme periyodunda nitrifiye olur. Dinlenme periyodu sırasında nitratin açığa çıktığı mikroanaerobik çevrede biraz denitrifikasyon oluşmaktadır. Atıksu tekrar uygulandığında karbonlu madde katılımı ve daha fazla anaerobik ortamın oluşması sonucu daha fazla denitrifikasyon gerçekleşir. Kalan nitrat verilen atıksuya geçerek ve çıkış suyunda görülür, bir kısımda sızmayla giderilmiş olur. Uygun denitrifikasyon için C:N oranının 2,5: 1 ya da daha büyük olması gereklidir (Reed, 1989).

Oksijen mevcudiyeti, atıksu uygulama oranı, pH ve sıcaklık amonyağın nitrata okside olmasını etkiler. 5 C° ' den daha düşük sıcaklıklarda da nitrifikasyon oluşur. Amonyak giderme verimi kuru yaş oranına ters orantılı olarak değişir.

Hidrolik uygulama oranı, uygulanan atıksuyu miktar olarak(hacim ya da derinlik) ,tüm set alanına uygulanmasıyla kuru /yaş döngüsü üzerinde değerlendirilir. Eğer kuru yaş oranı ve uygulama döngüsü biliniyorsa, uygulama oranlarına bağlı olarak hidrolik uygulama oranı ve uygulama oranı değiştirilebilir. Kuru yaş periyot oranına göre amonyak giderimine etkisi Şekil 2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kuru yaş periyodunun amonyak giderimine etkisi (Reed, 1989).

2.1.4 Fosfor giderimi

Kısa süreli fosfor giderimi sedimentasyon ve toprak adsorpsiyonuyla oluşurken, uzun süreli fosfor giderimi bitki alımı ve toprak adsorpsiyonuyla oluşmaktadır. Yüzeysel akışlı sistemlerde fosfor giderim verimi ilk birkaç yılda, toprak su temasının yeterli olmaması nedeniyle çok düşük olabilir. Bu durumda ortalama fosfor giderim verimi % 50 civarındadır. Genel olarak bu sistemlerde fosfor giderimi % 84 ve 89 arasında değişmektedir (Reed, 1989). Beklenen giderim verimi aralığı % 20 - % 60 arasında değişmektedir. Giderim verimi alüminyum sülfat eklenerek arttırılabilir. Ham evsel atıksuya arazi uygulamasından önce içersine 20 mg/l konsantrasyonunda alüminyum sülfat ilave edilmiş ve başlangıçtaki 8.8 mg/L'lik fosfor konsantrasyonunun 1.5 mg/L'te düştüğü, diğer bir deyişle %85 giderimi sağlandığı görülmüştür (Güneş, 2000).

2.1.5 Mikroorganizma giderimi

Yüzeysel akış sisteminde mikroorganizma gideriminde esas sorumlu mekanizmaları; yüzeydeki organik tabaka, bitki örtüsünde oluşan sedimentasyon ve filtrasyon, toprak partiküllerince sorpsiyon, toprak canlıları tarafından parçalanma, güneş radyasyonu ile yok edilme ve kurumadır. Yüzeysel akışlı sistemler fekal koliform giderimi için etkili sistemler değildir. Fekal koliform konsantrasyonu hangi atıksuyun uygulanacağı için önemlidir. Enterik virus giderimi % 85 lerde olduğu önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Reed, 1989). Toprağın üst yüzeyinde çok küçük bir virüs nüfuzu gözlemlenmiştir. Genel olarak yüzeysel akışta patojen organizmaların, virüslerin ve indikatör organizmaların giderilmesi diğer konvansiyonel sistemlerden çıkan ve klorlanmamış olan ikincil arıtım çıkış suları ile benzerlik gösterir.

2.2 İşletme Parametreleri ve Arıtmaya Etkileri

Yüzeysel akışlı sistemler genellikle arazi uzunluğu 20- 30 m arasında alınması istenirken bu araziye ait eğimi % 2- 8 arasında seçilmektedir. Çoğu atıksu bileşenlerinin giderimi, birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun gerçekleşmektedir ve sistemin akış mesafesi bu koşullara göre hesaplanır.

Arazi uzunluğu ve atıksu uygulama oranı, arıtma performansında giderim için önemli birer

faktördür. Tipik bir yüzeysel akışlı sistemde BOI_5 ve AKM (algler dışında) nın neredeyse tamamıyla ilk 15- 30 m arasında giderildiği belirlenmiştir. Diğer atıksu bileşenleri için arıtım, eğim uzunluğunun daha ilerisinde, sabit bir uygulama oranında gerçekleşir.

Eğer atıksu daha hızlı uygulanırsa, suyun çıkışı daha hızlı olacağından, düşük giderim verimi neredeyse tüm atıksu bileşenleri için elde edilecektir. Atıksu uygulanırken dikkat edilmesi gereken iki parametre vardır; atıksu uygulama debisi ($\text{m}^3/\text{m.sa}$) ve hidrolik yüküdür (cm/gün).

Uygulama oranı ve set uzunluğu diğer iki önemli tasarım faktörlerindendir. Bu iki parametrenin kombinasyonu, hem alan ihtiyacını hem de arıtma performansının belirlenmesi için önemlidir. Uygulama oranı artırıldığında, set uzunluğu da mutlaka artırılmalıdır(Reed, 1989).

Yüzeysel akışlı sistemlerde arazi ölçekli uygulamalarda şu hususlara dikkat edilmelidir;

Hem sıcaklık, hem de yağış, yüzeysel akışlı sistem seçilirken iyi değerlendirilmelidir. Sıcaklık iki yoldan etkili olur. Birinci yol, sıcaklık donma sıcaklığının altına düşerse, su toprakla temas edemeyeceğinden olumsuz yönde etkilenecektir. İkincisi ise, sıcaklık arıtma performansını olumsuz yönde etkiler. Sıcaklığın $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ altına düşmesi halinde özellikle azot gideriminde düşme olur.

Yağış, arıtma performansını belirgin olarak etkileyen bir faktör değildir. Sadece AKM ve BOI konsantrasyonları yağışlı günlerde çıkış suyunda çok az değişmektedir. Yağış sonucu oluşan çıkış suyunda, kirleticinin kütle miktarı bariz bir şekilde artar.

Yüzeysel akışlı sistemlerde atıksu uygulaması, giderme performansına zararlı bir etki yapmıyorsa ve uygulama/dinlenme periyodu oranını arttırmıyorsa, haftada 7 gün uygulanabilir. Çoğu yüzeysel akış sistemi uygulama/dinlenme periyodu oranı 1 yada daha az olacak şekilde çalıştırılmıştır. Amonyak gideriminin, düşük periyotlu uygulamalarda daha iyi olduğu görülmüştür(Johnson, 1988). Atıksu uygulama süresi oranının yüksek olması, BOI_5 giderimini azaltmaktadır. Daha uzun işletim periyotlarında (4 gün uygulama ve 2 gün dinlenme) ikinci arıtma çıkış suyunu denitrifiye etmek için karbon gerektirmektedir. Yükleme periyotunu 4 gün ile sınırlandırmak, sivrisinek tehdidini de azaltmaktadır. En uzun işletim periyodu, Avustralya' da 6 ay uygulama, 6 ay dinlendirme ile bir yıl olarak gerçekleştirilmiştir.

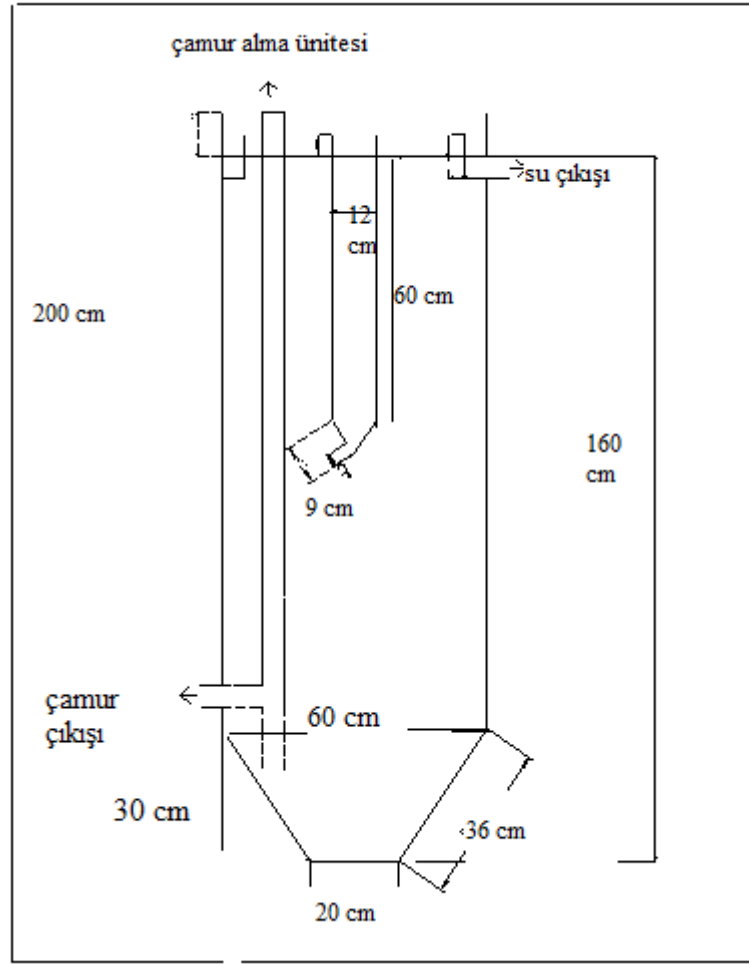
3. MATERYAL VE METOD

3.1 Deneysel Çalışma Düzenegi

3.1.1 Ön arıtma

Atıksu arıtımında yüzeysel akışlı arıtım sisteminin tek başına uygulanması uygun değildir. Bu durumda, evsel atıksu mutlaka bir ön arıtmadan geçirilerek sisteme verilmelidir. Bu çalışmada ön arıtma Imhoff tankıyla yapılmıştır. Imhoff tankı aktif çamur sistemine benzer, ancak daha ucuz bakım ve maliyet imkânı sağlar. Imhoff tankı arıtma performansı sıcaklık ve giriş suyu karakterine göre değişir. Tipik bir imhoff tankında giderim verimi BOI_5 parametresinde %10 – 40, KOI için % 25 – 50 ve AKM de ise %20- 70 aralıklarında değişmektedir (Reynolds, 1996; Sasse, 1998).

Ham evsel atıksu öncelikle çökelebilen katıların giderilmesi ve anaerobik çürümenin sağlanması için, septik tank ile benzer özellik gösteren Imhoff tankında bekletilmektedir. Pleksiglasdan yapılan Imhoff tankı 160 cm, 60 cm ve 30 cm ölçülerinde dikdörtgen prizma şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 3.1). Sisteme gelen atıksu Imhoff tankının içinde yer alan 76 cm boyunda 12 cm çapında bir silindirden geçerek dinlenen atıksu 10 cm derinliğinde (suyun içindeki derinliği 5 cm) savaktan süzülerek sistemden çıkmaktadır. Imhoff tankı aşağı akışlı olarak günde 10 litre beslenmektedir. Imhoff tankının en alt kısmı 30 cm derinliğinde 60° açığa sahip bir çöktürme havuzu gibi planlanmıştır. Burada biriken fazla çamur uygun görülen zamanlarda çamur tahliye musluğundan çekilecektir. Sistemin laboratuvar ortamında çalışan görünümü Şekil 3.4’ te verilmiştir. Imhoff tankına beş litre hacimli kaplarla evsel atıksu doldurulmuş, tam savaklanma seviyesine geldiğinde toplam hacim 245 lt olarak belirlenmiştir. Imhoff tankı çevresi ışık geçirgenliğini engellemek amacıyla kaplanmıştır. Atıksuyun Imhoff tankında bekleme süresi 24,5 gündür. Bir bidon içerisindeki akvaryum pompasıyla karıştırılan atıksu, peristaltik pompayla kesikli olarak Imhoff tankına verilmiştir. Ön arıtımı sağlanan, üstten savaklanmış atıksu 20 litrelik bidonda biriktirilerek, önce Küçük Boyutlu YADA Sistemine verilmiştir.

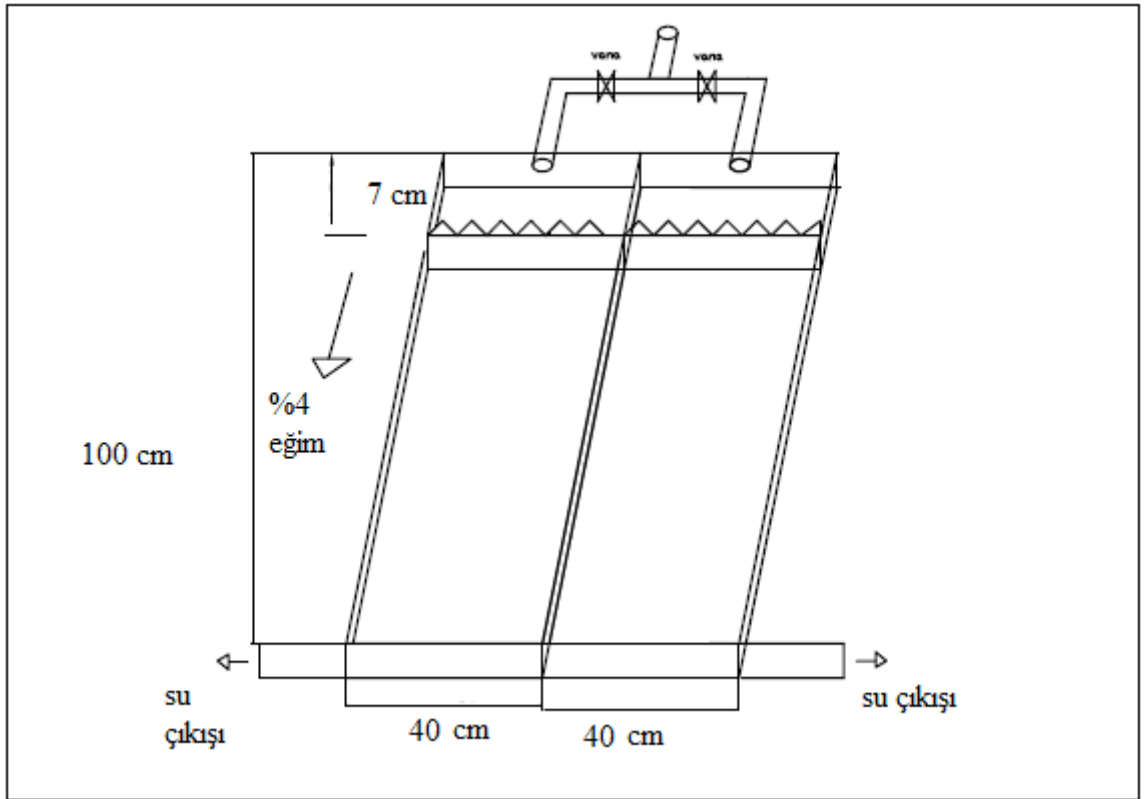


Şekil 3.1 Imhoff Tankı

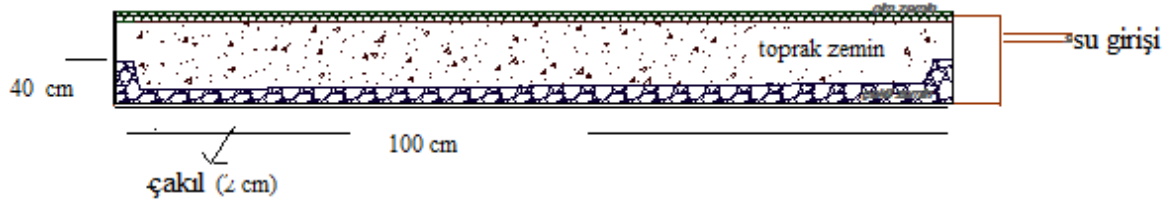
3.1.2 Küçük boyutlu YADA sistemi

Evsel atıksuyun doğal arıtım çalışmaları için laboratuvar ölçekli üç adet Yüzey Akışlı Doğal Arıtım Sistemi kullanılmıştır. Yüzey Akışlı Doğal Arıtım sistemlerinin ikisi aynı ölçüde olup, boyu 100 cm, eni 40 cm, yüksekliği 7cm dir ve pleksiglasdan yapılmıştır (Şekil 3.2). İki sistem, demir ayaklarla eğim % 5 olacak şekilde (Şekil 3.5) banko üzerine yerleştirilmiştir. Reaktörün tabanına 2 cm çapında çakıl ($\varnothing$ 1-2 cm) ve üzerine bitki toprağı yerleştirilmiştir. Giriş ve çıkış bölümlerine düzgün akımın sağlanması için, (giriş; $\varnothing$ 1-2 cm, çıkış; $\varnothing$ 0.5-1 cm) ayrıca çakıl yerleştirilmiştir. Sistemin en kesiti Şekil 3.3’ te verilmiştir. Toprak geçirimsizliği herhangi bir bitkilendirme yapılmadan önce, toprak tabakası

sıkıştırılarak sağlanmıştır. Bu yapının üzerine hazır rulo çim karışımı serilmiştir. Hazır rulo çim; *Poa pretensis*, *Lolium sp*, *Festuca rubra* türlerinin karışımıdır. Bu çimler her mevsimde yetişmektedir ve yaygın olarak park-bahçe düzenlemelerinde kullanılmaktadır. Bu çimlerin karışımı arıtım için çok avantajlıdır (Droste, 1997). Bu çalışmada seçilme sebepleri suya dayanıklı olmaları, toprak yüzeyini iyi kaplamaları ve kök gelişimlerinin iyi olmasındandır. Hazır rulo çim kesiti Şekil 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.2 Küçük boyutlu YADA sistemi



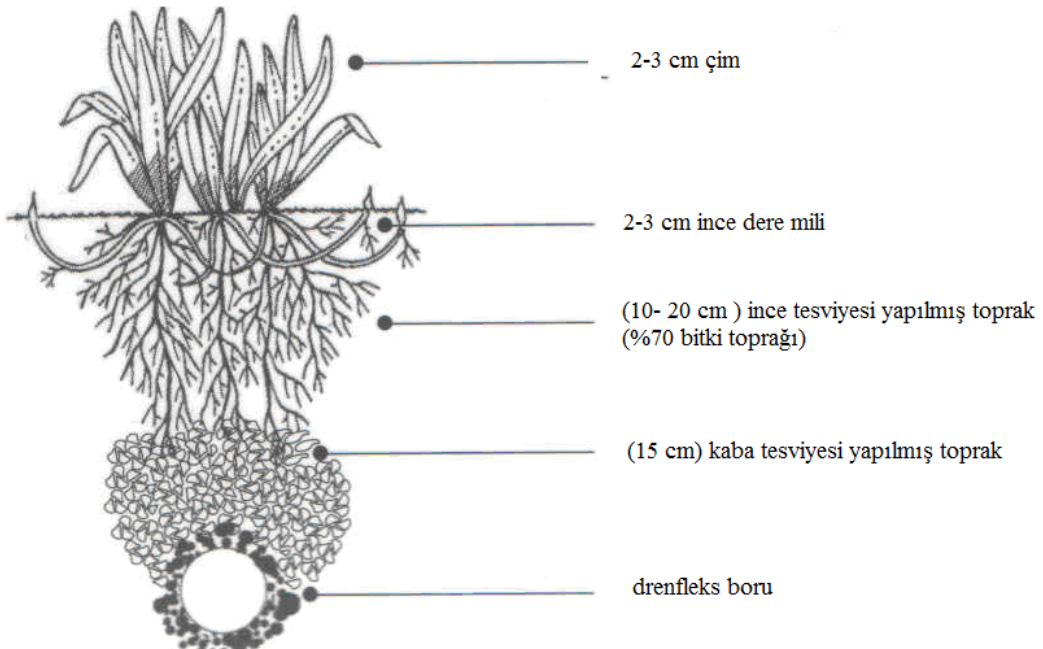
Şekil 3.3 Küçük Boyutlu YADA sistemi en kesiti



Şekil 3.4 Laboratuvar ölçekli Imhoff Tankı



Şekil 3.5 Laboratuvar ölçekli küçük boyutlu YADA sistemi

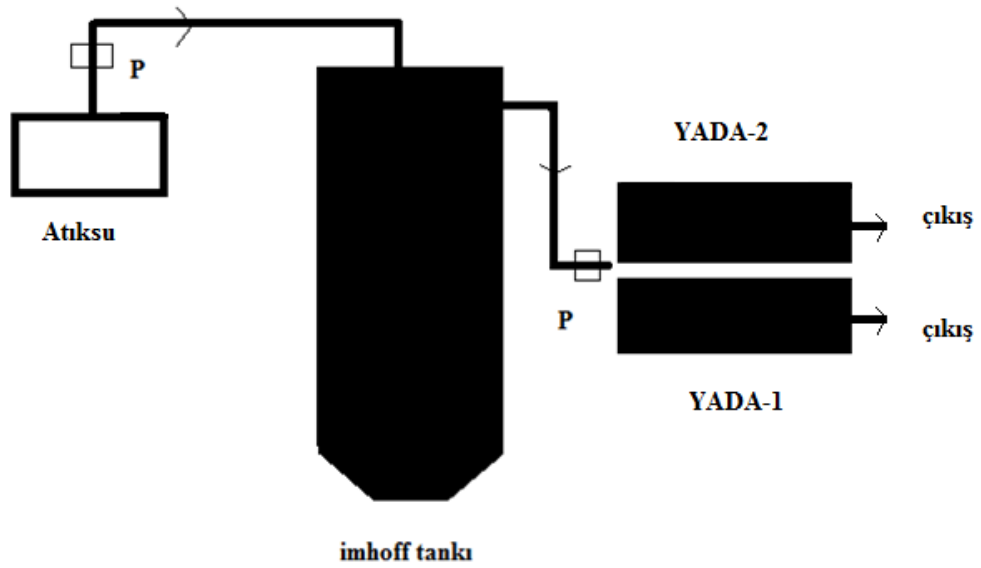


Şekil 3.6 Rulo çim kesiti

Evsel atıksu, Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisi'nden (ön arıtma sonrası) temin edilmiştir. YADA sistemi atıksu uygulamasına başlamadan önce hazır gübre ve fosfatlı bileşiklerden elde edilen sentetik bir çözeltiyle beslenmiştir (4,6 gr üre, 30 gr $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ lt musluk suyuunda çözünmüştür). Gün aşırı, peristaltik ile pompa sisteme 6 saatte yaklaşık 4 L. sentetik besi suyundan verilmiştir Ardından sistem 18 saatlik bir dinlenme periyoduna alınmıştır. Hidrolik yük 1.1cm/ gün' dür.

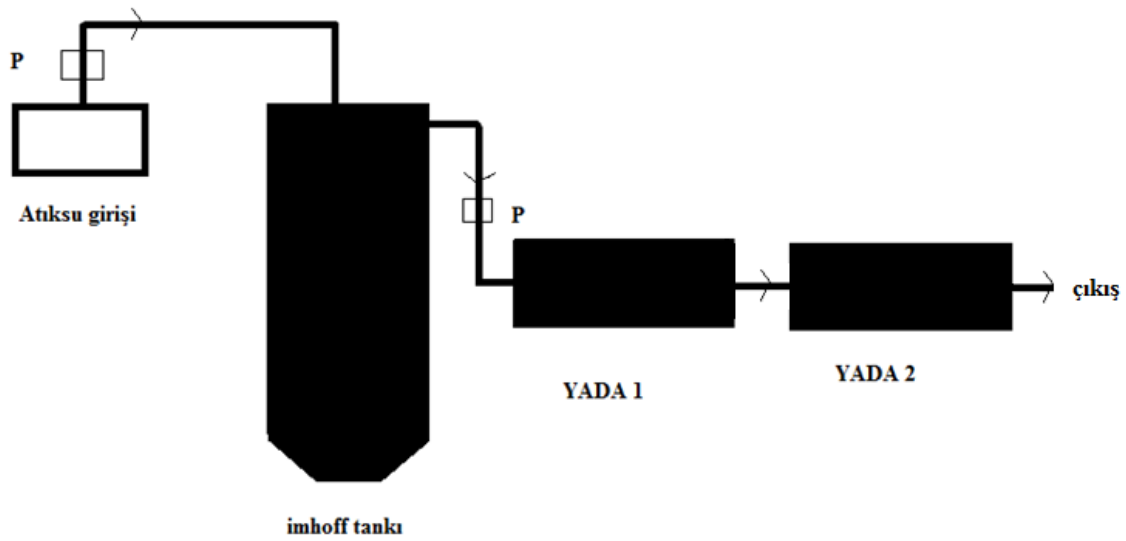
Çalışma 4 ay sürmüştür ve üç ayrı evrede tamamlanmıştır. Çalışma boyunca ön arıtım için Imhoff tankı kullanılmıştır.

Küçük boyutlu yüzeysel akışlı arıtım sistemler, önce birbirinden bağımsız, paralel olarak çalıştırılmıştır. Sistem 1,1 cm/ gün hidrolik yükü, dinlenme süresi 38 saat olarak çalıştırılmıştır. Paralel bağlı YADA sistemlerinin akış diyagramı Şekil 3.7' de görülmektedir.



Şekil 3.7 Ön arıtım olarak Imhoff tank sistemiyle çalıştırılan paralel bağlı YADA sistemlerinin akış diyagramı

Imhoff tankı çıkış suyu daha sonra, küçük boyutlu sisteme seri bağlı olarak uygulanmıştır. Imhoff tankında çıkan atıksu YADA-1'e uygulandıktan sonra, buharlaşma ve evapotranspirasyon kaybı sebebiyle daha düşük bir uygulama oranıyla sisteme verilmiştir. Sistem akış diyagramı Şekil 3.8' te görülmektedir.



Şekil 3.8 Ön arıtım olarak Imhoff tankı uygulaması akış diyagramı

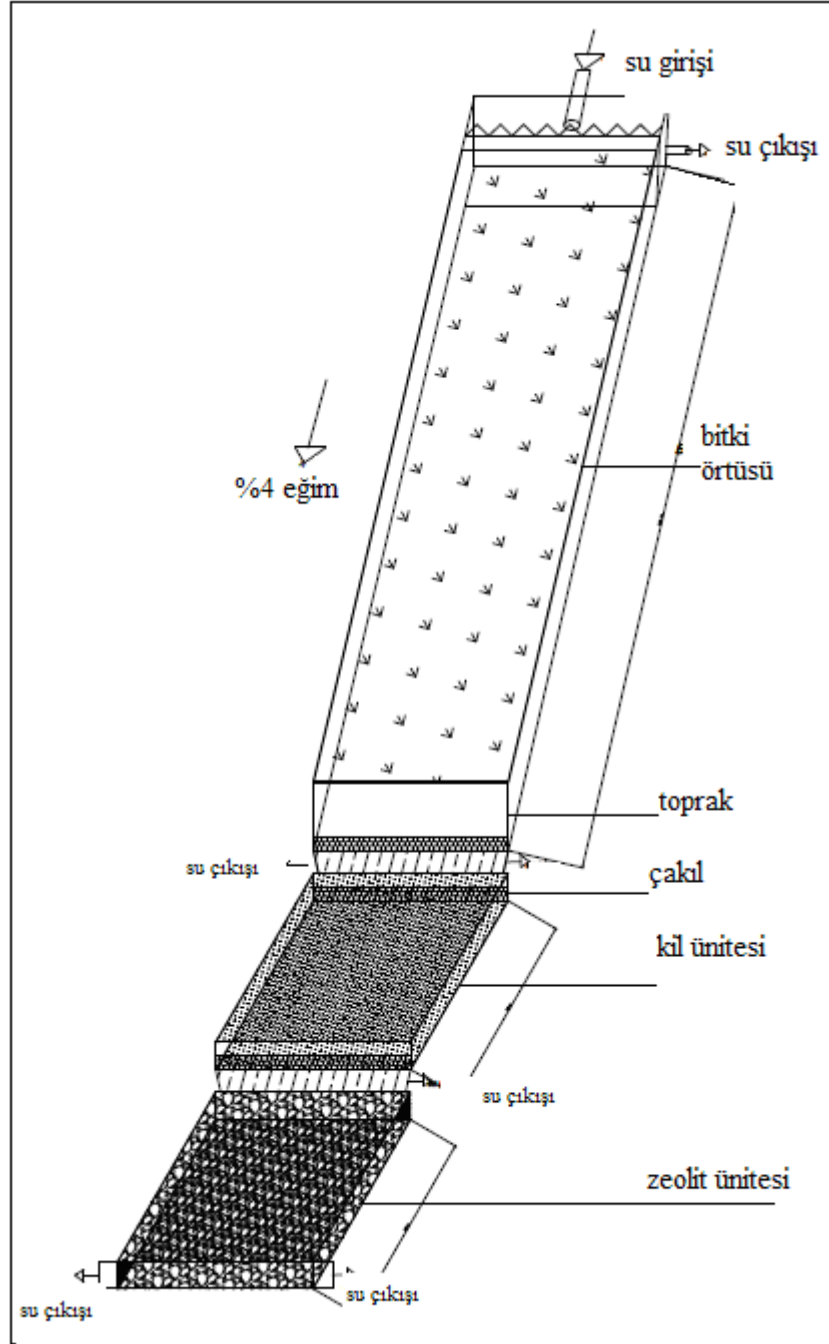
3.1.3 Büyük boyutlu YADA sistemi

Bir önceki bölümde anlatılan çalışmalardan sonra, derinliği ve uzunluğu arttırılmış olan, yeni YADA sistemi (Şekil 3.9) devreye alınmıştır.

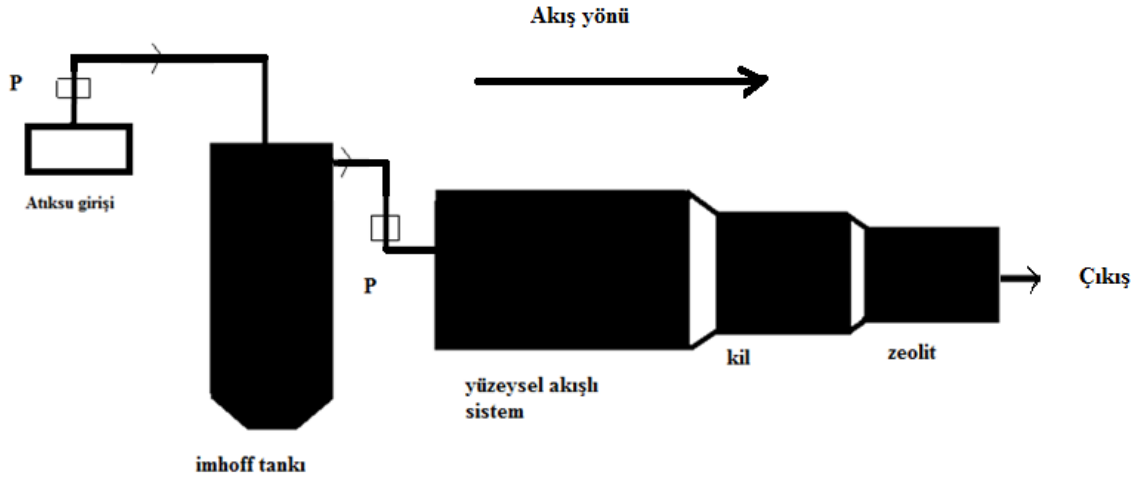
Sistemin boyutları; uzunluk 180 cm, genişlik 50 cm, yükseklik 17,5 cm'dir. Sistem çıkışına kil ve zeolit üniteleri eklenmiştir. Kil ünitesi boyutları; 50 cm x 50 cm x 13.5 cm' dir. Büyük boyutlu YADA Sistem çıkışı suyu kil ünitesine verilmektedir. Zeolit ünitesi boyutu da 50 cm x 50 cm x 13,5 cm' dir. Sistemin akış diyagramı ve en kesiti sırasıyla Şekil 3.10 ve Şekil 3.11' de görülmektedir. Amaç, özellikle azot ve fosfor giderim veriminin arttırılmasıdır. Yüzeysel akışlı arıtım sistemi başlangıçta 6 saat çalıştırılmış, 36 saat dinlendirilmiştir.

Sisteme verilen atıksu, 0, 33 cm /gün'lük bir yükleme hızıyla günde 3 litre atıksu uygulamasıyla başlanmış, iki haftalık bir süreçten sonra 0, 2 cm / gün'lük yükleme hızıyla 6

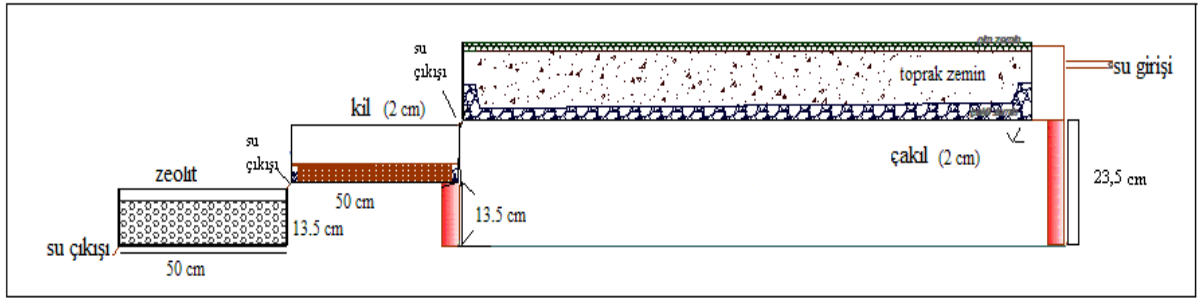
litre uygulanmaya devam edilmiştir. Sistem farklı yükleme oranlarıyla (0.4 cm/ gün, 0,74 cm/ gün, 1,01 cm/ gün, 1,5 cm/ gün) çalıştırılmıştır. Laboratuar ortamında çalışılan büyük boyutlu YADA sistemi Şekil 3.12’ de verilmiştir.



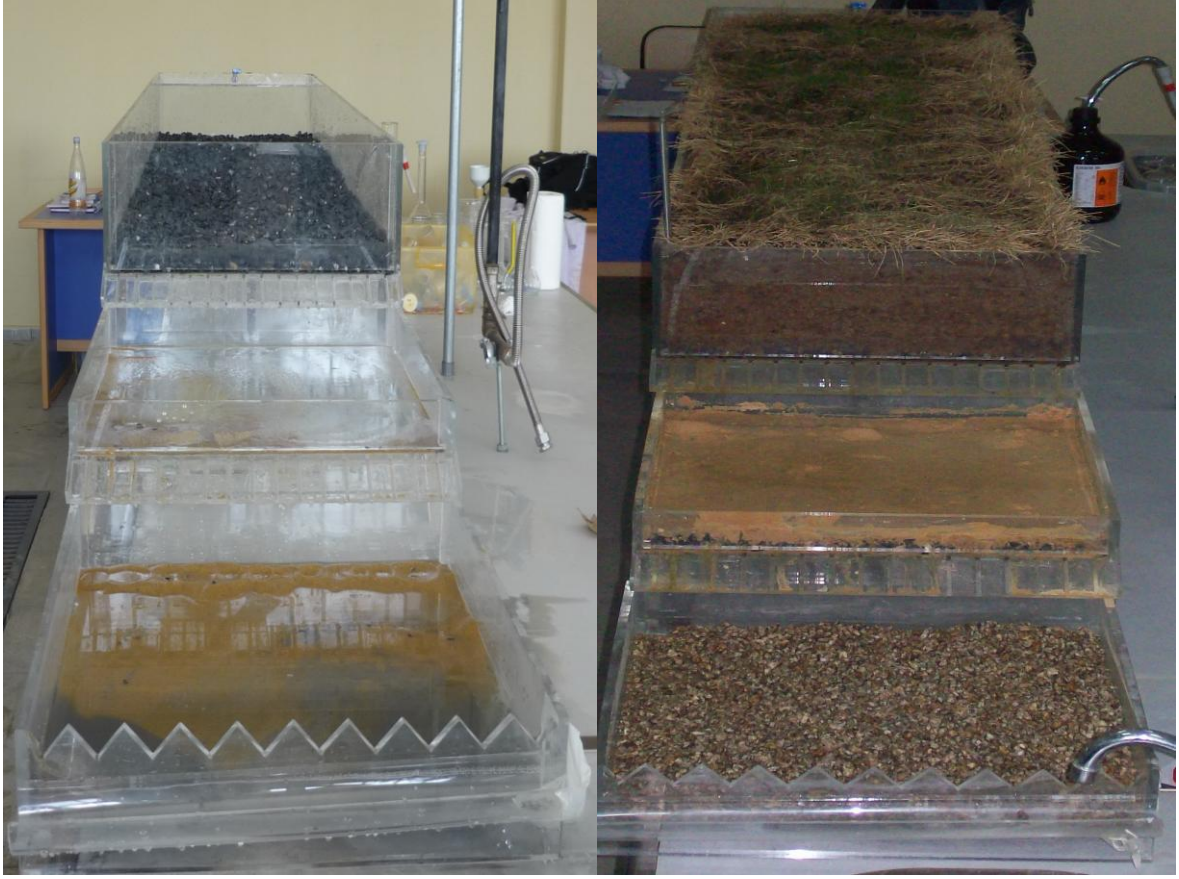
Şekil 3.9 Büyük boyutlu YADA sistemi (üstten görünüm)



Şekil 3.10 Büyük boyutlu YADA sisteminin akış diyagramı



Şekil 3.11 Büyük boyutlu YADA sistemi en kesiti



Şekil 3.12 Laboratuvar ölçekli büyük YADA sistemi

3.2 Atıksu Kaynağı

Çalışmada kullanılan evsel atıksu Ataköy Biyolojik Arıtım Tesisi ön arıtım çıkışından 2009 Mayıs- Ağustos ayları arasında haftalık periyotlarla temin edilmiştir.

3.3 Yapılan Analizler

Çalışma süresince pH, AKM, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, BOI_5 ve KOİ parametrelerinin ölçümleri Standart Metotlar (2005) göre yapılmıştır. Ham atıksu girişinde, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, KOİ parametreleri, YADA çıkış sularında pH, AKM, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ ve KOİ parametreleri, kil ve zeolit üniteleri çıkışında pH, AKM, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ parametreleri izlenmiştir.

Bu parametrelerden KOİ ölçümleri, açık reflüks yöntemine göre yapılmıştır. AKM parametresi gravimetrik yöntemle yapılmıştır.

Amonyak azotu ölçümleri, iyon kromatograf cihazı ve distilasyon yöntemi kullanılarak titrimetrik (4500-NH₃ C. Titrimetric Method) olarak gerçekleştirilmiştir. TKN ölçümleri de (4500-N_{org} B. Macro-Kjeldahl Method) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. NO₃ ve NO₂ analizleri de ICS- 3000 Ion Chromatography System cihazından yararlanılmıştır.

Fosfor ölçümleri için kalay klorür yöntemi (4500-P D. Stannous Chloride Method) kullanılmış olup PO₄³⁻-P ölçümleri doğrudan renklendirme ile TP ölçümleri ise “asitle parçalama” işleminden sonra renklendirme ile yapılmıştır. PO₄³⁻-P için spektrofotometrik okumalar (Pharmacia LKB marka Novaspec II model) cihaz kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan toprakta, azot ve fosfor birikimini belirlemek amacıyla, çalışma öncesi, çalışma sonrası ve çalışma tamamlandıktan sonra “**Methods of Soil Analysis: Chemical Methods Part 3**” SSSA’ a göre toprak analizleri yapılmıştır.

Toplam koliform ölçümleri, hazır besi yeri (Sartorius- 139H6 (0.45µm)) kullanılarak “Membran Filtrasyon Yöntemi” ile yapılmıştır.

YADA sisteminde giriş ve çıkış sularında, SAR değerinin belirlenmesi için, Ca, Na, mg iyonlarına iyon kromatograf cihazı (ICS- 3000) kullanılmıştır. Çizelge 3.1 de verilen program çerçevesinde ölçümler yapılmıştır.

Örnekler 2 saatlik çalışma sonrasında alınmaktadır. Sistem hafta sonları çalıştırılmamıştır, örnekler giriş ve çıkış sularından alınmıştır. Bütün çalışma süresinde her hafta çimlerin ortalama boyları takip edilmiş, 3 cm olarak kaydedilmiştir. 3 cm’ yi geçtiği zaman haftada bir gün çimler hasat edilmiştir. Çimler, hasat edildikten sonra, etüvde 105 C° de 1 saat bekletilip, 30 dakika desikatörde bekletilerek kuru ağırlık ve yaş ağırlık belirlenmiştir. Ayrıca çalışmanın en sonunda toprakta fosfor ve azot birikimi analizleri yapılmıştır.

Çizelge 3.1 Rutin deney programı

Parametre	Yüzey Akışlı Doğal Arıtma Sistemleri
pH - Sıcaklık	Her gün
KOİ	Haftada 2 kez
AKM	Haftada 1 kez
NH ₃ -N	Haftada 2 kez
TP	Haftada 2 kez
BOİ ₅	İki haftada 1 kez
T.koli veya F.koli	İki haftada 1 kez
TN	Haftada 1 kez

4. DENEYSEL BULGULAR

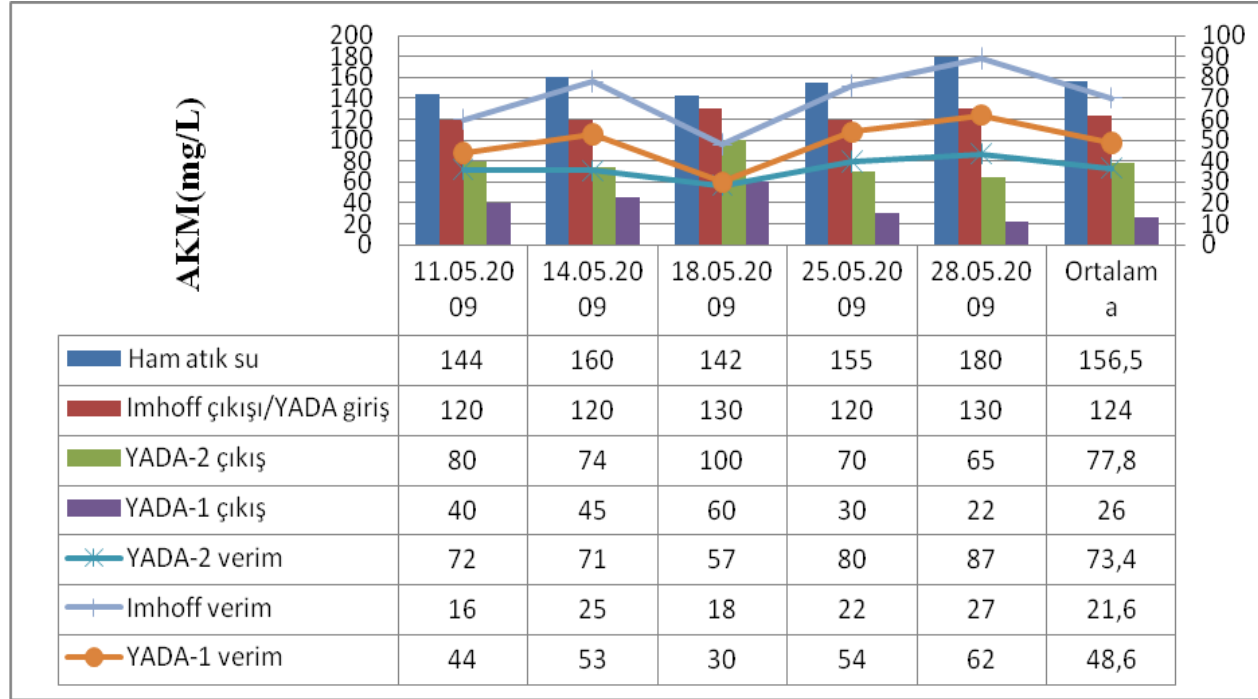
Ataköy atıksu arıtım tesisinden alınan atıksular ile çalışma öncesi yapılan karakterizasyon çalışması sonuçları aşağıdaki çizelgede (Çizelge 4.1) görülmektedir. Zaman zaman yükselen konsantrasyonlar nedeniyle bitkilere zarar vermemek için atıksu çeşme suyuyla seyreltilerek sisteme verilmiştir.

Çizelge 4.1 Ataköy atıksu arıtma tesisi çıkış suyu ortalama değerleri

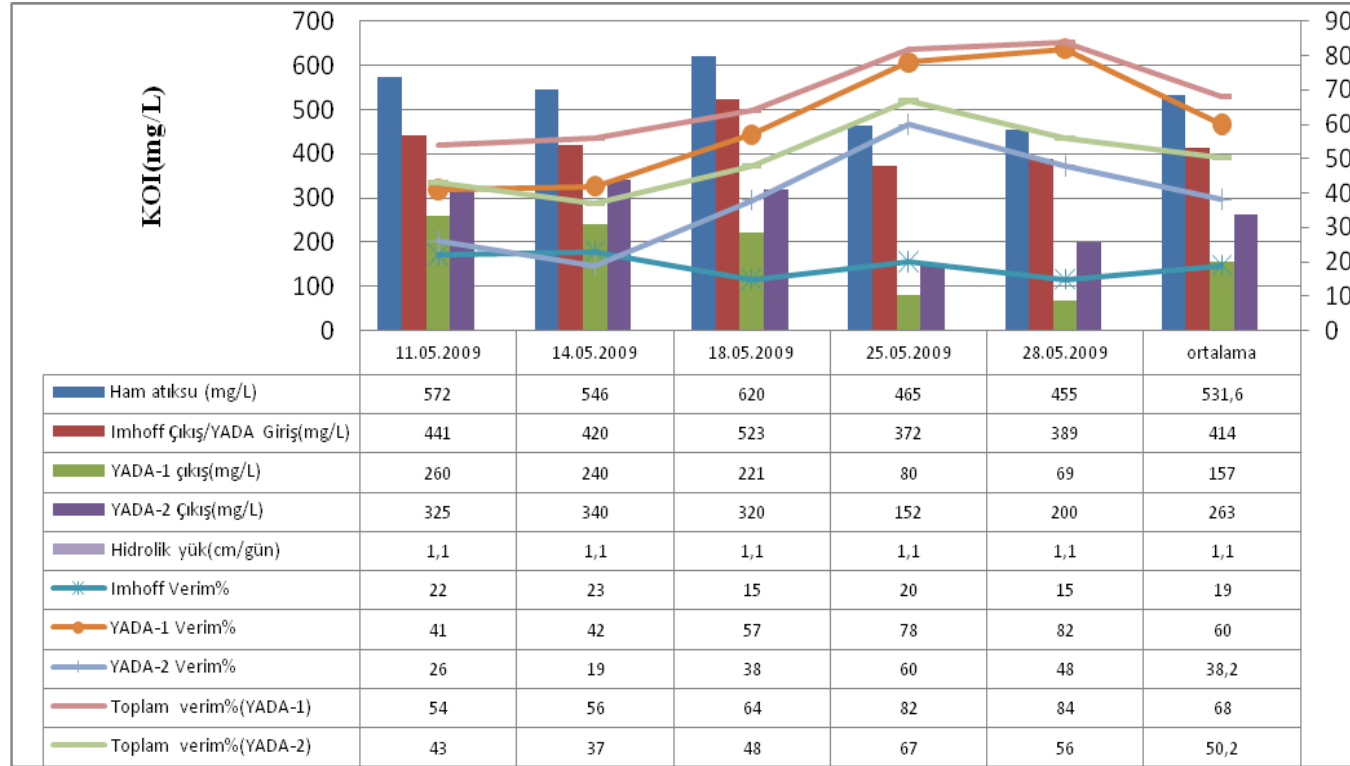
Parametre	Ortalama Değer
pH	7,7
KOI	427 mg/L
BOI ₅	192 mg/L
AKM	153 mg/L
Amonyak Azotu	46 mg/L
TP	16 mg/L
TKN	63 mg/L

Küçük boyutlu paralel YADA-1 ve YADA-2 sistemlerine, ön arıtması yapılmış olan atıksu 1,1 cm/gün lük hidrolik yükleme yapılarak sistem, 38 saatlik bir dinlenmeye bırakılmıştır. Her bir üniteye ayrı ayrı verilen 6 litrelik atıksu 10 saatlik bir zaman diliminde uygulanmıştır. Bu verilen atıksuyun %75'i sistemde kalmıştır.

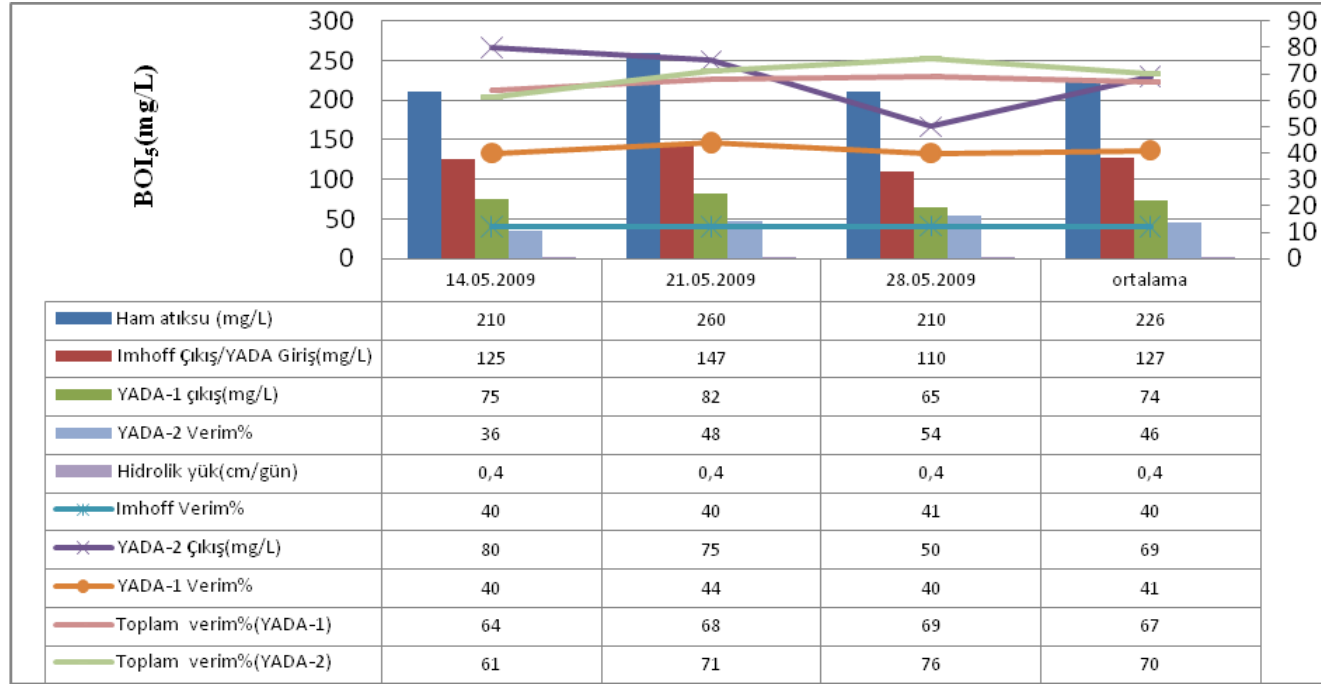
YADA-1 ve YADA-2 sistemlerinde AKM ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ve giderim verimleri Şekil 4.1' de verilmiştir. Sistemin ortalama giderim verimi YADA-1'de % 50, YADA-2' de ise % 73 olarak gerçekleşmiştir.



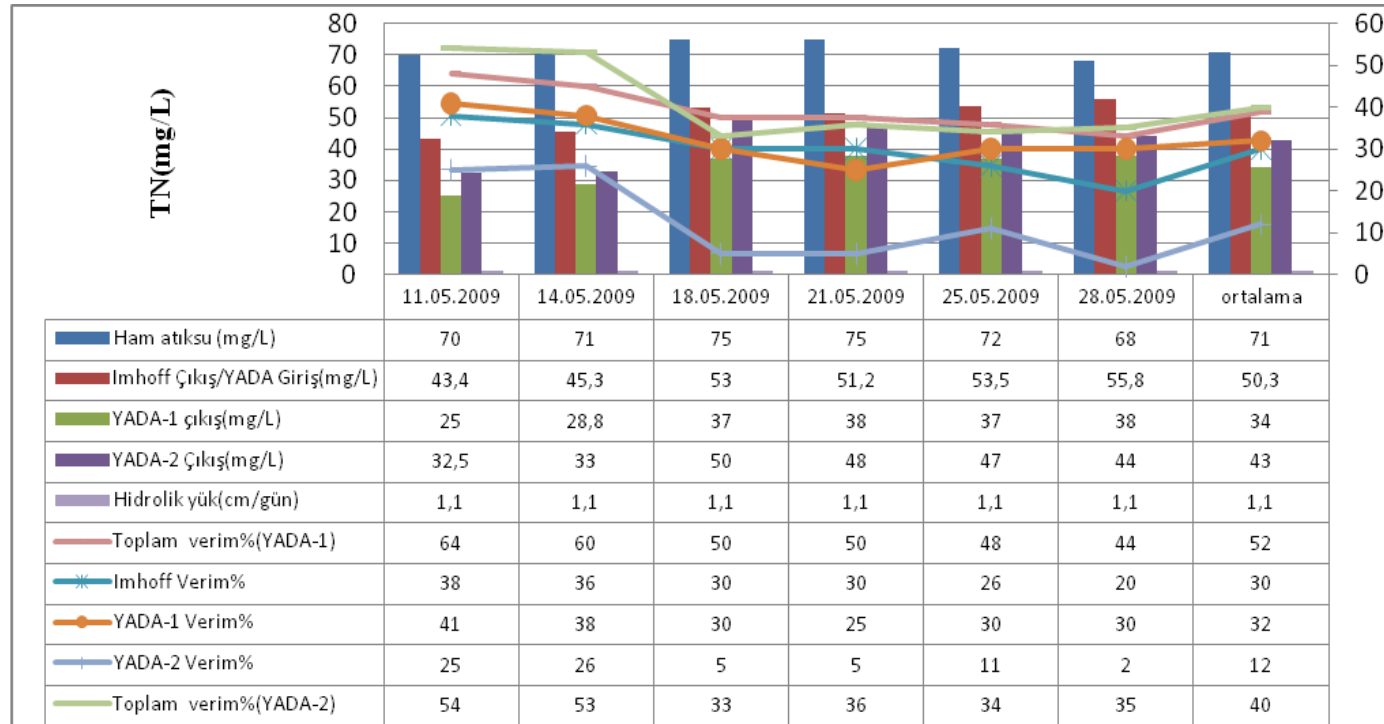
Şekil 4.1 Küçük boyutlu paralel YADA sistemi zamana bağlı AKM değişimi



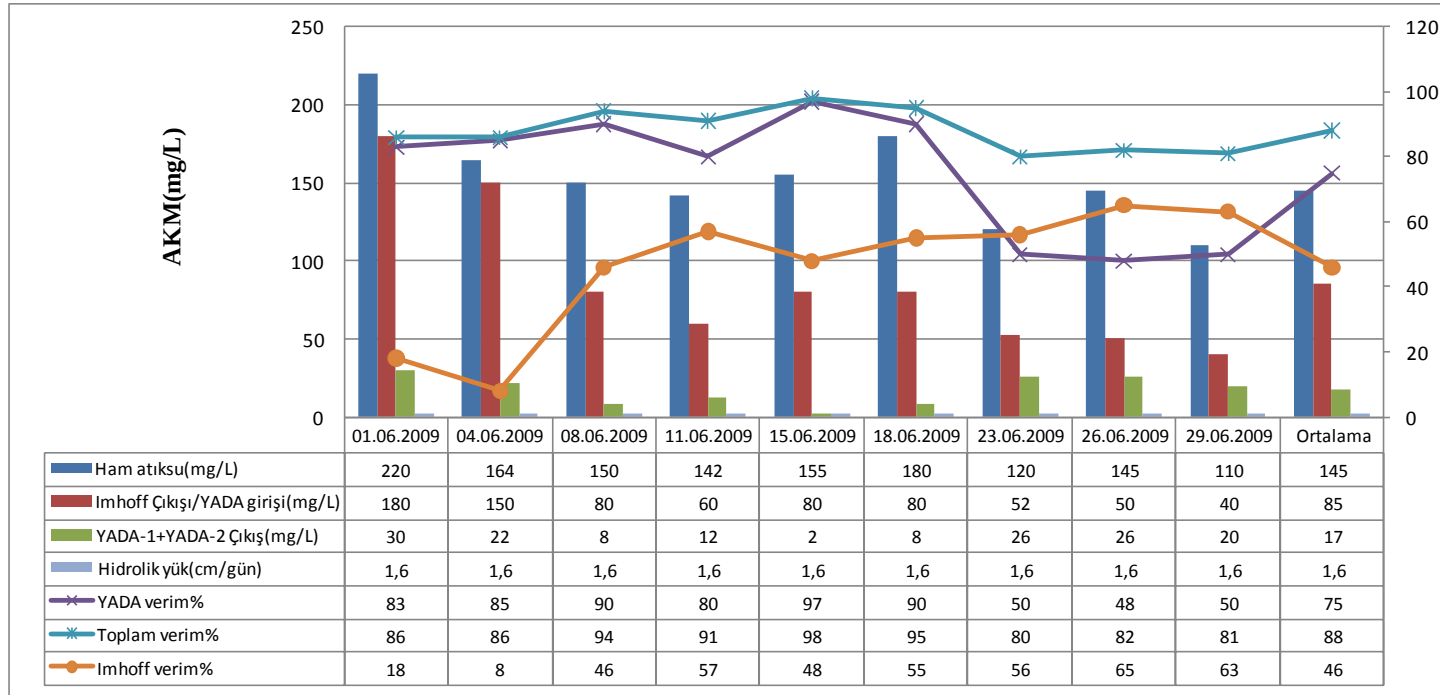
Şekil 4.2 Küçük boyutlu paralel YADA sistemi zamana bağlı KOI değişimi



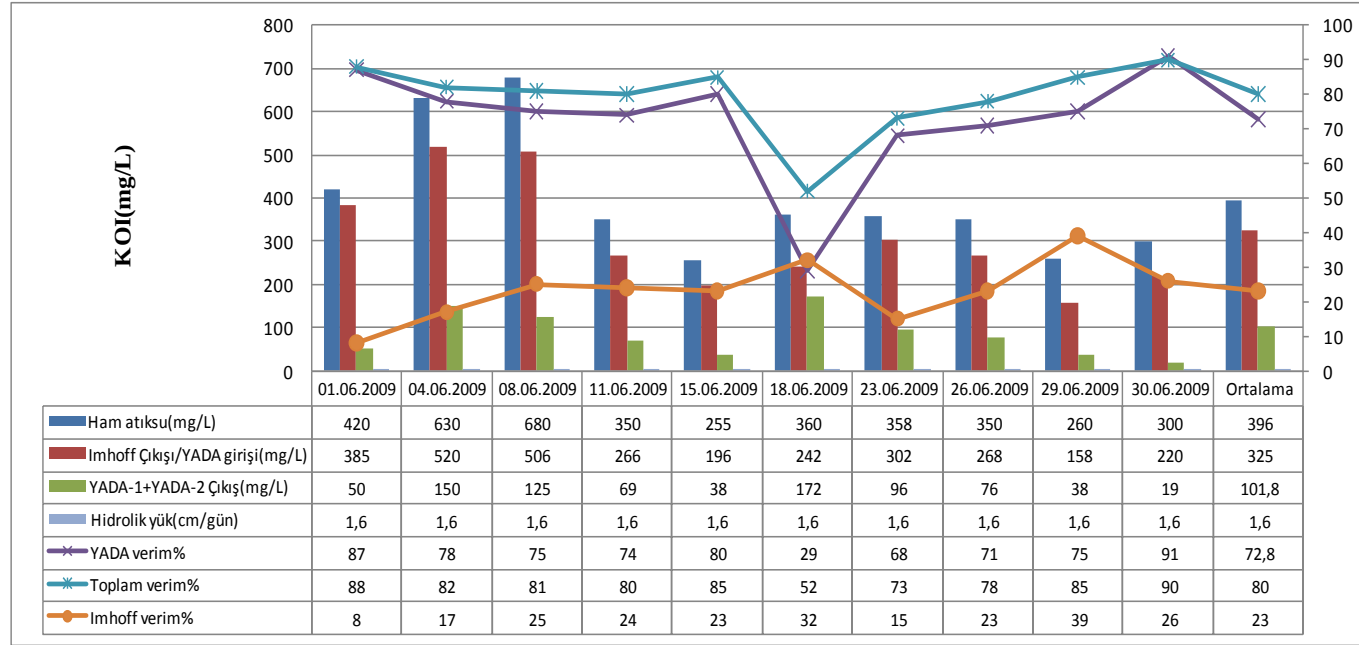
Şekil 4.3 Küçük boyutlu paralel YADA sistemi zamana bağlı BOI₅ değişimi



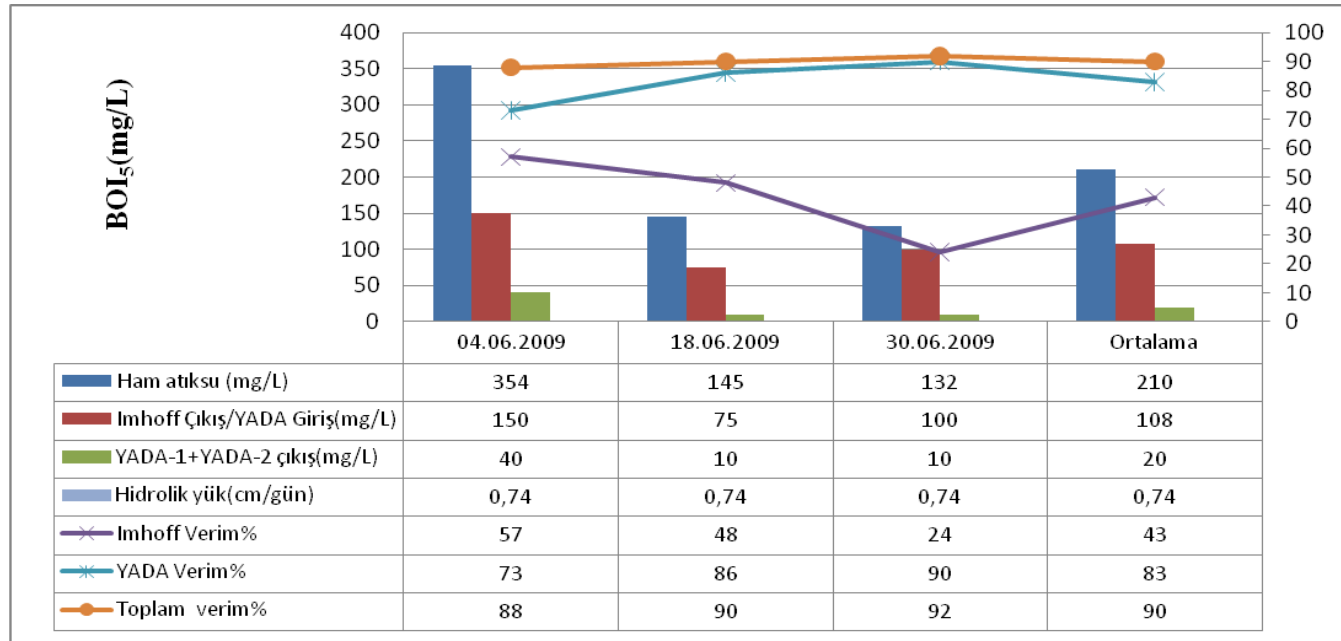
Şekil 4.4 Küçük boyutlu paralel YADA sistemi zamana bağlı TN değişimi



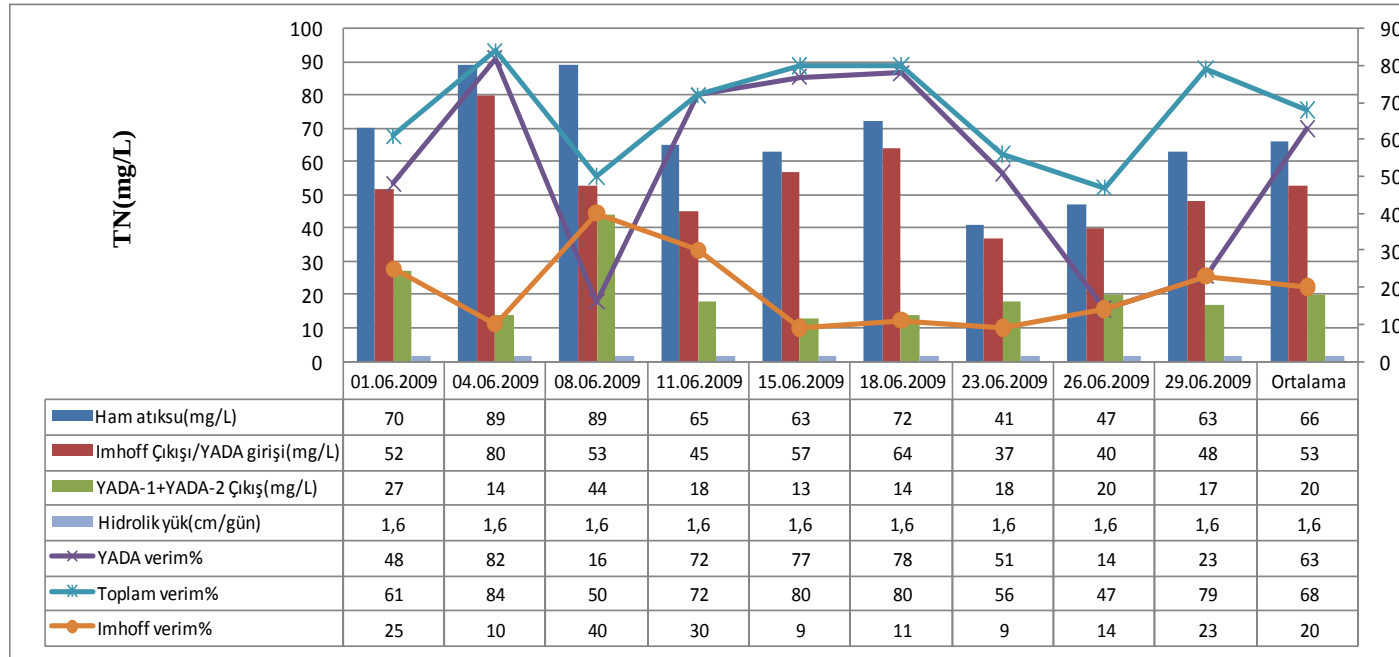
Şekil 4.5 Küçük boyutlu seri YADA sistemi zamana bağlı AKM değişimi



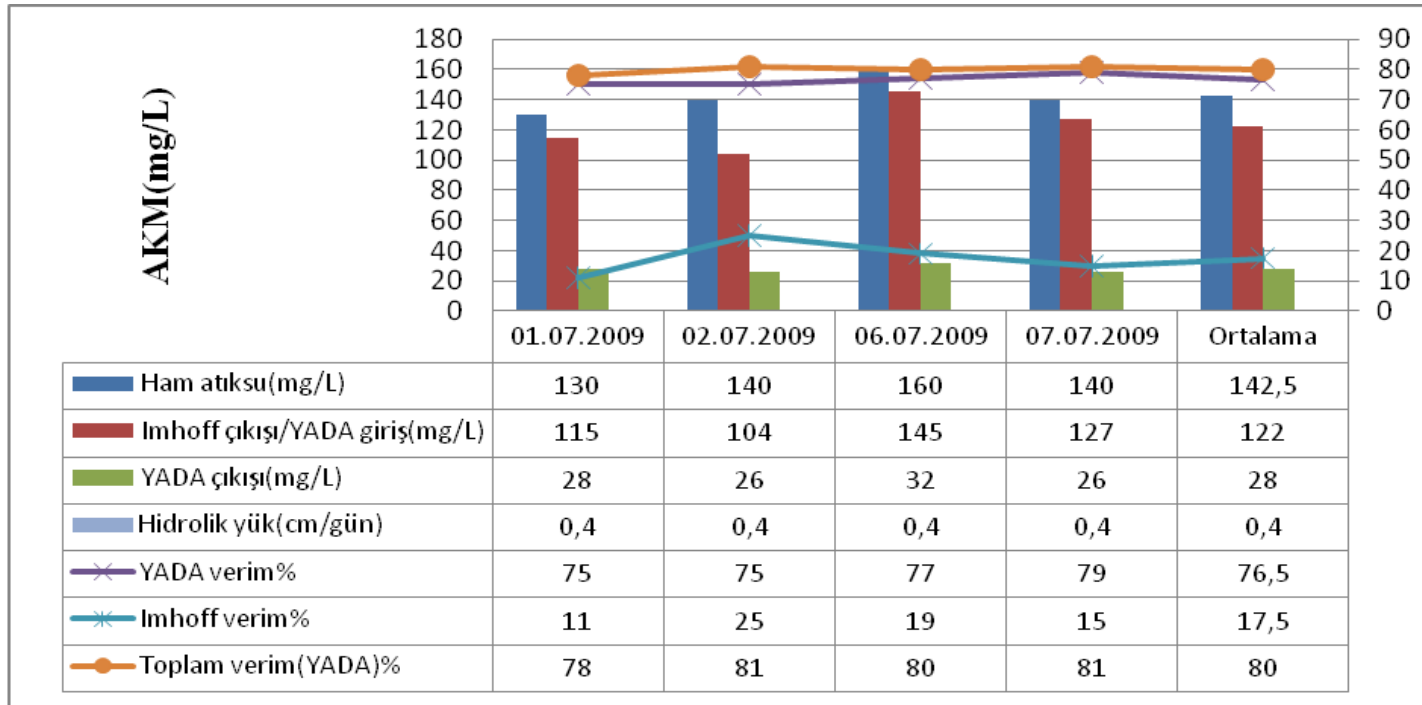
Şekil 4.6 Küçük boyutlu seri YADA sistemi zamana bağlı KOI değişimi



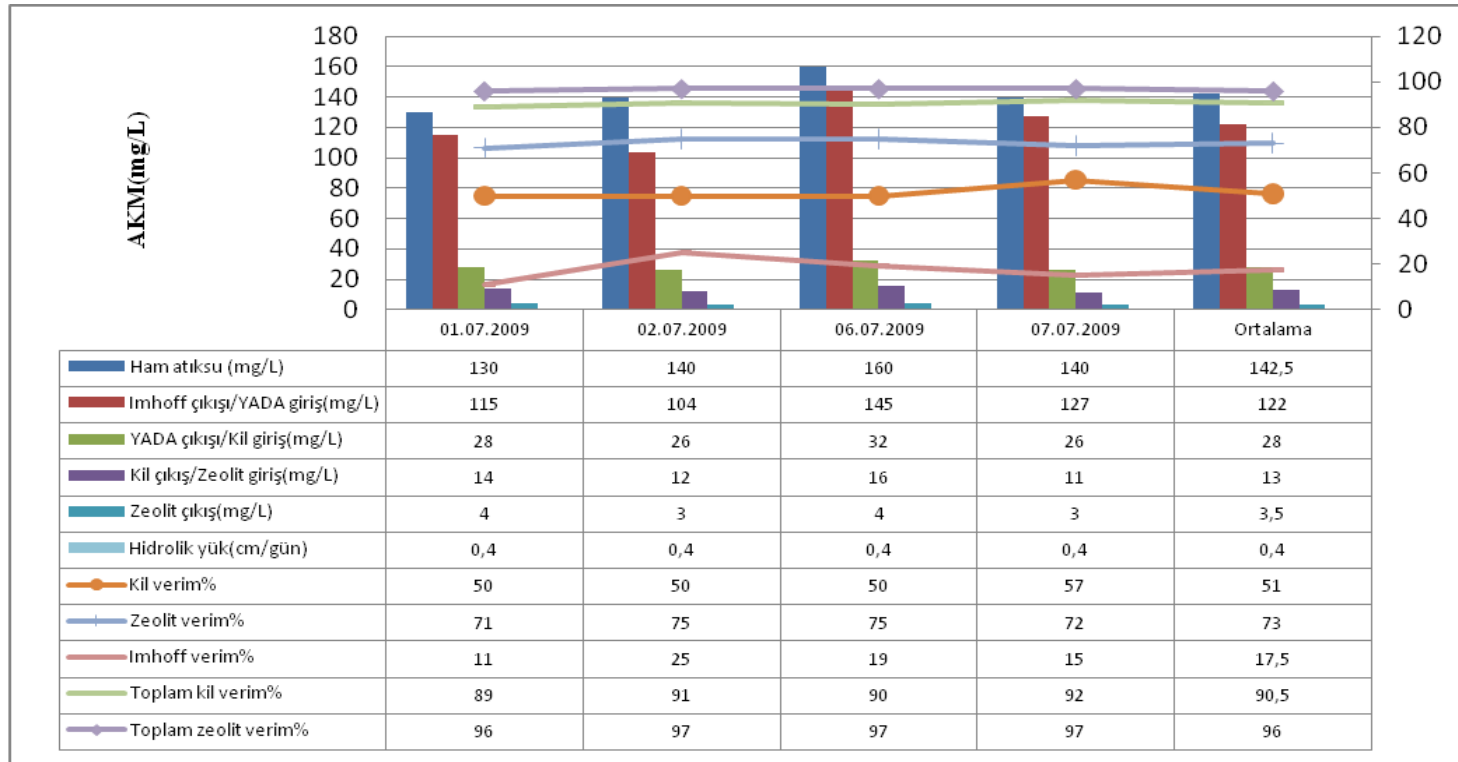
Şekil 4.7 Küçük boyutlu seri YADA sistemi zamana bağlı BOI_5 değişimi



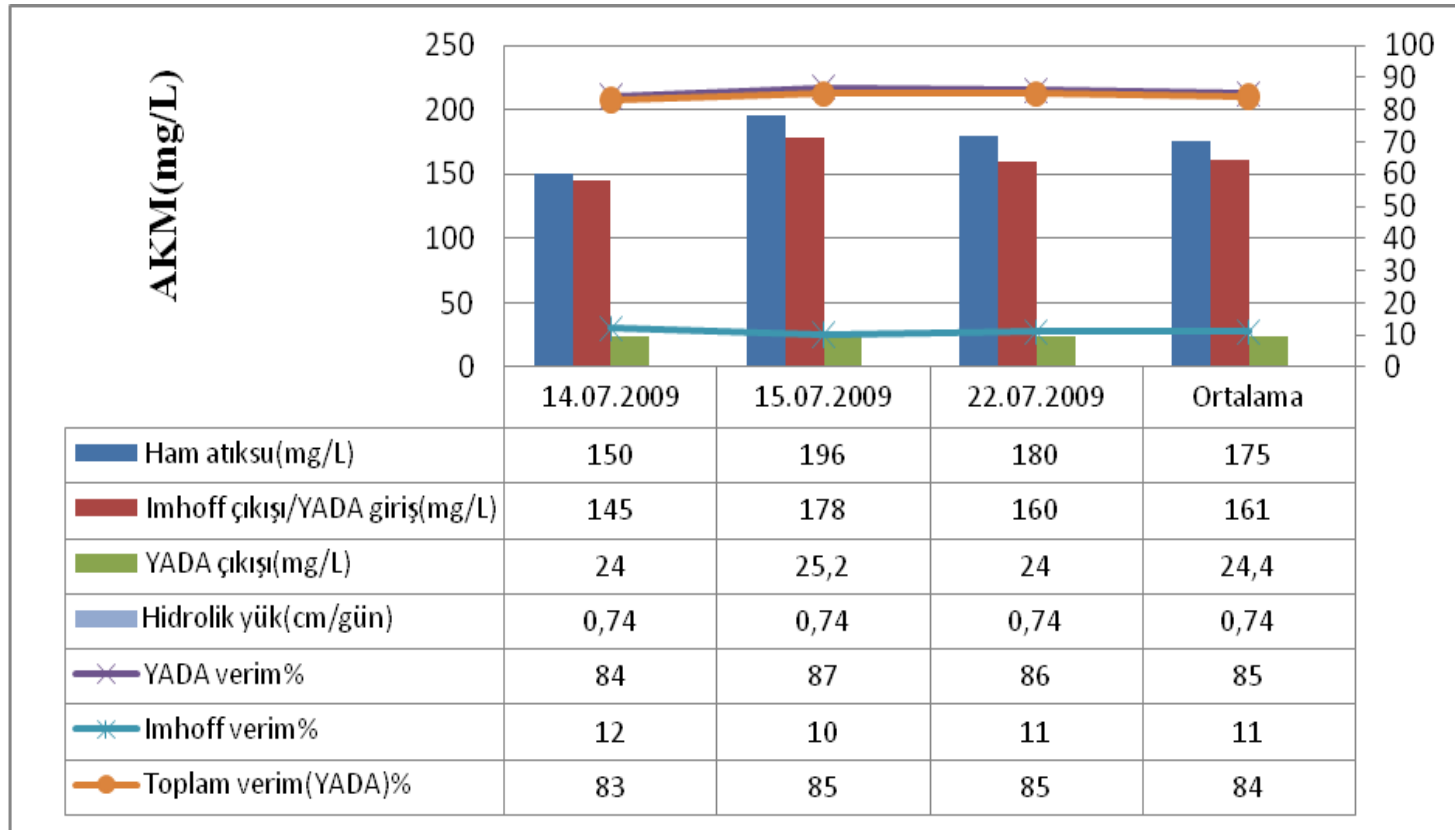
Şekil 4.8 Küçük boyutlu seri YADA sisteminde zamana bağlı TN değişimi



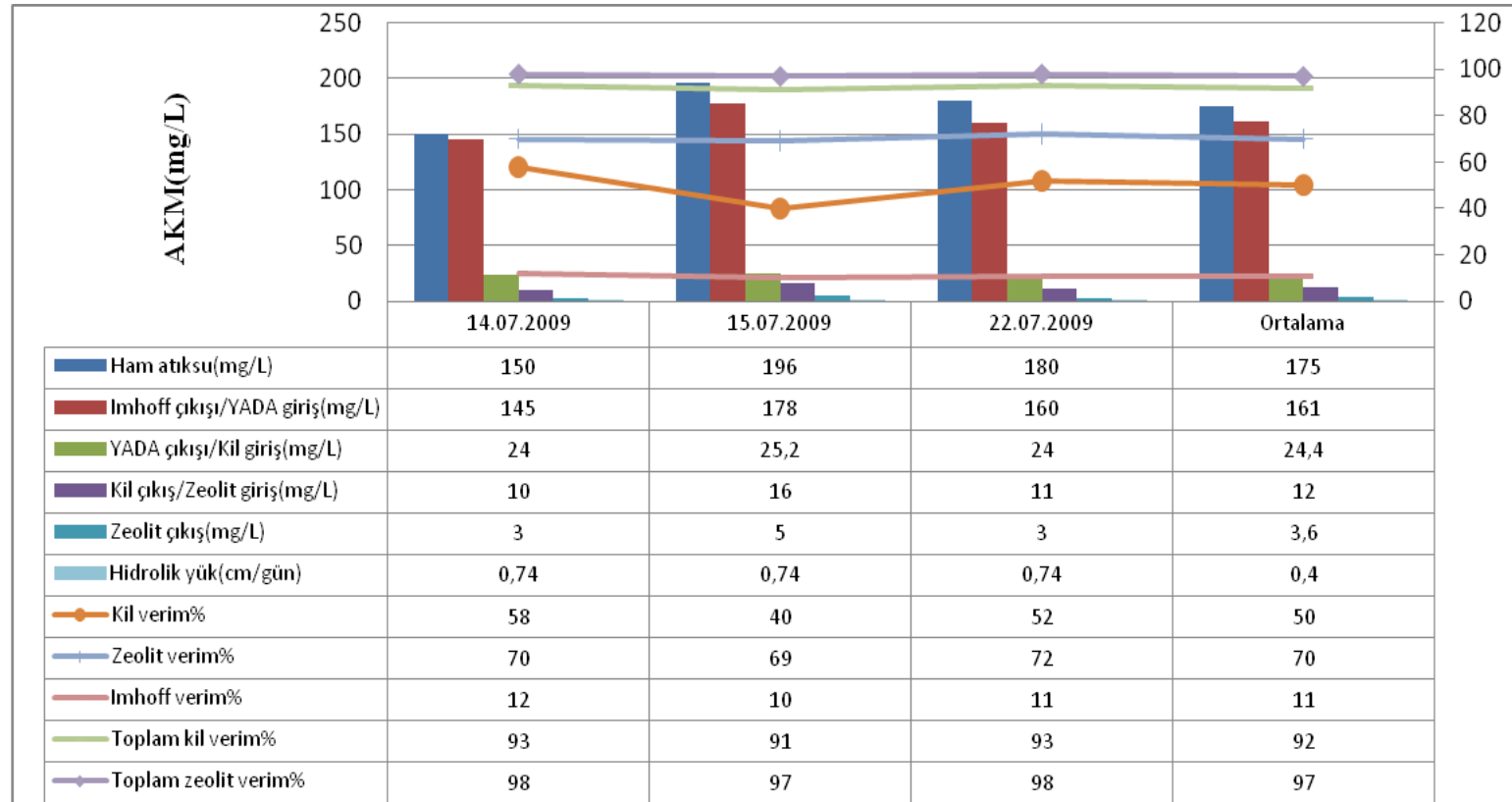
Şekil 4.9 Büyük boyutlu YADA sisteminde zamana bağlı AKM değişimi



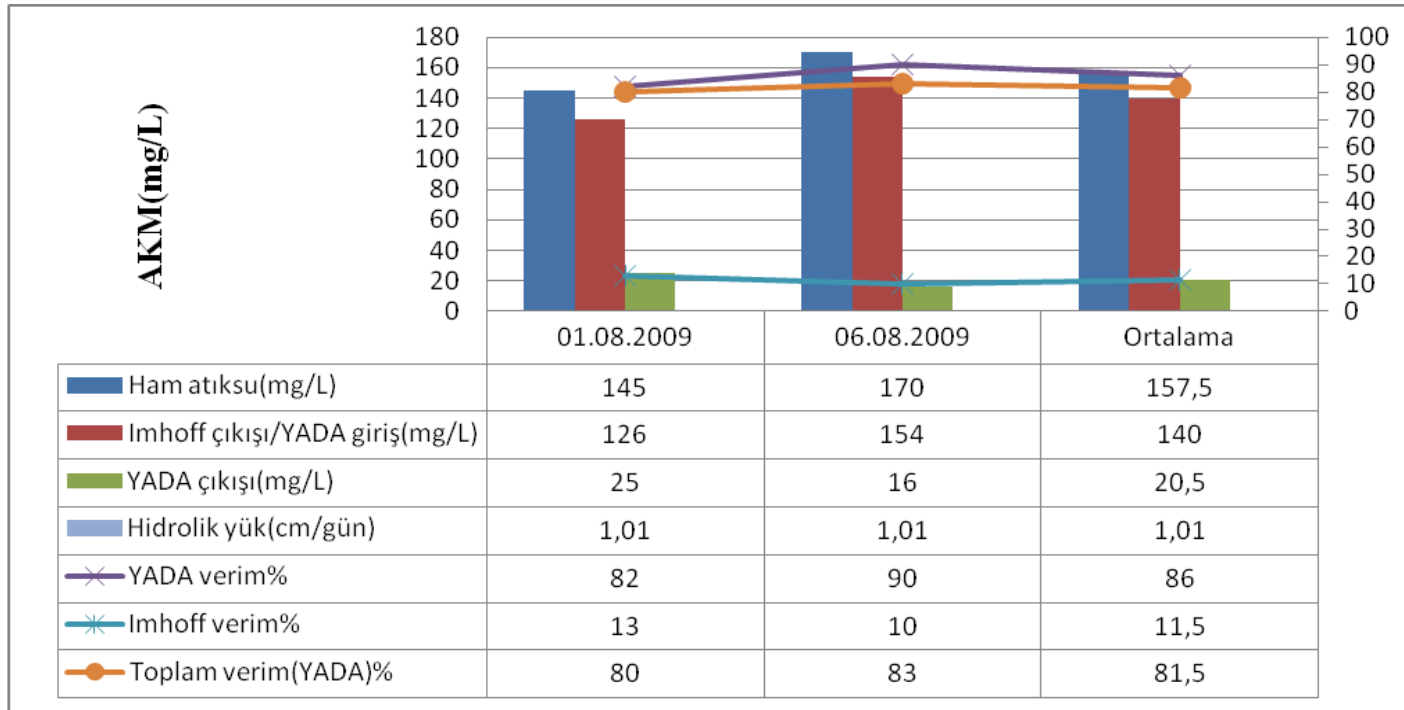
Şekil 4.10 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi



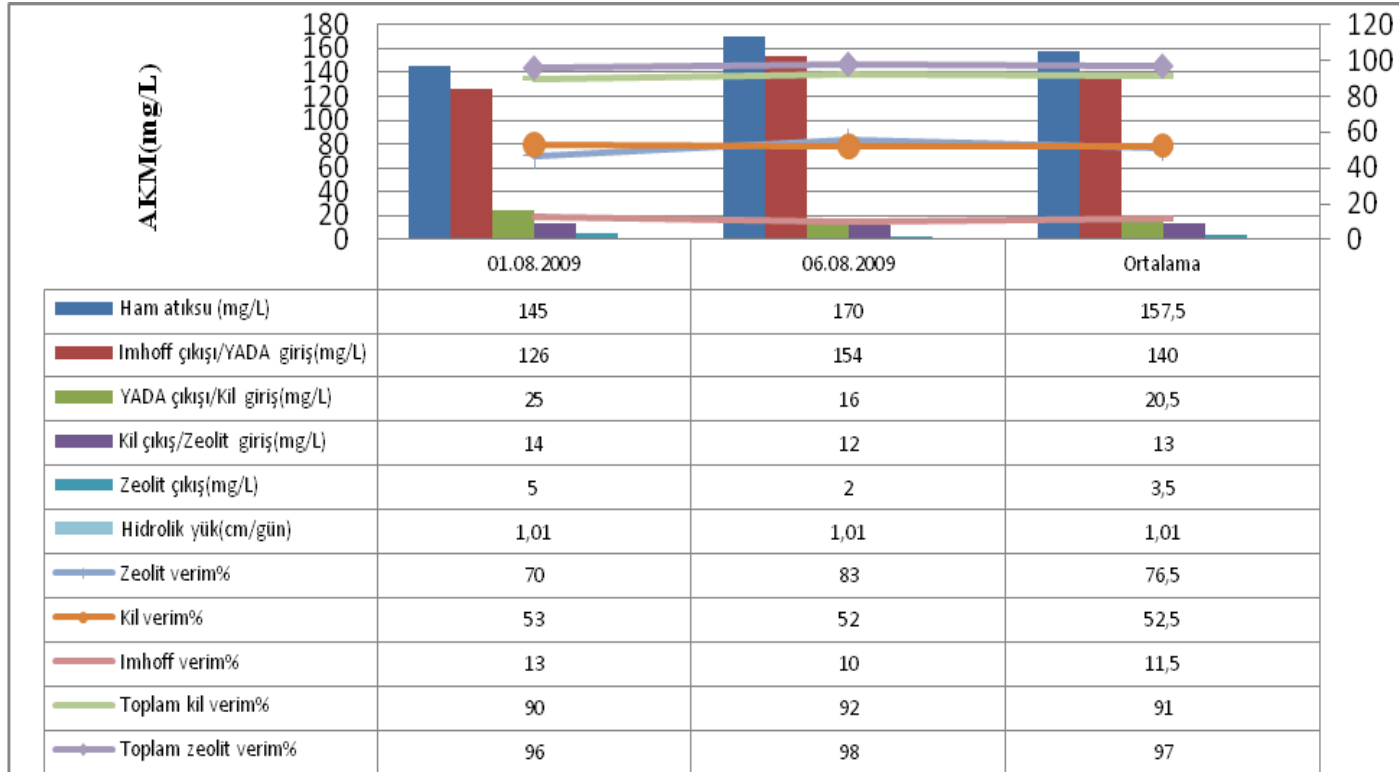
Şekil 4.11 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi



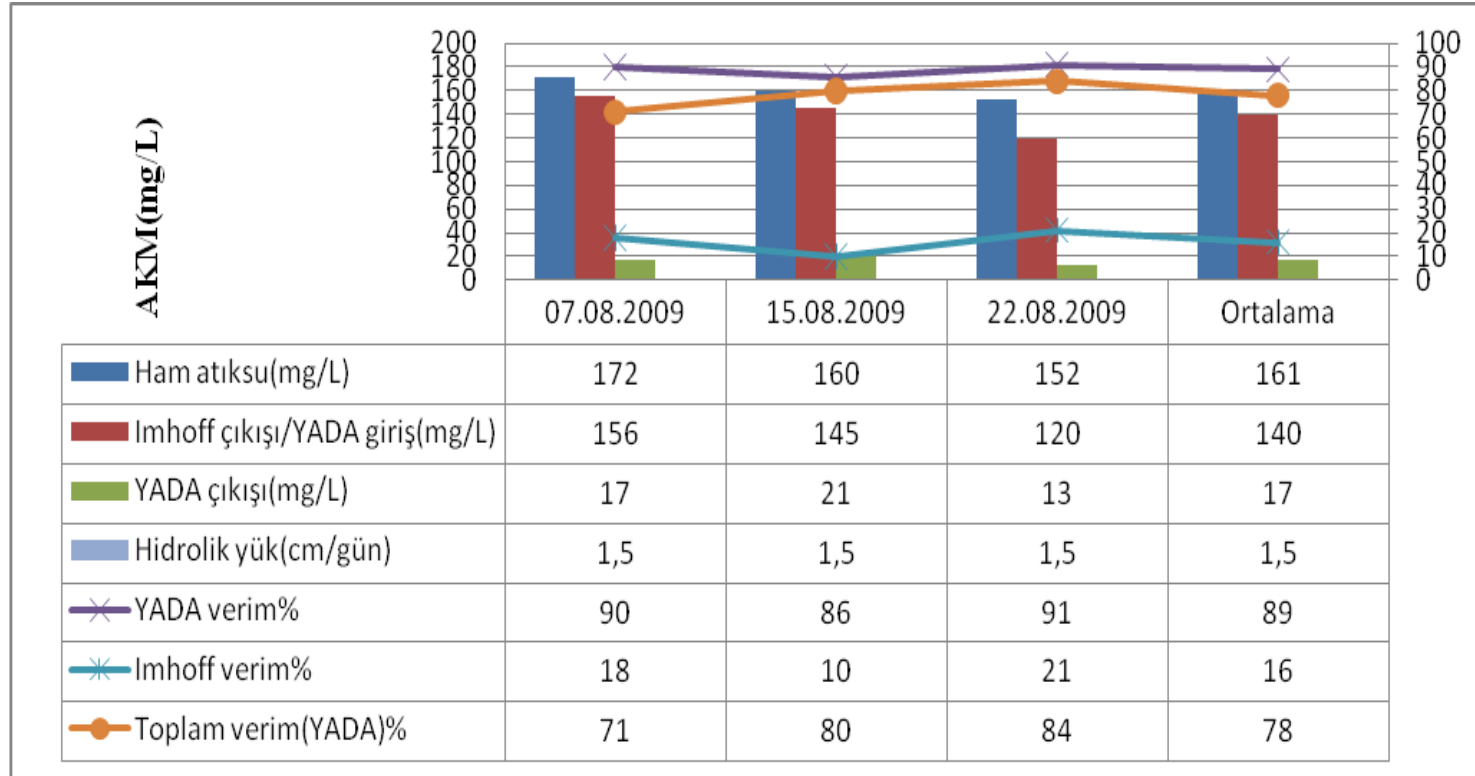
Şekil 4.12 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı AKM değişimi



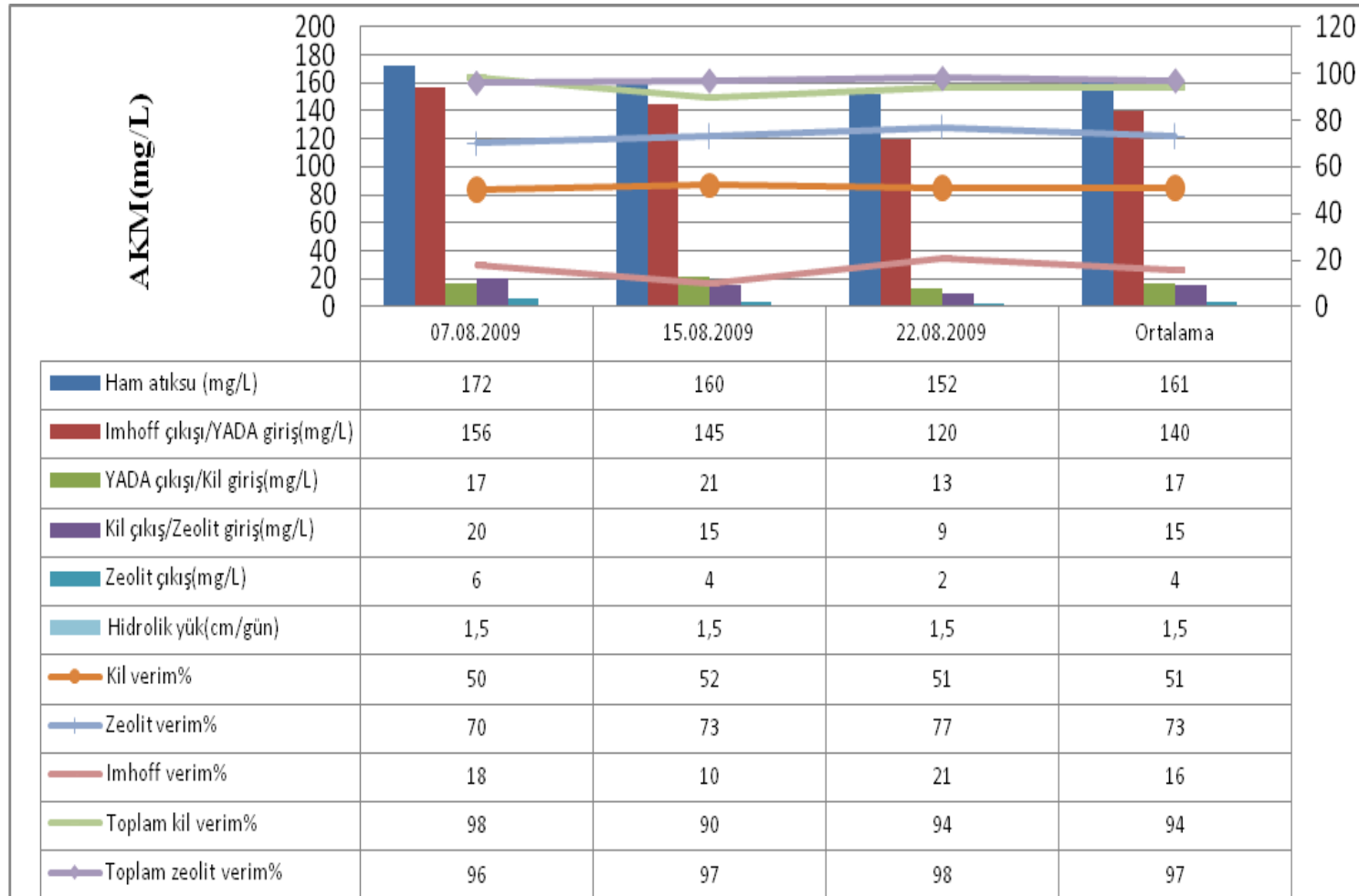
Şekil 4.13 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi



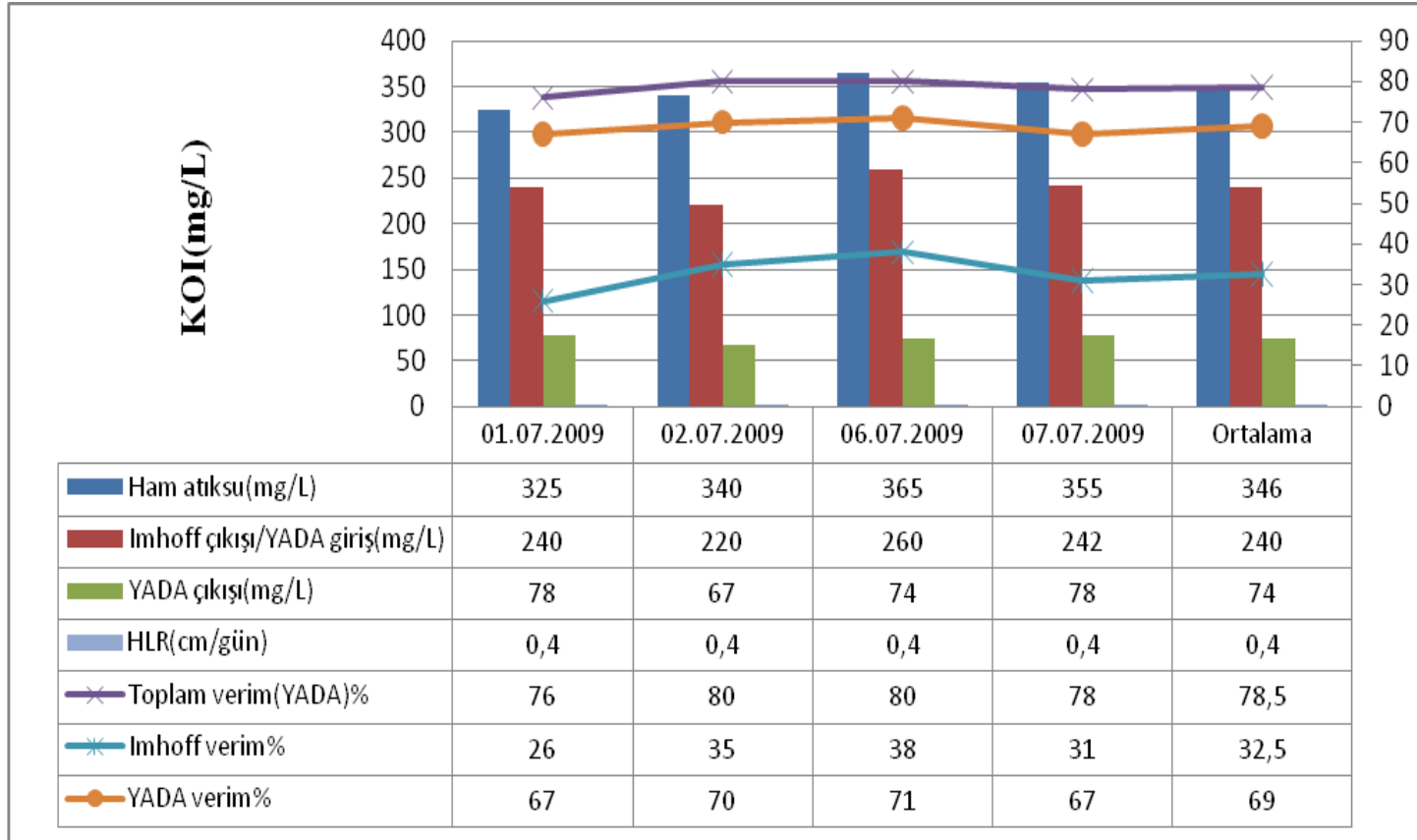
Şekil 4.14 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı AKM değişimi



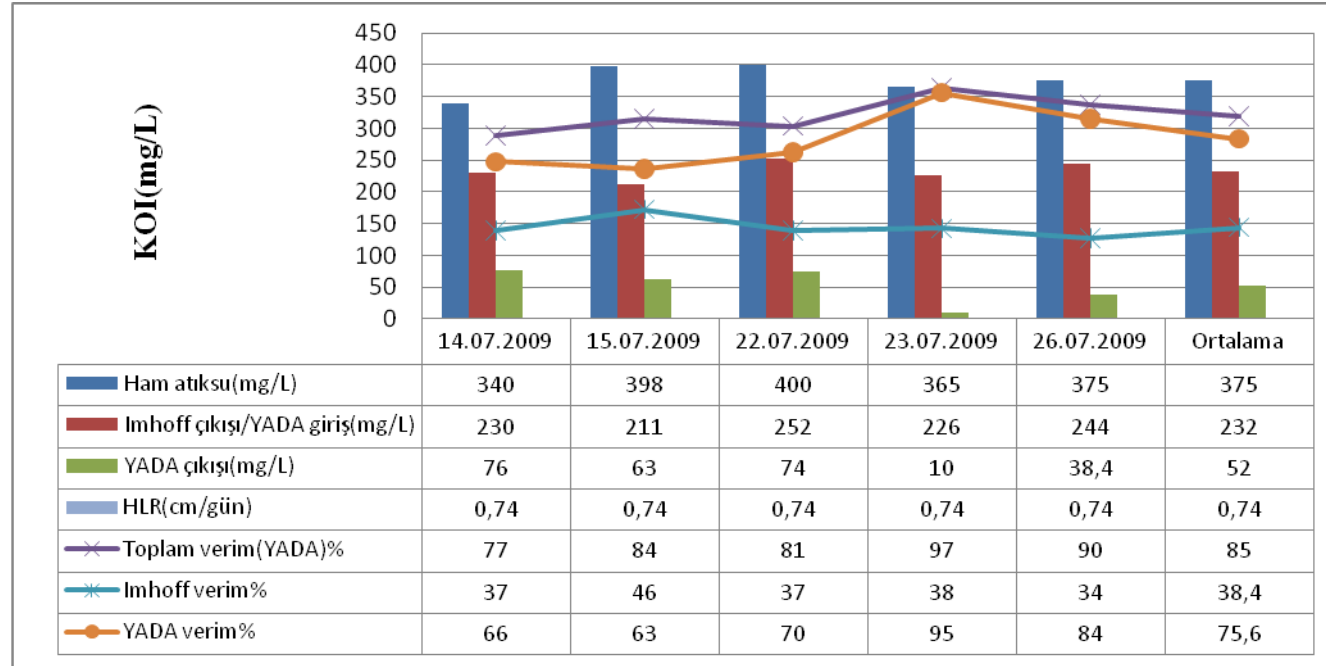
Şekil 4.15 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi



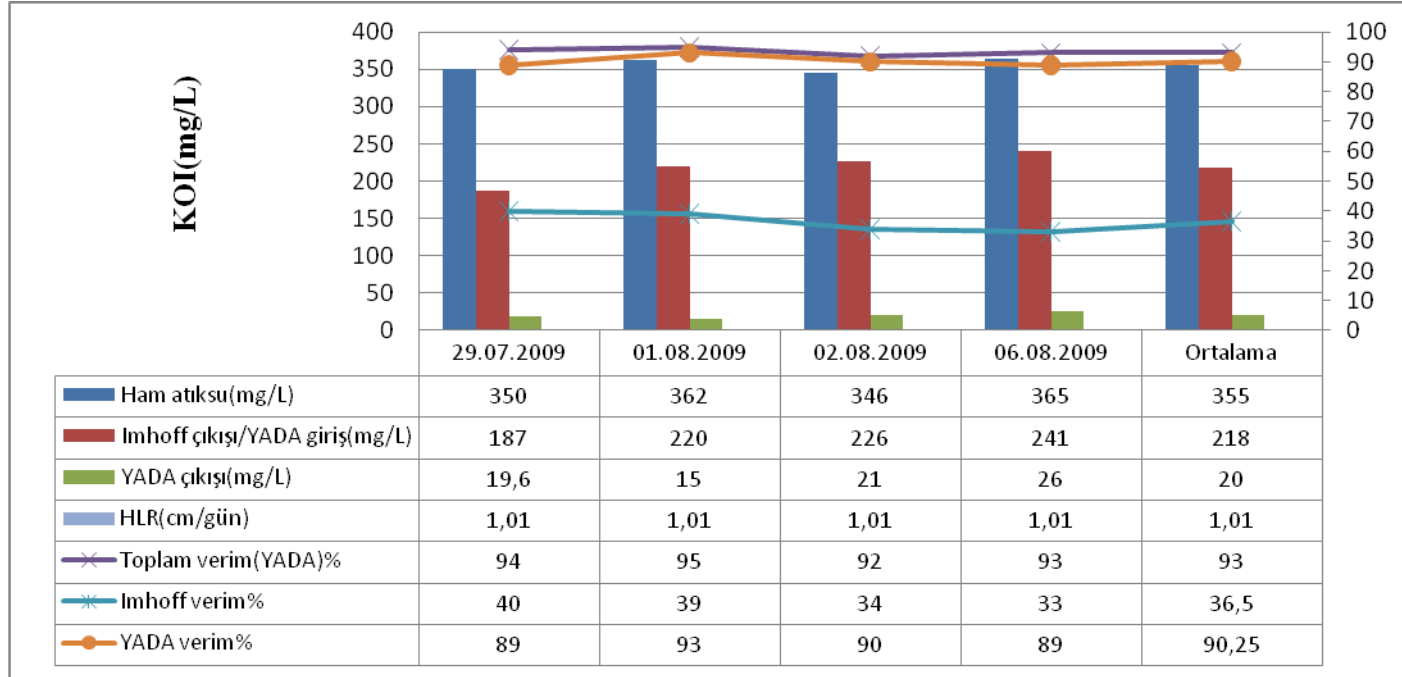
Şekil 4.16 Büyük boyutlu YADA sistemi 1,5 cm/ günde ilave arıtımında zamana bağlı AKM değişimi



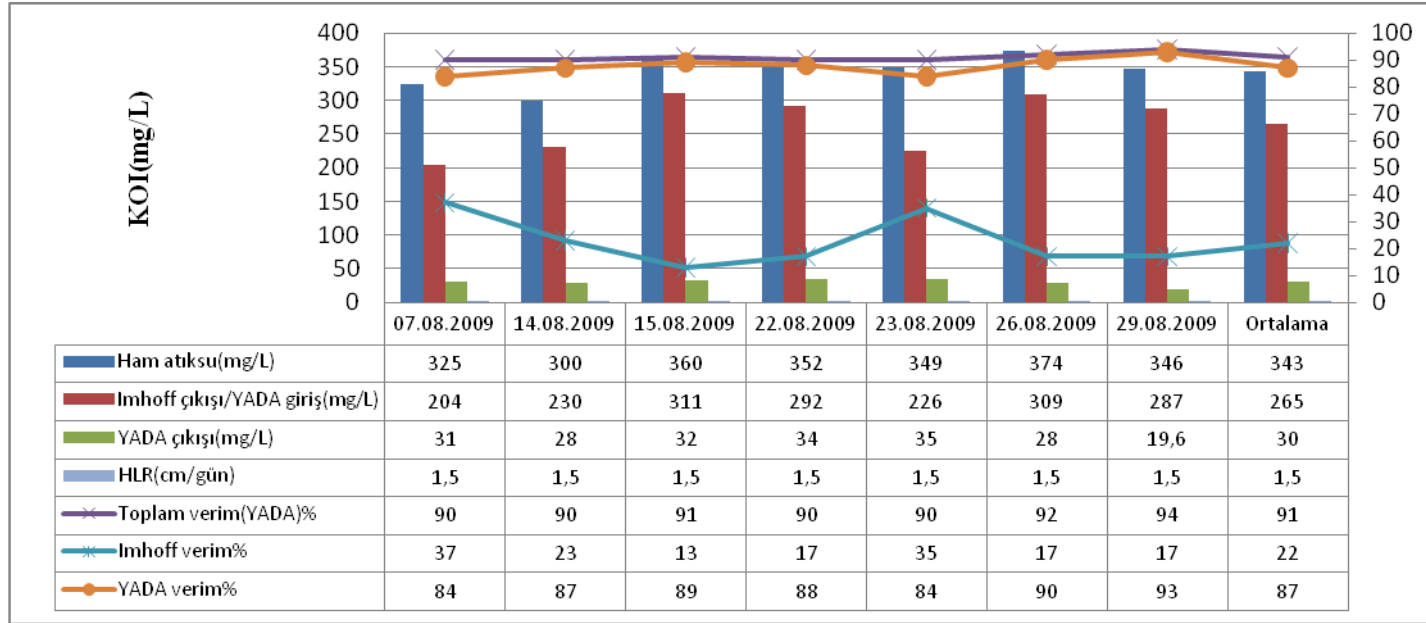
Şekil 4.17 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde zamana bağlı KOI değişimi



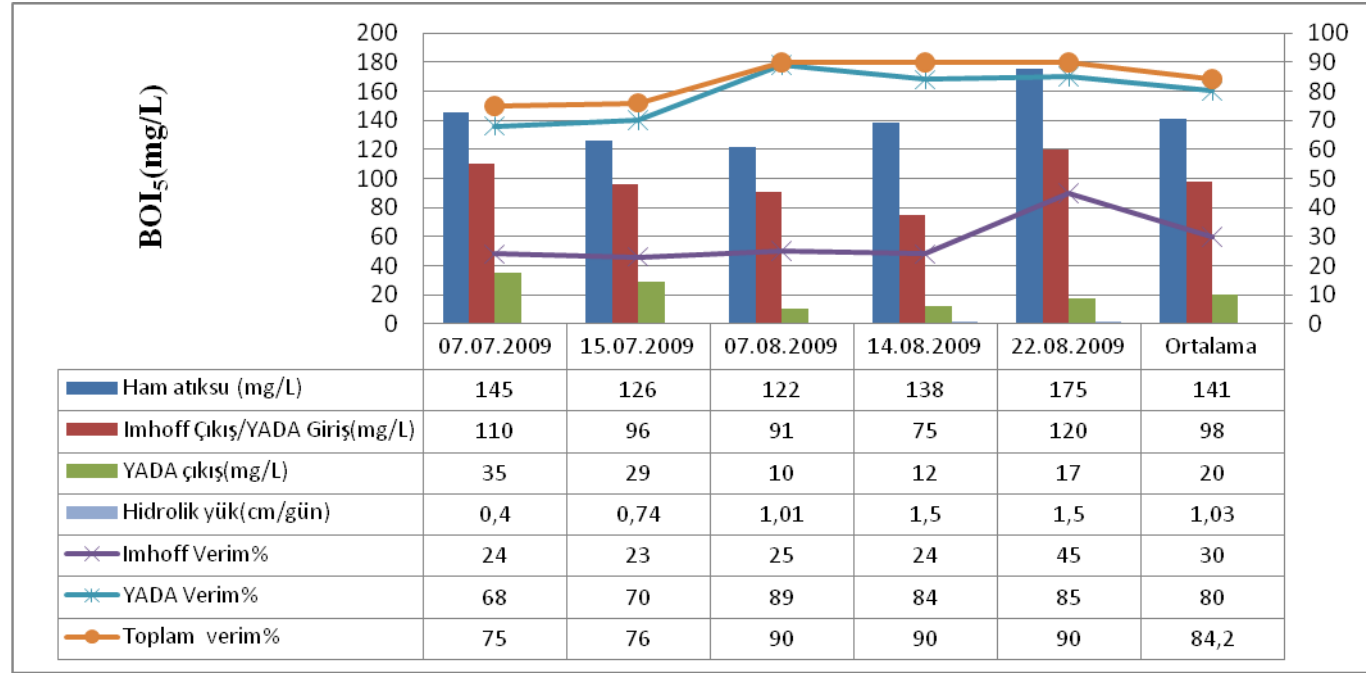
Şekil 4.18 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde zamana bağlı KOI değişimi



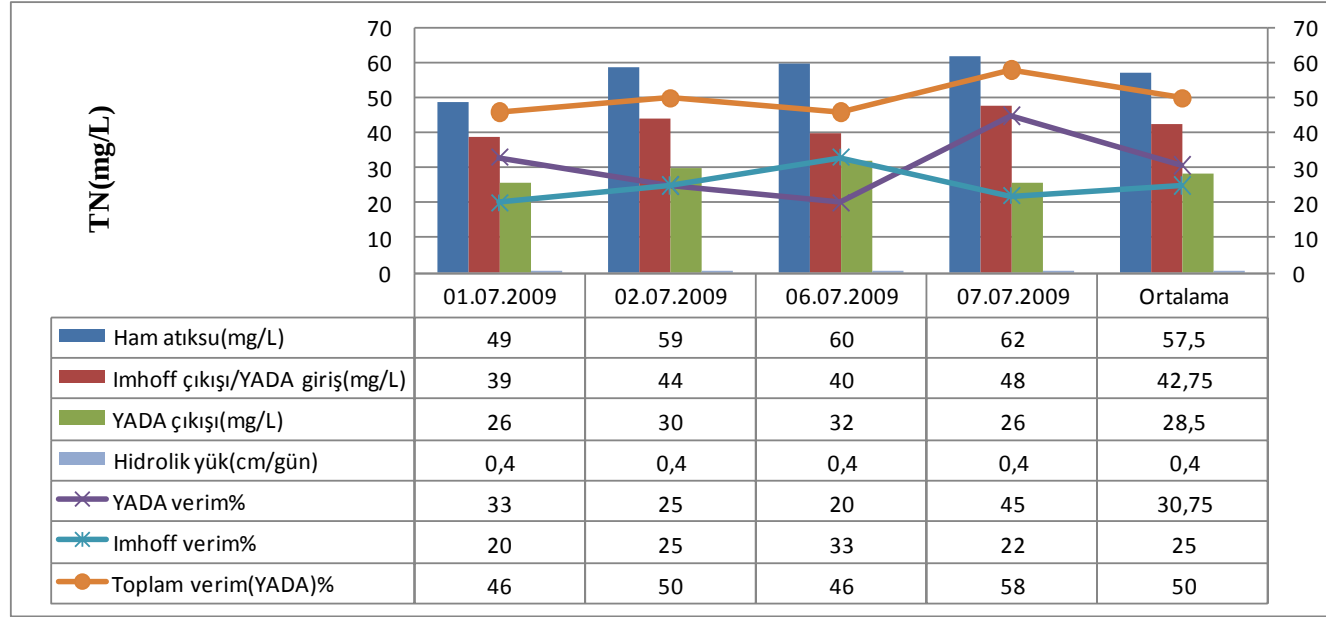
Şekil 4.19 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi



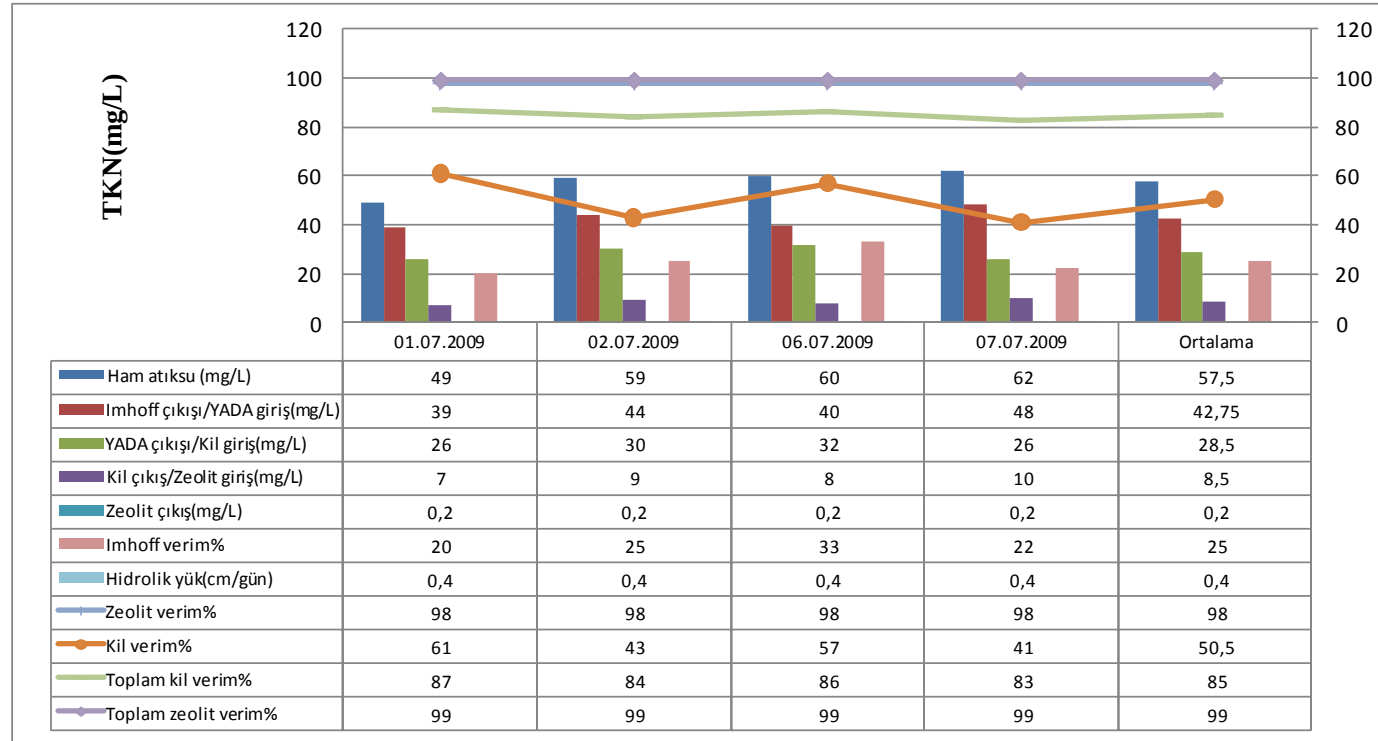
Şekil 4.20 Büyük boyutlu YADA sistemi 1,5 cm/ günde zamana bağlı KOI değişimi



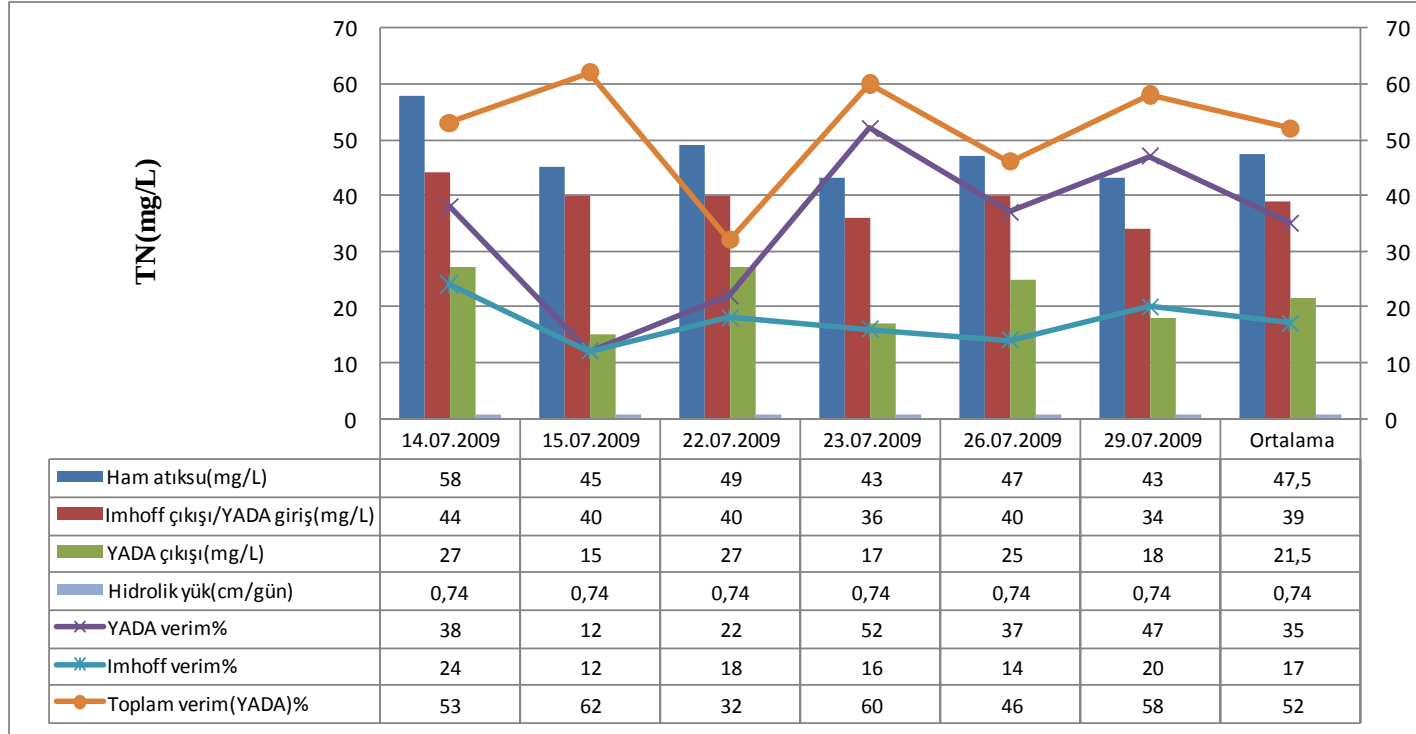
Şekil 4.21 Büyük boyutlu YADA sisteminde farklı hidrolik yüklerde zamana bağlı BOI_5 değişimi



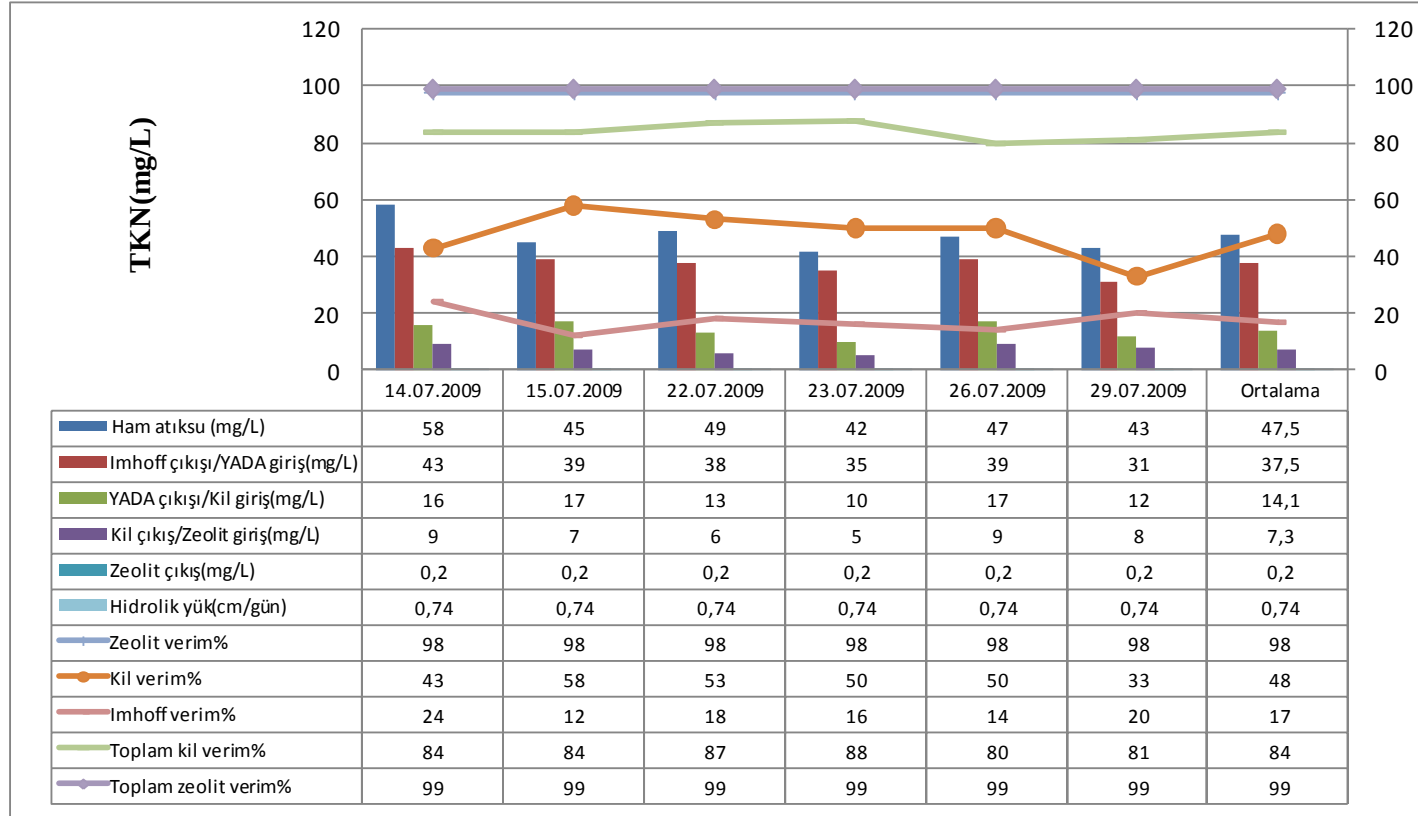
Şekil 4.22 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde zamana bağlı TN değişimi



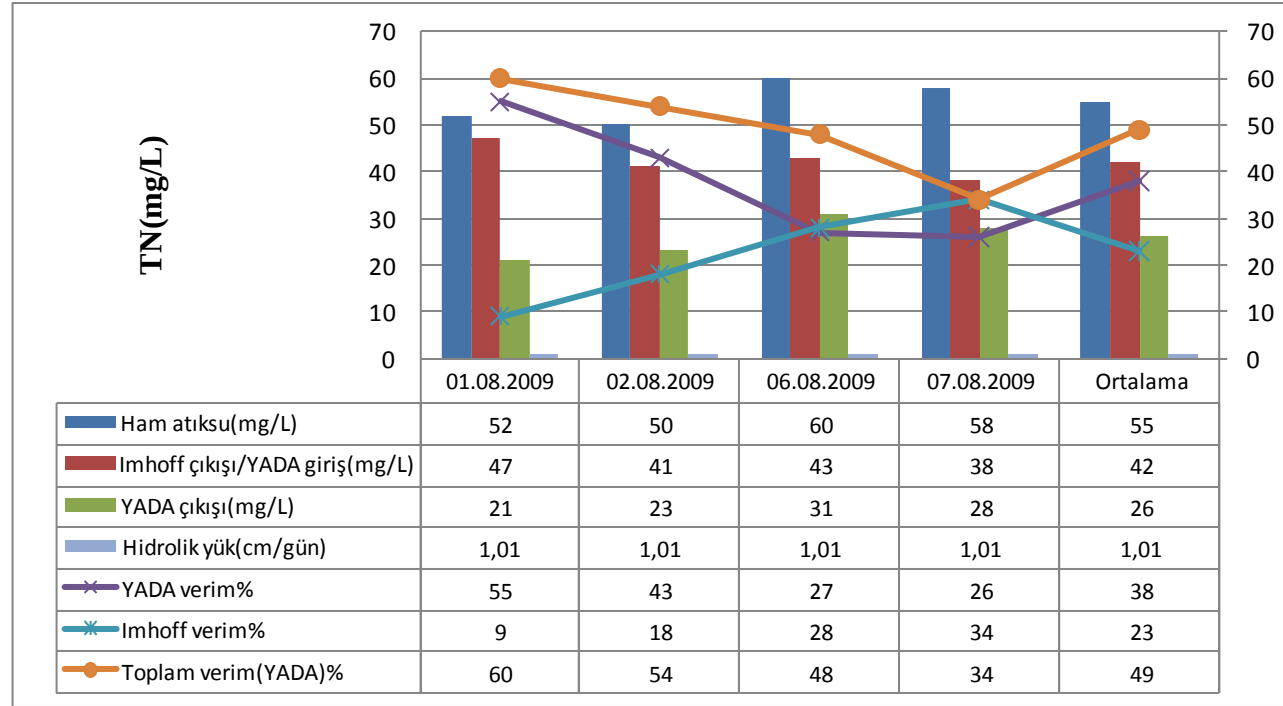
Şekil 4.23 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı AKM değişimi



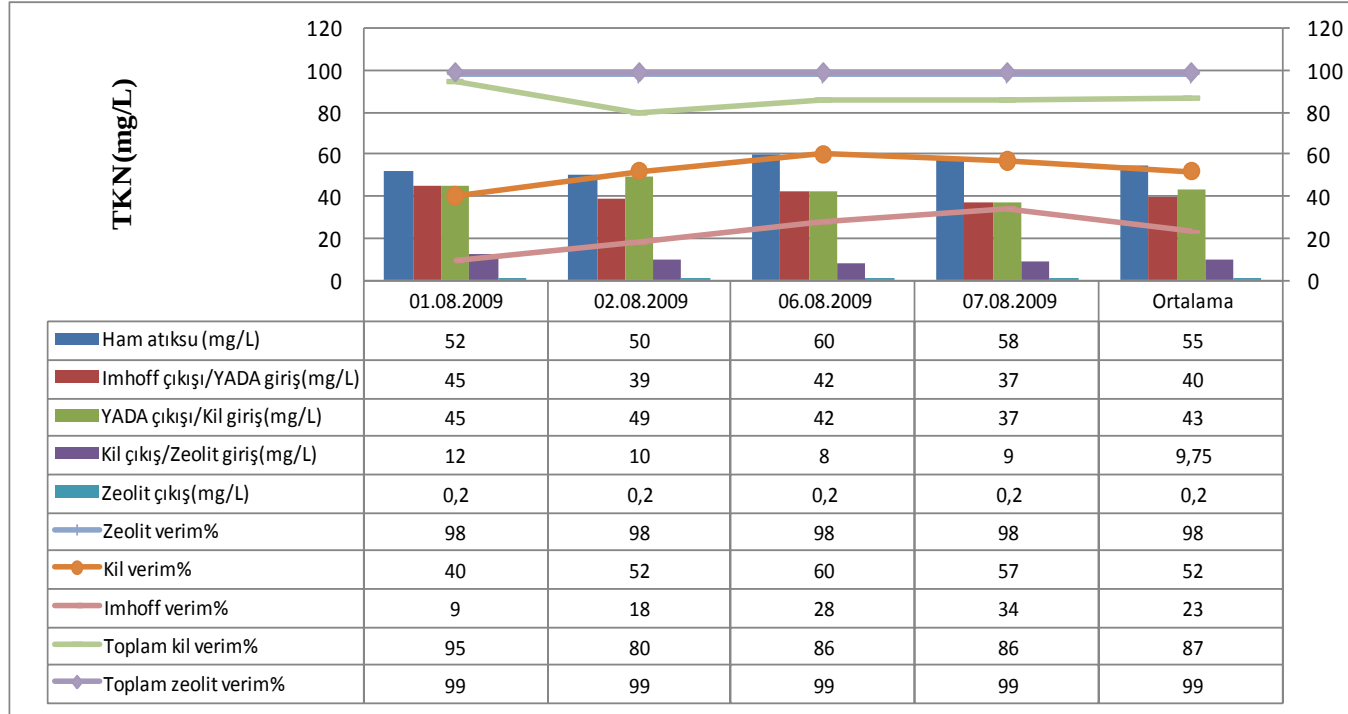
Şekil 4.24 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde zamana bağlı AKM değişimi



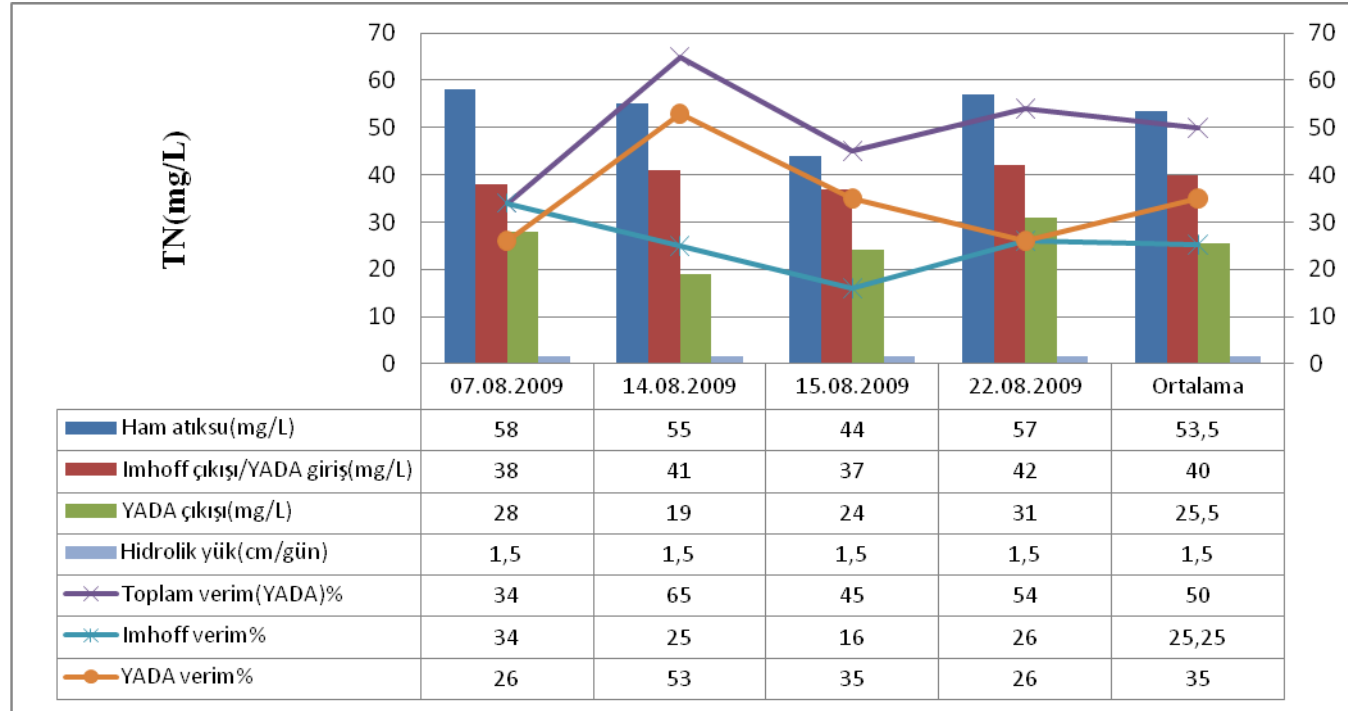
Şekil 4.25 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TKN değişimi



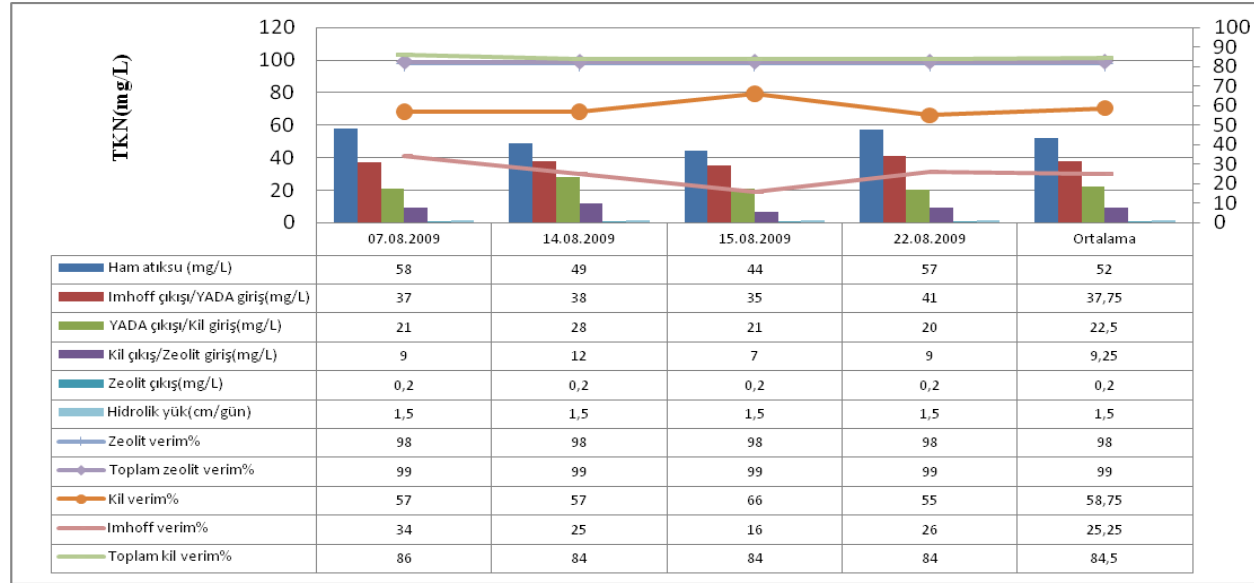
Şekil 4.26 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde zamana bağlı TN değişimi



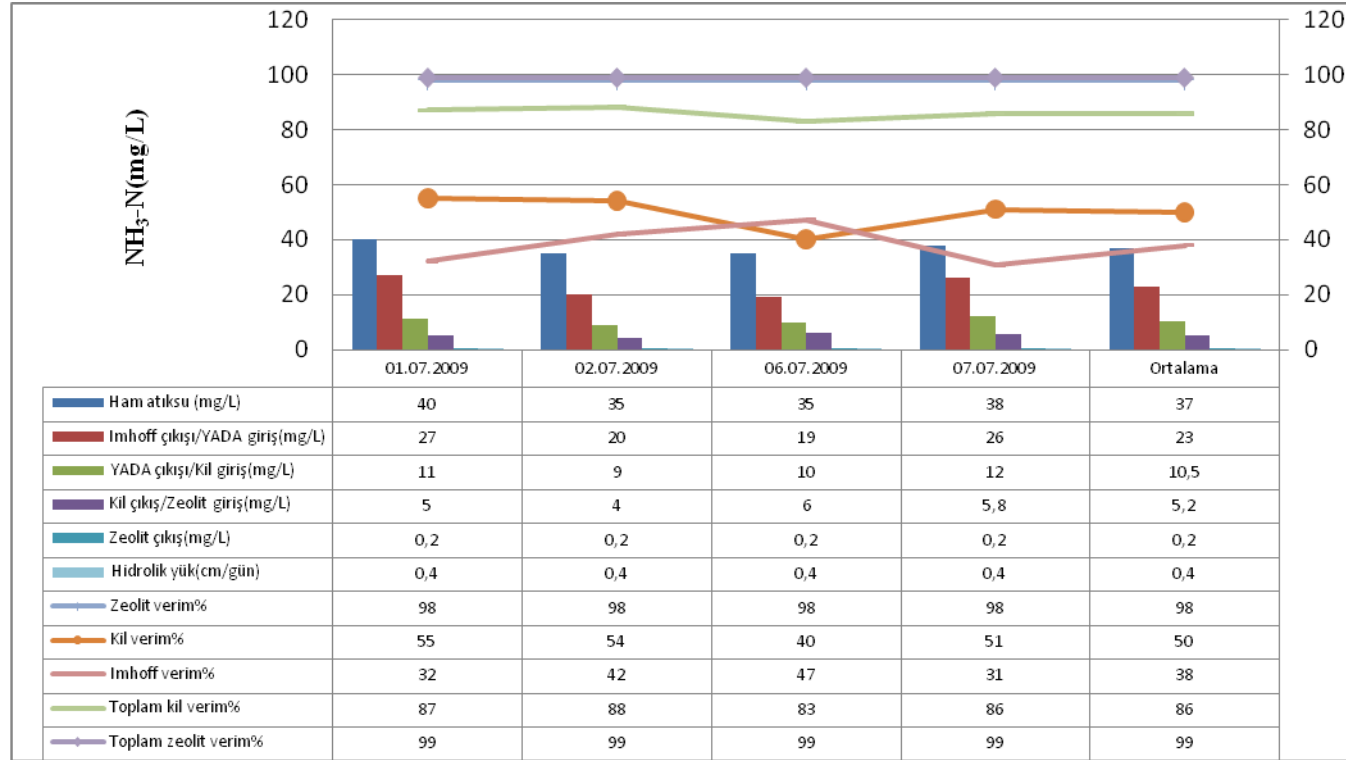
Şekil 4.27 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TKN değişimi



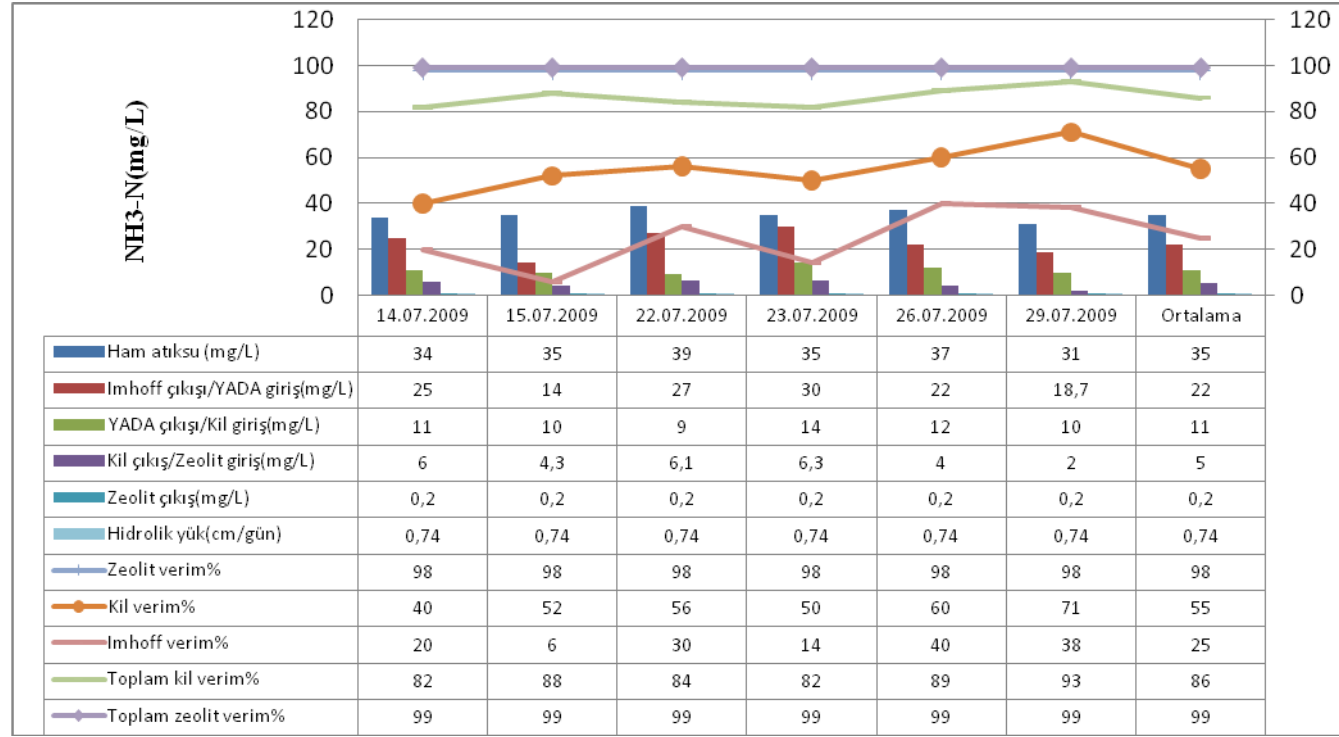
Şekil 4.28 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde zamana bağlı TN değişimi



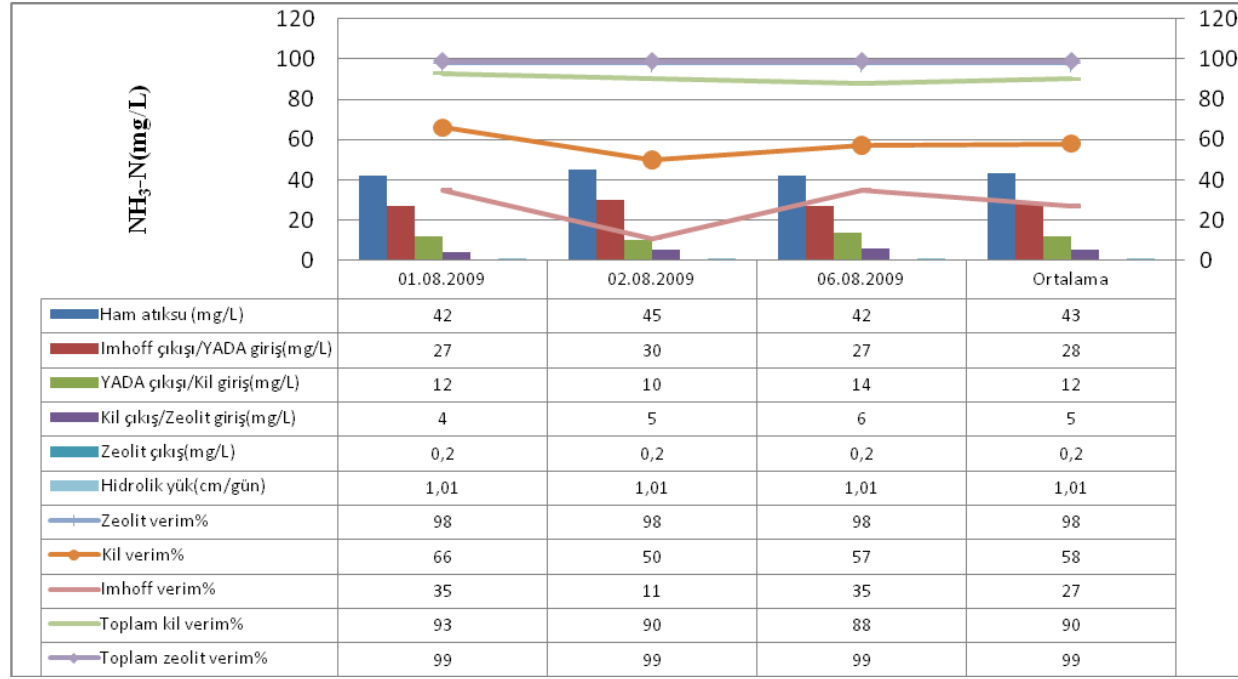
Şekil 4.29 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TKN değişimi



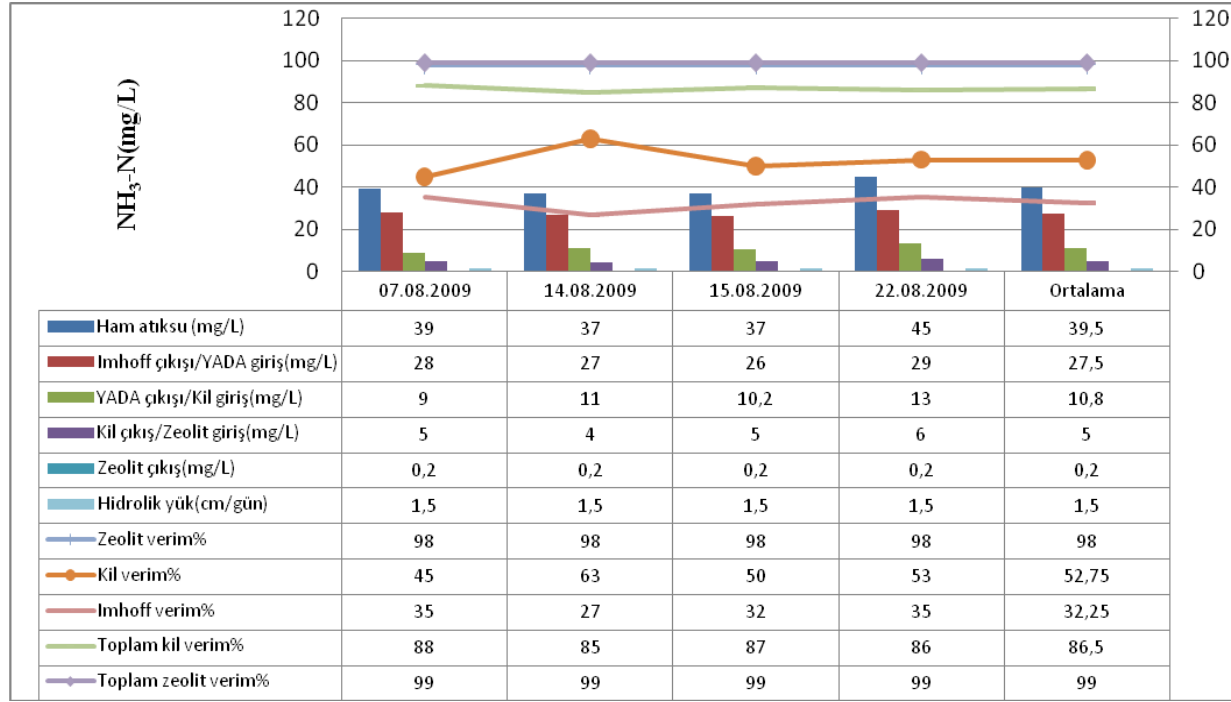
Şekil 4.30 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı $\text{NH}_3\text{-N}$ değişimi



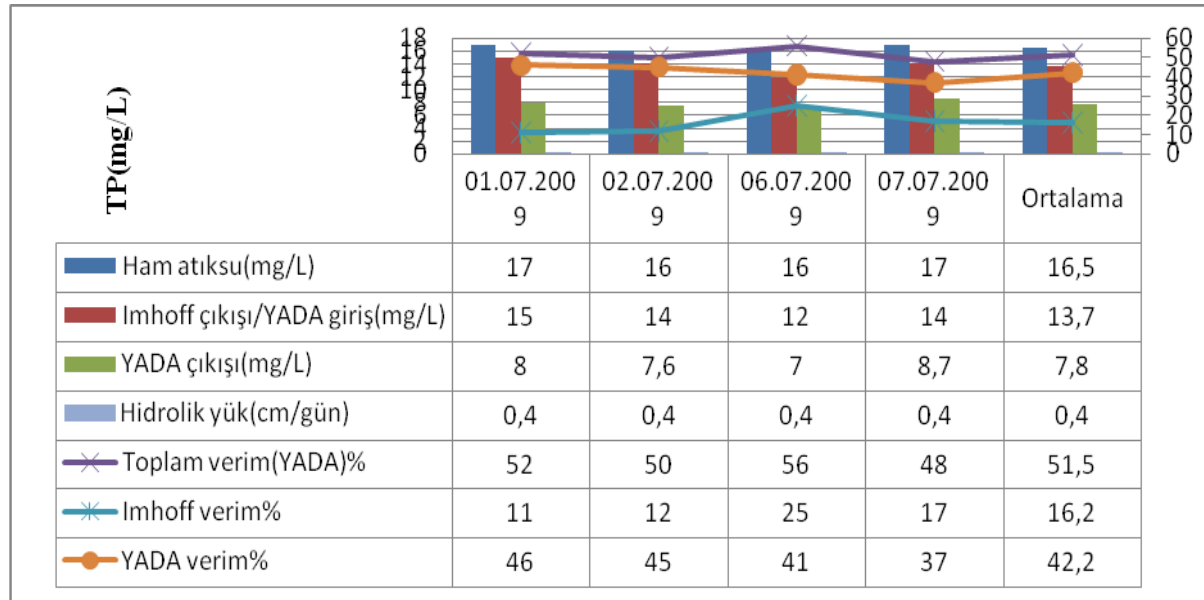
Şekil 4.31Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı $\text{NH}_3\text{-N}$ değişimi



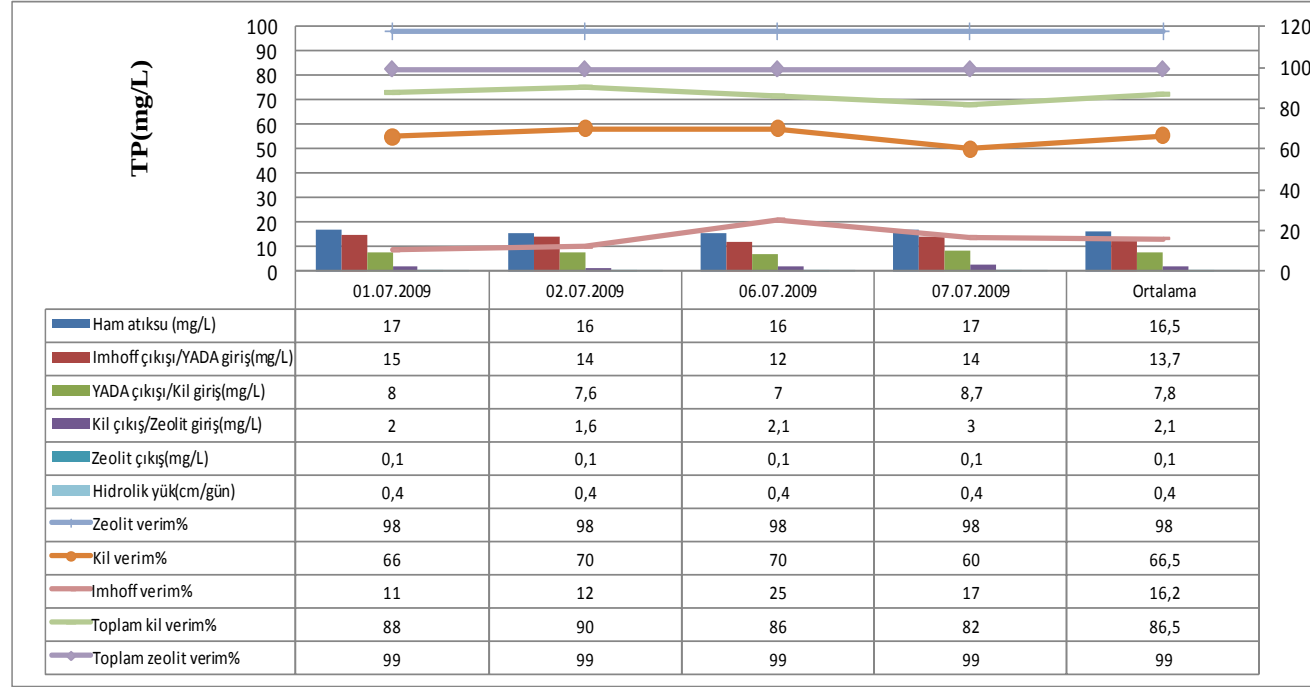
Şekil 4.32 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde ilave artımla zamana bağlı $\text{NH}_3\text{-N}$ değişimi



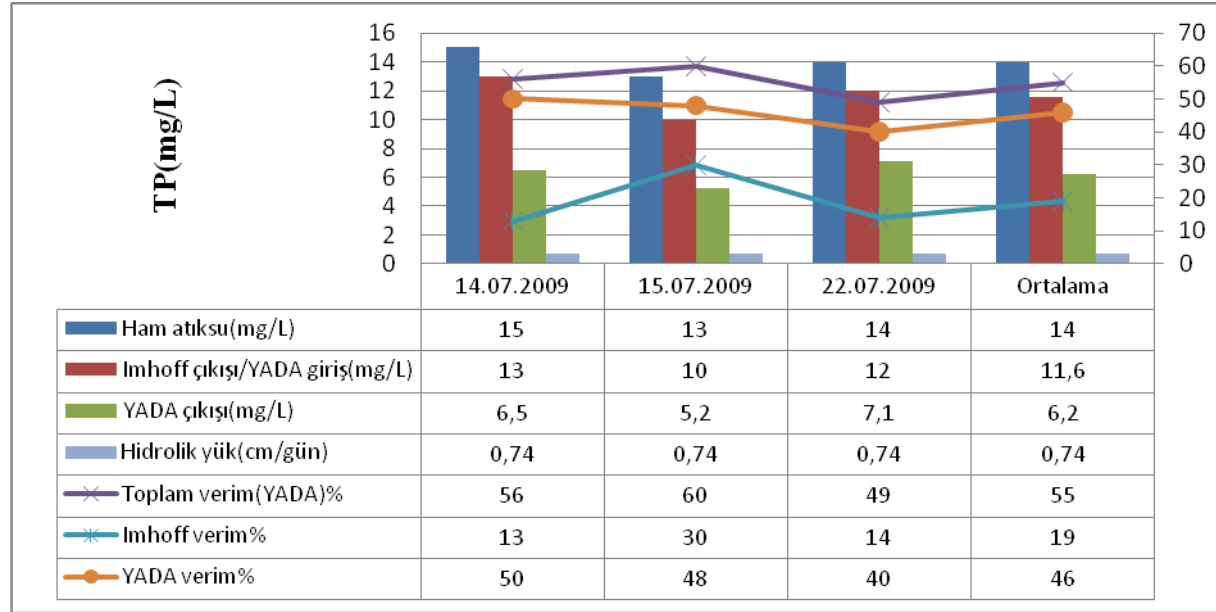
Şekil 4.33 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı $\text{NH}_3\text{-N}$ değişimi



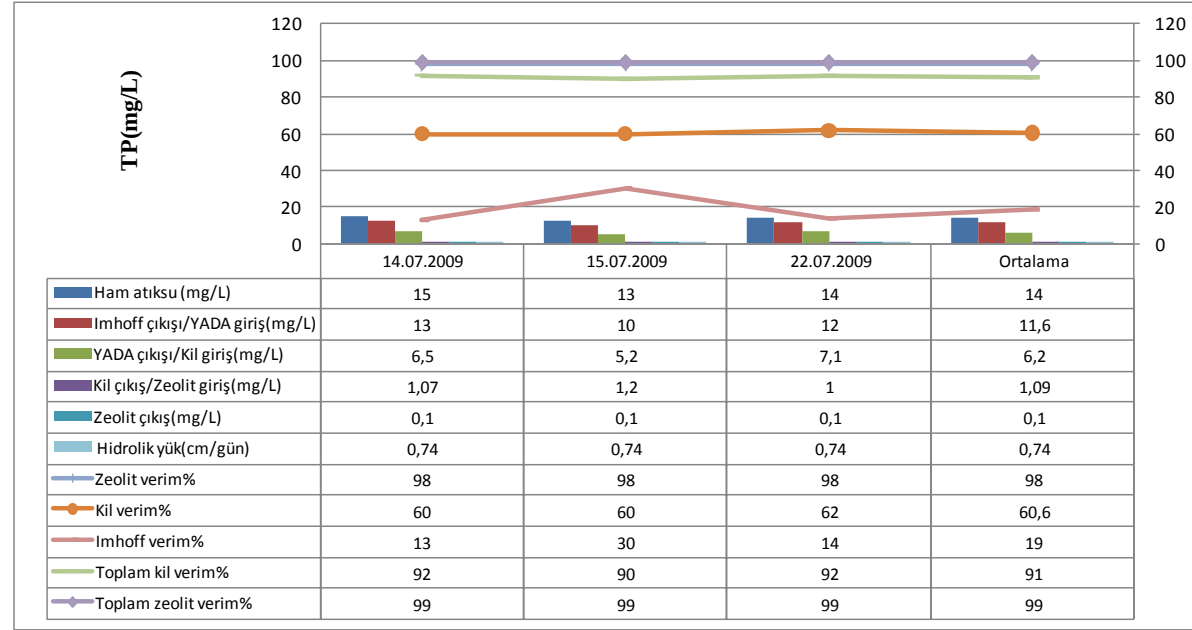
Şekil 4.34 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde zamana bağlı TP değişimi



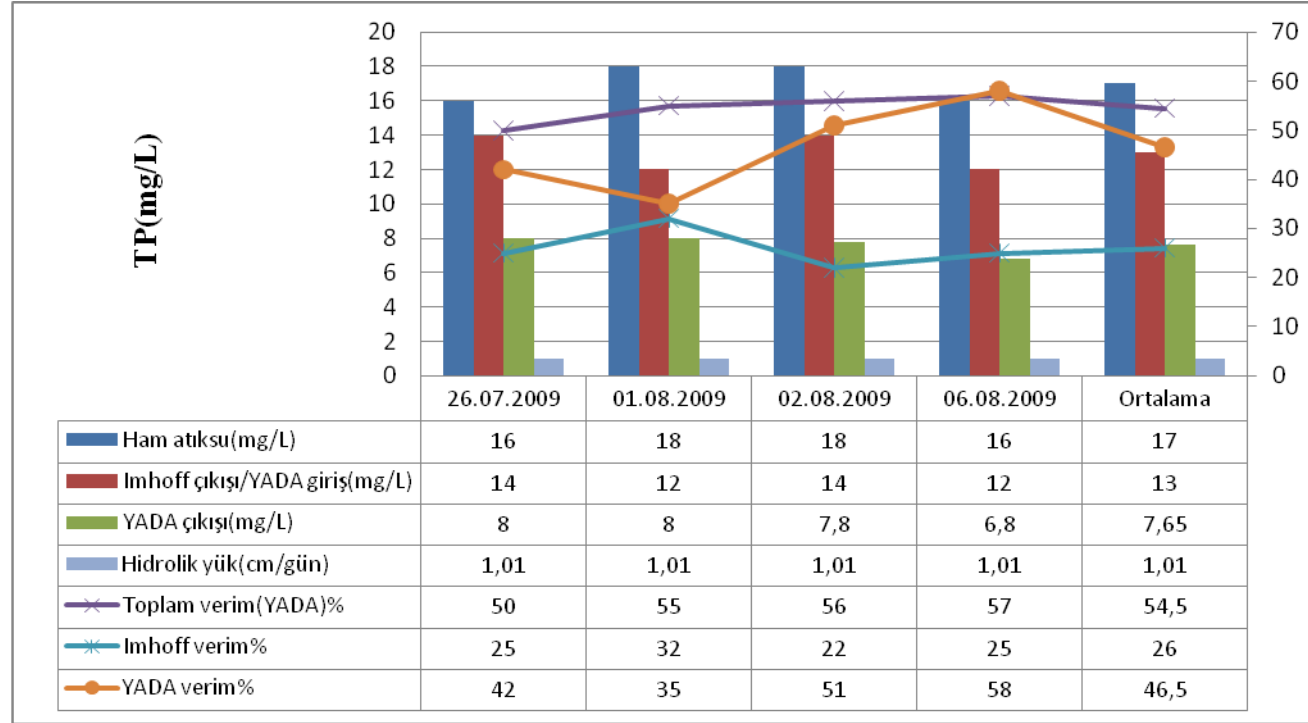
Şekil 4.35 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,4 cm/ günde ilave artımla zamana bağlı TP değişimi



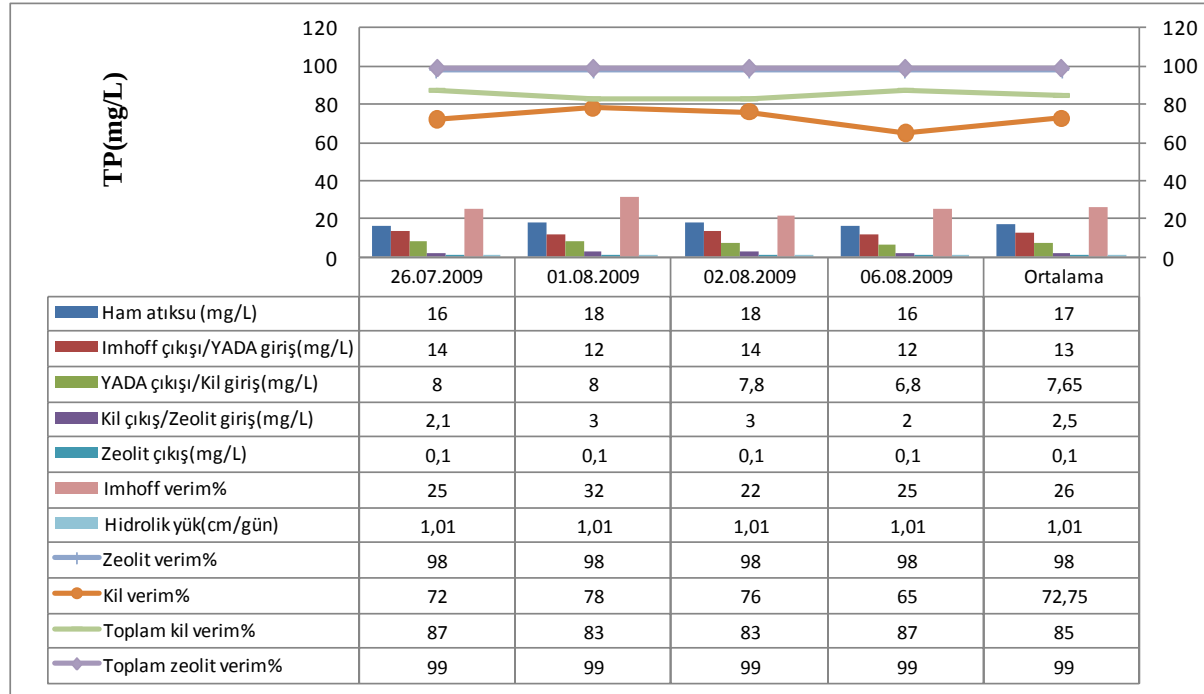
Şekil 4.36 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde zamana bağlı TP değişimi



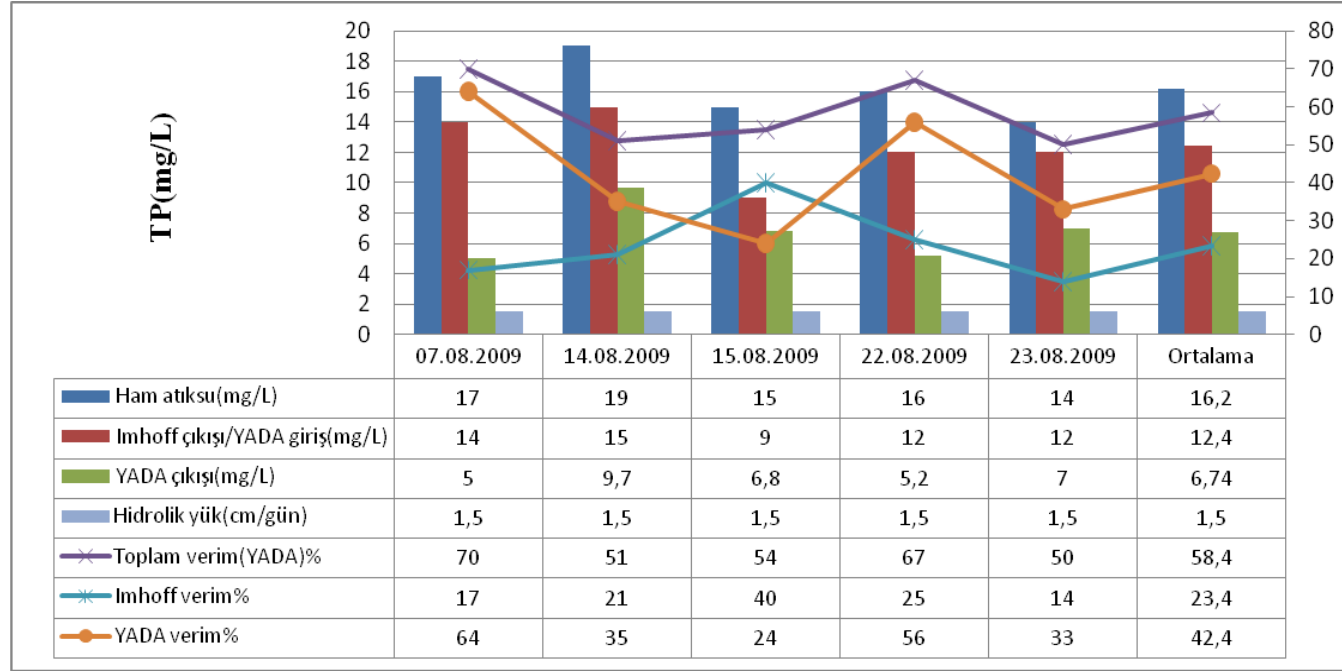
Şekil 4.37 Büyük boyutlu YADA sisteminde 0,74 cm/ günde ilave artımla zamana bağlı TP değişimi



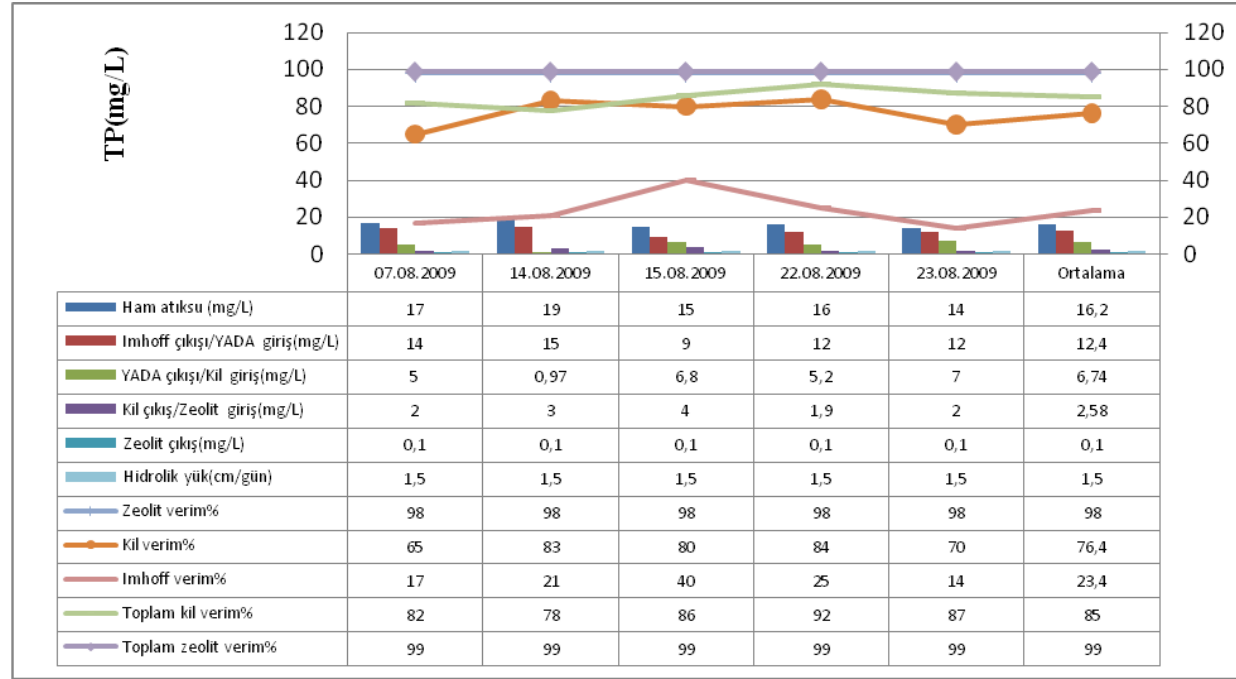
Şekil 4.38 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde zamana bağlı TP değişimi



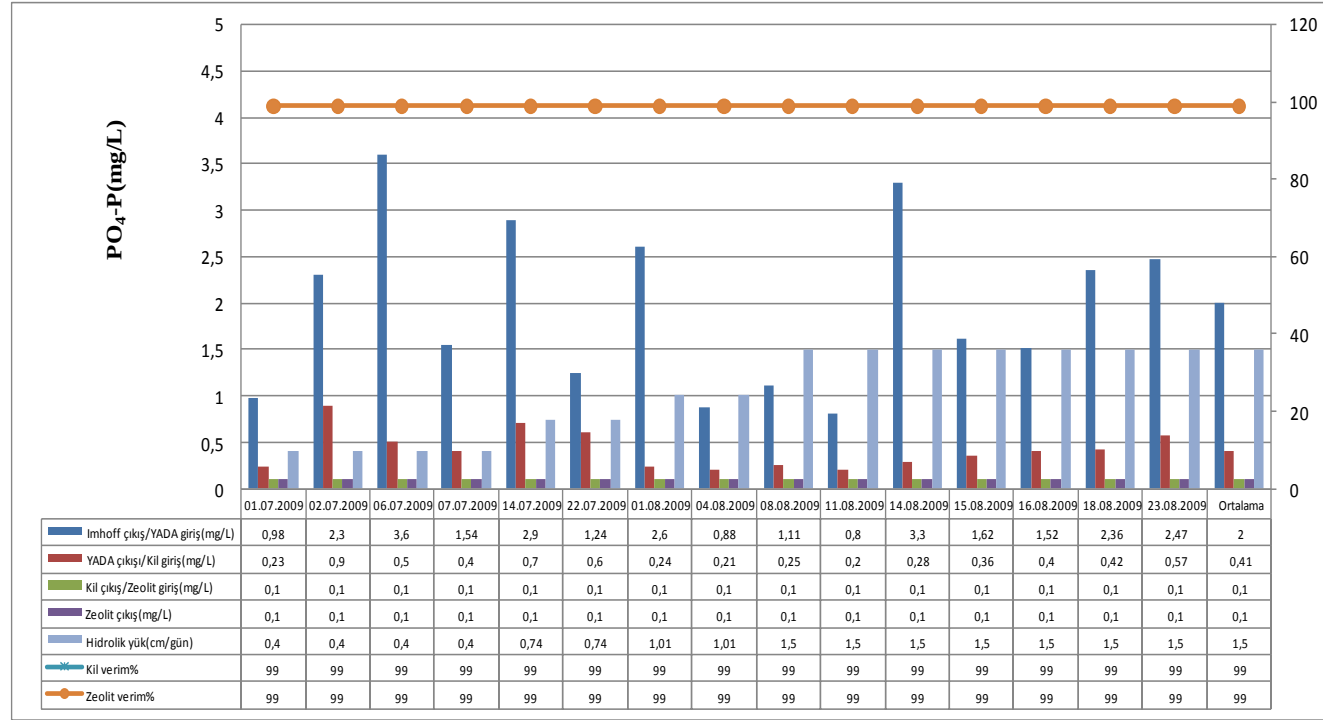
Şekil 4.39 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,01 cm/ günde ilave arıtımla zamana bağlı TP değişimi



Şekil 4.40 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde zamana bağlı TP değişimi



Şekil 4.41 Büyük boyutlu YADA sisteminde 1,5 cm/ günde ilave artımla zamana bağlı TP değişimi



Şekil 4.42 Büyük boyutlu YADA sisteminde farklı hidrolik yüklerde zamana bağlı PO_4 -P değişimi

Şekil 4.2’ de küçük boyutlu paralel YADA sistemlerinde yapılan ölçümler ve bunlara ait deneysel sonuçlar görülmektedir. Her iki sisteme verilen ham evsel atıksuyun ortalama giriş KOI değeri 531 mg/L’ dir. Bu parametre için YADA–1 ve YADA–2’ de ortalama giderim verimi sırasıyla %50 ve % 68 olarak gerçekleşmiştir.

Aynı sistemin BOI₅ ölçümlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.3’te görülmektedir. Bu parametre için ortalama verim her iki sistem için de % 70 olarak bulunmuştur.

Söz konusu sistemlerde TN sonuçları ve ortalama giderim verimleri Şekil 4.4’ te topluca verilmiştir. Sistemlerin giderim verimleri sırasıyla sisteminde % 52 ve %40 olarak gerçekleşmiştir.

Bu çalışmadan sonra seri bağlı çalıştırılan sistem, YADA-1 çıkış suyunun YADA-2 ye uygulanması sonucu elde edilmiştir. YADA-1 sistemine 10 saatlik süre boyunca 6 lt atıksu uygulaması yapılmıştır. Toplam hidrolik yük 2,4 cm/ gün’ dür. YADA-1 ‘e uygulanan atıksu miktarının aynı şekilde % 75’ i sistemde kalmıştır. YADA-2 sistemine aynı sürede 4.5 lt atıksu uygulamıştır, uygulanan atıksu miktarının % 50’ si sistemde kalmıştır. Böylece bir bütün halinde her iki sisteme verilen atıksuyun yaklaşık olarak % 40’ ı çıkıştan alınmaktadır.

Seri bağlı sistemde toplam AKM giderim verimi % 88 olarak bulunurken (Şekil 4.5), Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8 de görüldüğü gibi KOI, BOI₅ ve TN ortalama giderim verimleri sırasıyla % 80, %83 ve %68 olarak bulunmuştur.

Büyük boyutlu YADA sisteminde atıksu aynı ön arıtmadan geçtikten sonra 0,2 cm / gün’lük hidrolik yüklemeye çalışmaya başlanmıştır. Bu çalışmada 6 lt lik ön arıtması yapılmış olan atıksu 10 saatlik zaman içerisinde sisteme verilmiştir. Verilen atıksudan çıkış alınamadığı için bu miktar önce 8 lt ye çıkarılarak çalışılmış, daha sonraki çalışmalarda atıksu miktarı sırasıyla 12, 18, 24 lt olarak zamanla arttırılarak çalışmaya devam edilmiştir. Bu duruma göre sisteme uygulanan hidrolik yükler sırasıyla; 0,4 cm/gün, 0,74 cm/gün, 1,01 cm/gün ve 1,5 cm/gün’ dür.

Büyük boyutlu YADA sistemini atıksuya alıştırmak için önce 0,4 cm/günlük bir hidrolik yüklemeye başlanmıştır. Bu atıksuyun ortalama AKM giriş suyu konsantrasyonu, 142 mg/L’ dir, bu parametrenin çıkış suyu değeri 28 mg/L, ortalama giderim verimi %80 olarak bulunmuştur (Şekil 4.9). YADA ünitesinden çıkan atıksuyun kil ünitesine ortalama giriş

konsantrasyonu 28 mg/L, çıkış suyu konsantrasyonu 13 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 51' dir. Kil ünitesinden çıkan atıksuyun zeolit ünitesine ortalama giriş konsantrasyonu 13 mg/L, AKM çıkış suyu konsantrasyonu 3 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 73' tür (Şekil 4.10).

Büyük boyutlu YADA sistemi 0,74 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında ortalama AKM giriş suyu konsantrasyonu, 175 mg/L, AKM çıkış suyu konsantrasyonu 24 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %84' dür (Şekil 4.11). Bu sistemden çıkan atıksu kil ünitesine verilmiştir. Ortalama AKM çıkış suyu konsantrasyonu 12 mg/L, ortalma giderim verimi %50' dir. Kil ünitesi çıkış suyunun zeolit ünitesinden AKM çıkış suyu konsantrasyonu 3 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 70' dir (Şekil 4.12).

Büyük boyutlu YADA sistemi 1,01 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında ortalama AKM giriş suyu konsantrasyonu, 157 mg/L, çıkış suyu konsantrasyonu 20 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %81' dir (Şekil 4.13). Bu sistemin çıkış suyu kil ünitesine uygulanmış, ortalama çıkış suyu konsantrasyonu 13 mg/L olaral bulunmuştur. Ortalama giderim verimi %52' dir. Zeolit ünitesi ortalama AKM çıkış suyu konsantrasyonu 3,5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 76' dır (Şekil 4.14).

Büyük boyutlu YADA sistemi 1,5 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında ortalama AKM giriş suyu konsantrasyonu, 161 mg/L, AKM çıkış suyu konsantrasyonu 17 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %78' dir (Şekil 4.15). Kil ünitesinden geçirilen atıksuyun ortalama çıkış konsantrasyonu 15 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %52' dir. Zeolit ünitesi ortalama AKM çıkış suyu konsantrasyonu 4 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 73' tür (Şekil 4.16).

Büyük boyutlu YADA sistemi, 0,4 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, KOI giriş konsantrasyonu 346 mg/L' dir. Ortalama çıkış konsantrasyonu 74 mg/L, sistemin ortalama giderim verimi de % 69' dur (Şekil 4.17).

Büyük boyutlu YADA sistemi, 0,74 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, KOI giriş konsantrasyonu 375 mg/L' dir. Ortalama çıkış konsantrasyonu 52 mg/L, sistemin ortalama giderim verimi de % 75' dir (Şekil 4.18).

Büyük boyutlu YADA sistemi, 1,01 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, KOI giriş konsantrasyonu 375 mg/L' dir. Ortalama çıkış konsantrasyonu 52 mg/L, sistemin ortalama giderim verimi de % 81 olarak bulunmuştur (Şekil 4.19).

Büyük boyutlu YADA sistemi, 1,5 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, KOI giriş konsantrasyonu 343 mg/L' dir. Ortalama çıkış konsantrasyonu 30 mg/L, sistemin ortalama giderim verimi de % 87' dir (Şekil 4.20).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama BOI_5 giriş suyu konsantrasyonu 141 mg/L, BOI_5 çıkış suyu konsantrasyonu 20 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %84,6 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.21).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama 0,4 cm/ günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, TN giriş suyu konsantrasyonu 57 mg/L, TN çıkış suyu konsantrasyonu 28,5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %50' tir. Bu sistemden çıkan atıksuyun kil ünitesinden ortalama TKN çıkış suyu konsantrasyonu 8,5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 51' dir. Zeolit ünitesi TKN çıkış suyu konsantrasyonu 0,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama 0,74 cm/ günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, TN giriş suyu konsantrasyonu 47,5 mg/L, TN çıkış suyu konsantrasyonu 21,5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %52' dir. Kil ünitesi ortalama TKN çıkış suyu konsantrasyonu 7,3 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 48 dir. Zeolit ünitesi ortalama TKN çıkış suyu konsantrasyonu 0,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama 1,01 cm/ günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, TN giriş suyu konsantrasyonu 55 mg/L, TN çıkış suyu konsantrasyonu 26 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 38' tir. Kil ünitesi ortalama TKN çıkış suyu konsantrasyonu 9,75 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 52' dir. Zeolit ünitesi ortalama TKN çıkış suyu konsantrasyonu 0,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.26 ve Şekil 4.27).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama 1,5 cm/ günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, TN giriş suyu konsantrasyonu 53,5 mg/L, TN çıkış suyu konsantrasyonu 25,5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %35' tir. Kil ünitesi ortalama TKN çıkış suyu konsantrasyonu 9,25 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 58,5' dir. Zeolit ünitesi ortalama TKN çıkış suyu konsantrasyonu 0,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.28 ve Şekil 4.29).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama 0,4 cm/ günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, kil ünitesi ortalama $\text{NH}_3\text{-N}$ giriş suyu konsantrasyonu 10,5 mg/L, çıkış suyu konsantrasyonu 5,2

mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %51' dir. Zeolit ünitesi ortalama $\text{NH}_3\text{-N}$ çıkış suyu konsantrasyonu 0,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.30).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama 0,74 cm/ günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, kil ünitesi ortalama $\text{NH}_3\text{-N}$ giriş suyu konsantrasyonu 11 mg/L, çıkış suyu konsantrasyonu 5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %55' dir. Zeolit ünitesi ortalama $\text{NH}_3\text{-N}$ çıkış suyu konsantrasyonu 0,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.31).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama 1,01 cm/ günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, kil ünitesi ortalama $\text{NH}_3\text{-N}$ giriş suyu konsantrasyonu 12 mg/L, çıkış suyu konsantrasyonu 5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %58' dir. Zeolit ünitesi ortalama $\text{NH}_3\text{-N}$ çıkış suyu konsantrasyonu 0,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.32).

Büyük boyutlu YADA sistemi ortalama 1,5 cm/ günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında, kil ünitesi ortalama $\text{NH}_3\text{-N}$ giriş suyu konsantrasyonu 10,8 mg/L, çıkış suyu konsantrasyonu 5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %52' dir. Zeolit ünitesi ortalama $\text{NH}_3\text{-N}$ çıkış suyu konsantrasyonu 0,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.33).

YADA sistemi 0,4 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında ortalama TP giriş suyu konsantrasyonu 16,5 mg/L, TP çıkış suyu konsantrasyonu 7,8 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 51,5' dir. Kil ünitesi ortalama TP çıkış suyu konsantrasyonu 2,1 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 66,5' dir. Zeolit ünitesi TP çıkış suyu konsantrasyonu 0,1 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.34 ve Şekil 4.35).

YADA sistemi 0,74 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında ortalama TP giriş suyu konsantrasyonu 14 mg/L, TP çıkış suyu konsantrasyonu 6,2 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 55 dir. Kil ünitesi ortalama TP çıkış suyu konsantrasyonu 1,09 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 60,5' dir. Zeolit ünitesi ortalama TP çıkış suyu konsantrasyonu 0,1 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.36 ve Şekil 4.37).

YADA sistemi 1,01 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında ortalama TP giriş suyu konsantrasyonu 17 mg/L, TP çıkış suyu konsantrasyonu 7,65 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 55' dir. Kil ünitesi ortalama TP çıkış suyu konsantrasyonu 2,5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 72' dir. Zeolit ünitesi ortalama TP çıkış suyu konsantrasyonu 0,1 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.38 ve Şekil 4.39).

YADA sistemi 1,5 cm/günlük hidrolik yük ile çalıştırıldığında ortalama TP giriş suyu

konsantrasyonu 16,2 mg/L, TP çıkış suyu konsantrasyonu 6,74 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 58,4 dır. Kil ünitesi ortalama TP çıkış suyu konsantrasyonu 1,5 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 76,4' dür. Zeolit ünitesi ortalama TP çıkış suyu konsantrasyonu 0,1 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur (Şekil 4.40 ve Şekil 4.41).

YADA sistemi ortalama PO₄-P giriş suyu konsantrasyonu 2,47 mg/L, TP çıkış suyu konsantrasyonu 0,57 mg/L 'dir. Ortalama giderim verimi %84' tür. Kil ünitesi ortalama PO₄-P giriş suyu konsantrasyonu 0,57 mg/L, çıkış suyu konsantrasyonu 0,1 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi %99' dur. Zeolit ünitesi ortalama PO₄-P giriş suyu konsantrasyonu 0,1 mg/L, TP çıkış suyu konsantrasyonu 0,1 mg/L' dir. Ortalama giderim verimi % 99' dur. Sisteme ilave arıtım ünitesi eklenmesiyle azot ve fosfor gideriminde %100' e yakın verim elde edilmiştir (Şekil 4.42).

Çizelge 4.2 Sistemde toplam koliform giriş ve çıkış değerleri

TOPLAM KOLİFORM(adet/100ml)	Ham Atıksu	Imhoff Çıkış	YADA-1	YADA-2	Verim (%)
MAYIS	9*10 ⁻⁶	600	200	145	99.9
HAZİRAN	8,1*10 ⁻⁴	586	324	96	99
TEMMUZ	1,6*10 ⁻⁴	930	421*		99
AĞUSTOS	1,45*10 ⁻⁴	820	400*		99
ORTALAMA	28*10 ⁻⁴	734	262	120,5	99
			410*		99

*Büyük boyutlu YADA sistemi

SAR Değeri

YADA sistemleri için önemli bir etken de toprak yapısıdır. Özellikle sodyum, kalsiyum, magnezyum iyonları, killi topraklarda zemin partiküllerini dağıtıp geçirgenliğin azalmasına sebep olabilir. Bu nedenle sodyumun tehlikesini ifade edebilmek için A.B.D de 'Sodyum Absorplama Oranı' adı verilen kısaca SAR olarak adlandırılan bir oran belirlenmiştir (Muslu, 1994). Zemin tuzlanmasının bir ölçüsü olarak en sık kullanılan parametredir. SAR> 9 ise, zemin geçirgenliği bundan olumsuz etkilenebilir. Bitkiler içinde zehirli bir durum oluştursa da, asıl tehlike geçirgenliğin değişmesidir.

YADA sistemi giriş ve çıkış sularında SAR değeri belirlenmiş ve 3,9 bulunmuştur. SAR değeri hesaplama yöntemi (1) nolu formülde verilmiştir. SAR değeri önemli bir sulama kriteridir. Ancak bu değer tek başına sistem çıkış suyunun sulama suyu olarak kullanılabileceğini ifade etmez.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

(1)

Toprak analizleri

Yapılan toprak analizleri sonucu elde edilen TKN değeri bitki toprağında 7,5 kg/m², küçük boyutlu YADA Sistemlerinde ortalama 1,4 kg/m², büyük boyutlu YADA sisteminde ise 2,9 kg/m² /bulunmuştur. Ayrıca yapılan TP ölçümlerinde elde edilen değerler bitki toprağı için 0,5 kg/m², küçük boyutlu YADA Sistemlerinde ortalama 0,75 kg/m², büyük boyutlu YADA sisteminde ise 1,1 kg/m²'dir.

Bitki hasadı sonrası elde edilen sonuçlar, küçük boyutlu YADA Sistemlerinde ortalama yaş ağırlık için ortalama 24.7 gr/cm², kuru ağırlık için elde edilen değer de 16,7 gr/cm² 'dir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yüzeysel akışlı paralel sistemlerde AKM’ de ortalama giderim verimi YADA1 ve YADA2 için, %48 , %73 olarak bulunmuştur. Yüzeysel akışlı doğal arıtım sistemlerinde katı madde giderimi filtrasyon, çökelme veya toprak yüzeyinde adsorbsiyonla gerçekleşmektedir. Bu durumda YADA1 sisteminin tabanda kullanılan dolgu malzemesinin gerekli filtrasyonu sağlamadığı düşünülerek giriş ve çıkış bölümlerine çakıl ilave edilmiştir. Seri bağlı küçük boyutlu YADA sistemlerinde ise AKM verimi ortalama olarak %80 değerine çıkmıştır.

Büyük boyutlu YADA sisteminden aynı parametrenin 0,4 cm/gün’lük hidrolik yük uygulamasında elde edilen verim % 80, 0,74 cm/ gün lük uygulamada % 84, 1.01 cm/ gün lükde % 81,5 ve 1,5 cm/ gün lük uygulamada ise % 78 olarak bulunmuştur. Burada en iyi verim 0,74 cm/günlük hidrolik yüklemde elde edildiği görülmüştür. Buradan, sisteme uygulanan atıksu miktarının artmasıyla bu parametrede giderim veriminin düştüğü görülmektedir.

Evsel ve endüstriyel atıksular için kirlilik derecelerini belirlemede en önemli parametrelerden biri olan KOI zayıf karakterli atıksularda 250 mg/L, orta dereceli atıksularda 500 mg/L ve Kuvvetli olan atıksularda 1000 mg/L değerindedir. Küçük boyutlu paralel YADA sistemlerinde yapılan ölçümlerde ortalama KOI giriş değeri 531 mg/L dir. Bu parametrede YADA1 ve YADA2 için ortalama giderim verimi sırasıyla %50 ve % 68’ dir.

Seri çalışan YADA sistemlerinde aynı parametrenin giderim verimi % 80 dir. Burada sistemin boyunun uzatılmasıyla giderim veriminin artmakta olduğunu görüyoruz. Bu duruma göre iyi bir arıtım için sisteme uygulanacak atıksu miktarı ile alan boyunun uygun olması gerekmektedir. Paralel bağlı YADA sistemlerinde elde edilen sonuçlar, sistemin henüz atıksu uygulamasına uyum sağlayamadığının yanında ünite kurulumundan kaynaklanan katı madde kaçışına bağlanabilir.

Büyük boyutlu YADA sisteminde elde edilen ortalama KOI giderim verimi 0,4 cm/gün lük hidrolik yük uygulamasında % 69, 0,74 cm/ gün lük uygulamada % 75, 1.01 cm/ gün lükde %90 ve 1,5 cm/ gün lük uygulama ise % 87 olarak bulunmuştur.

Paralel olarak çalıştırılan küçük boyutlu YADA sistemlerinde elde edilen BOI₅ ölçüm değeri ortalama olarak her iki sistemde de % 70, seri bağlı YADA sistemin de ise %90’ dir.

Aynı parametrede, büyük boyutlu YADA sistemi için 0,4 cm/gün lük hidrolik yük

uygulamasında elde edilen verim %75, 0,74 cm/ günlük uygulamada % 76, 1.01 cm/ gün lükde %90 ve 1,5 cm/ gün lük uygulama ise % 90 olarak bulunmuştur.

Bu duruma göre en uygun hidrolik yük 1,01- 1,5 cm/ günlük bir çalışma aralığı uygun görülmektedir.

Hazır rulo çim kullanılmasının bu duruma olumlu etkisi bitkilerin ve köklerinin gelişmiş olmasıyla biyolojik parçalanmayı tetiklemiş olmasına bağlanabilir.

Bu sonuçlara göre toprak derinliği ile atık suyun kat ettiği yolun uzunluğu, uygulanan atık su miktarının belirli bir miktara kadar artırılması giderim verimini olumlu yönde etkilemektedir.

Ortalama TN giderim verimi paralel çalışan her iki sistemde de % 50' dir. Amonyak azotu giderim verimi YADA1 ve YADA2 sisteminde sırasıyla %40 ve % 60 olarak bulunmuştur. Seri bağlı sistemlerde elde edilen TN ve giderimi % 64 tür.

Büyük boyutlu YADA sisteminden elde edilen TN giderim değerleri 0,4 cm/gün lük hidrolik yük uygulamasında % 50, 0,74 cm/ gün lük uygulamada % 57,5, 1.01 cm/ gün lük de % 58 ve 1,5 cm/ gün lük uygulama ise % 56 olarak bulunmuştur. Bu sistemin ardına ilave edilen kil ve zeolit ünitesi sonrası % 99 toplam verim elde edilmiştir.

Kısa süreli fosfor giderimi sedimentasyon ve toprak adsorpsiyonuyla oluşmaktadır. Seri bağlı sistemlerde elde TP giderimi % 602 dir.

Büyük boyutlu YADA sisteminden elde edilen TP giderim değerleri 0,4 cm/gün lük hidrolik yük uygulamasında % 42, 0,74 cm/ gün lük uygulamada % 46, 1.01 cm/ gün lük de % 46,5 ve 1,5 cm/ gün lük uygulama ise % 42 olarak bulunmuştur. Bu sistemin ardına ilave edilen kil ünitesi sonucu elde edilen giderim verimleri sırasıyla % 86, %91, %85 ve %82' dir. Atıksu kil ünitesinden geçirildikten sonra ikinci ilave arıtım sistemi zeolit ünitesi çıkışında % 99 verim elde edilmiştir.

Yüzeysel akışlı sistemde mikroorganizma giderimi yüzeydeki organik tabaka ve ya vejetasyon örtüsünün yanında, sedimentasyon, filtrasyon, toprak sorpsiyonu, zeminde yaşayan mikro canlılar tarafından yok edilmesiyle gerçekleşir. Sistemde elde edilen toplam koliform giderimi % 99,9' dur. Sistemin çıkış suyu kalitesi Çizelge 5.1' de görülmektedir.

Çizelge 5.1 Yüzeysel akışlı doğal arıtım sistemleri çıkış suyu kalitesi

		AKM (mg/L)	KOI (mg/L)	BOI ₅ (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	pH	HY (cm/gün)
Paralel	Küçük boyutlu YADA-1	77	263	74	42		7,5	1,01-1,5
Paralel	Küçük boyutlu YADA-2	26	157	69	35		7,6	1,01-1,5
Seri	Küçük boyutlu YADA1+YADA2	7	101	20	19		8,1	1,01-1,5
	Büyük boyutlu YADA	3	42	20	0,2	0,1	8,2	1,01-1,5

Atıksuyun kuvvetli olması halinde kullanılan çim bitkisi bundan olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu durumda sisteme küçük debide atık suyun verilmesi gerekir. Verilen atıksu miktarı arttığı takdirde, laboratuvar ortamında gerekli ışık, buharlaşma ve havalandırma sağlanamadığı için bitkilerde sararmalar görülmüştür. Bu sebeple, bu tip çalışmaların arazi laboratuvarlarında veya seralarda yürütülmesinin daha uygun olacağı söylenebilir.

Yüzeysel akışlı doğal arıtım sistemlerine uygulanacak atıksu mutlaka bir ön arıtmadan geçirilmelidir (biyolojik ve ya mekanik yöntemlerle olabilir). Bu ön arıtım sistemi seçilirken sistemde kullanılacak olan bitki hassasiyeti göz önünde bulundurulması gerekir.

Hazır rulo çimler piyasaya sürülmeden önce en az bir sene gübrelenerek büyütülürler. Bu nedenle, hazır rulo çim arazi arıtmalarında kullanılacaksa, en az bir hafta tatlı su ile sulanmasında fayda vardır.

KAYNAKLAR

Anonymous. 1981. "Process design manuel for land treatment of municipal waste water"
U.S. EPA 625/1-81-013 October.

APHA, AWWA, and WPCF, (2005), "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th Ed., Washington, DC.

Chen, R.L., ve Patrick W.H., (1981), "Efficiency of nitrogen removal in a simulated overland flow waste water treatment system", Journal of Environmental Quality, 10 (1), 98-103.

Chernicaró, C.A.L., Silveira Cota, R.D., Zerbini, A.M., Von Sperling, M. ve Novy de Castro Brito, L.H., (2001), "Post treatment of anaerobic effluents in an overland flow system", Water Science and Technology, 44(4): 229-236.

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". Wat. Res. 34 (9), 2483-2490.

Droste, R.L., 1997. "Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment". Wiley, New York

Güneş, K., (2000), "Evsel atıksuların tarıma geri dönüşümünü gerçekleştirebilecek doğal arıtma teknolojilerinin Türkiye şartlarında denenmesi ve geliştirilmesi", A.Ü F.B.E Doktora Tezi, Ankara.

Hill, V.R., and Sobsey, M.D., (1998), "Microbial indicator reductions in alternative treatment systems for swine wastewater", Water Science and Technology, 38(12),119-122.

Jensen, M. E. (ed)., (1980), "Design and operation of farm irrigation system", American Society of Agricultural Engineers, Monograph no:3, St Joseph, MI

Jewell, W. J., and B. L. Seabrook., (1979), "A History of Land Application As

Treatment Alternative”, EPA 430/9 - 79 -012, U. S. EPA, Washington DC.

Kadlec R. H. and Knight R. L. (1996), “Treatment Wetlands”. Lewis Publishers, Chelsea, MI.

Kurz, I, Colin Daniel O'Reilly, C.D., and Tunney, H., (2006),” Impact of cattle on soil physical properties and nutrient concentrations in overland flow from pasture in Ireland”, Agriculture, Ecosystems & Environment, 113 (1-4), 378-390.

Lloyd, H. and Ketchum, J., (1978), “Overland flow treatment of duck processing wastewater in a cold climate”, Federal Funds from the Environmental Protection Agency , g.n: R-804677.

Metcalf ve Eddy, Inc. (1991), “Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse”, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, N.Y.

Muslu, Y., (1996), “Atıksuların Arıtılması”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul

Öztürk, İ., (2007), “Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları”, Su Vakfı, İstanbul.

Process design manual for land treatment of municipal wastewater- Supplement on rapid filtration and overland flow (1984), (EPA 625/1-81-013a), EPA Ctr. For Envir. Res. Information, Cincinnati, Ohio.

Reed, S, C, E. J. Middlebrooks and R. W. Crites., 1988. “Natural Systems For Wastewater Management and Treatment”, McGraw- Hill. New york.

Samsunlu, A., (2006), “Atıksuların Arıtılması”, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Sasse, L., (1998), DEWATS, Decenralised Wastewater Treatment in Developing Countries, Bremen Overseas Research and Development Association, Bremen.

Smith, R.G., and Schroeder, E.D. (1985) “Field studies of the overland flow process fort he treatment of raw and primary treated municipal wastewater, J. Water Pollution Control Fedn., 57(7), 785-794.

Smith, R. G. and E. D. Schroeder., 1983. “Physical Design of Overland Flow Systems”, Journal WPCF, vol. 55, no: 3.

Sparks, D.L., (1996), (Editor), Bartel, J.M. (Managing editor), “Methods of Soil Analysis: Chemical Methods Part 3” SSSA, sayfa :1131.

Sundberg, C., Stendahl, J.S.K., Tonderski, K., and Lindgren, Per-Eric (2007) “Overland flow systems for treatment of landfill leachates—Potential nitrification and structure of the ammonia-oxidising bacterial community during a growing season“, Soil Biology and Biochemistry, 39 (1),127-138.

Surampalli, R.Y., Chou, S.C., and Banerji, S.K. (1996), “Performance Evaluation of Overland Flow Wastewater Treatment System under Winter and Summer Conditions”. J. Cold Reg. Engrg.,ASCE, 10 (4), 163-177.

Surampalli, R.Y., Banerji, S.K., Tyagi R.D., Yang, P.Y. 2007. “Integrated advanced natural wastewater treatment system for small communities”. Water Science & Technology Vol 55 No 11 pp 239–243 Engineering 10, 163–177.

Taebi A., Droste R. L.,2007. “Performance of an overland flow system for advanced treatment of wastewater plant effluent”. Journal of Environmental Management

Tedaldi, D.J. ve Loehr, R.C. (1991), “Performance of an overland flow system treating food-processing wastewater”, Research Journal of the Water Pollution Control Federation, 63(3), 266-275.

TÜBİTAK/KAMAG, (2009), “Küçük Yerleşim Birimleri İçin Uygun Atık su Arıtma Alternatiflerinin Araştırılması: Yamula Baraj Havzasında Bir Örnek Çalışma”, Proje No: 107G252, 1. Gelişme Raporu, İstanbul.

U.S. Environmental Protection Agency., 1981. “Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater”, EPA 625/1- 81 -013. Cincinnati.

Üstün, B. 1985. “Efficiency of wastewater treatment by land disposal and its effects on crop productivity”. Master of Science of Environmental Engineering. Boğaziçi University

Vernick, A.S. and Walker, E.C., 1981. “Handbook of wastewater treatment processes”. Marcel Dekker, Inc., 255p., New York. USA.

Witherow, J.L., and Bledsoe, B.E. (1986), “Design model for the overland flow process,” J. Water Pollution Control Fedn., 58(6), 381-366.

Yadigar A., (2000), “ Doğal arıtmanın uygulanması halinde ortaya çıkacak depolama hacminin ve karşılanabilecek sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi”, İ.T.Ü F.B.E Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Zwerman, P.J. and F. A. M. De Haan, F.A.M (1973) “Significance of the soil in environmental quality improvement—A review”, The Science of The Total Environment, 2(2),121-155.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.10.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-1997 Özel Coşkun Kız Lisesi
1997-2000 Özel Bilimsel Eğitim Merkezi Lisesi

Lisans 2001-2005 Çanakkale 18Mart Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi
Su Ürünleri

Yüksek Lisans 2005- 2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Bölümü