

9. ÇAMUR STABİLİZASYONU (İP 9)

Projenin stabilizasyon iş paketi (İP 9) kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda aerobik, anaerobik ve alkali stabilizasyon çalışmalarına yönelik laboratuvar ölçekli sistemler kurularak 7 Bölgeden temsili olarak seçilmiş olan evsel ve kentsel AAT'lerin son çökeltim havuzu çamur geri devir hatlarından alınan çamur örnekleri ile deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Çamurların biyolojik bozunabilirliğinin artırılarak stabilizasyon veriminin ve anaerobik stabilizasyon sırasında oluşan biyogaz kalitesi ve miktarının artırılması ve çamur miktarının azaltılması amacıyla çamur örneklerine, İP 8'de en etkili minimizasyon (dezentegrasyon) yöntemleri olarak belirlenen ultrasonikasyon ve mikrodalga dezentegrasyon yöntemleri uygulanmıştır. Biyolojik dezentegrasyon yöntemi olan enzim ön-arıtımı ise uygulama yönteminin gereği olarak stabilizasyon öncesinde arıtma çamurlarına tatbik edilmiştir. İP 9 kapsamında hem işlem görmeden çürütülmüş (kontrol çamur) hem de dezentegre edildikten sonra çürütülen çamurların su verme özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir.

İP 9 kapsamında arıtma çamurlarına uygulanan aerobik, anaerobik ve alkali stabilizasyon yöntemlerinin stabilizasyon üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik BÜ, DEÜ ve İTÜ grupları tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve sonuçları takip eden bölümlerde sunulmaktadır.

İP 9 kapsamında BÜ, DEÜ ve İTÜ grupları tarafından tamamlanan çalışmalar ve ilgili sonuçlar takip eden bölümlerde sunulmaktadır.

Çalışmalar sırasında yapılan analizler Standard metotlara (APHA, AWWA, WPCF) uygun olarak, aşağıdaki ölçüm yöntemleri kullanılarak yapılmıştır :

- **pH:** 4500-H B Elektrokimyasal Metot (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Redox Potansiyeli:** 2580 B Elektrokimyasal Metot (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **İletkenlik:** 2510 B Method (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Kimyasal Oksijen İhtivacı (KOİ):** 5220 D Method Closed Reflux, Colorimetric (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Toplam Organik Karbon (TOK):** 5310 A Method (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Çözünmüş Organik Karbon (COK):** 5310 A Method (APHA, AWWA-WPCF-2006)

- **Toplam Katı Madde (TKM):** 2540 B (APHA, AWWA-WPCF-2006) Gravimetrik Metot
- **Toplam Uçucu Katı Madde (TUKM):** 2540 G (APHA, AWWA-WPCF-2006) Gravimetrik Metot
- **Toplam Askıda Katı Madde (TAKM):** 2540 C and E (APHA, AWWA-WPCF-2006) Gravimetrik Metot
- **Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM):** 2540 D and E (APHA, AWWA-WPCF-2006) Gravimetrik Metot
- **Alkalinite:** 2320 B Titrimetrik Metot (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Toplam Kjeldahl Azotu (TKN):** 4500 E Titrimetrik Metot (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Amonyak Azotu:** 4500 E Titrimetrik Metot (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Nitrit, nitrat:** 4500 Kolorimetrik Metot (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Fosfor:** 4500-P E Method Ascorbic Acid (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Klorür:** 4500-Cl B Method Argentometric (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Sülfat:** 4500-SO₄-2 E Turbidimetrik Metot (APHA, AWWA-WPCF-2006)
- **Metal Analizleri:** Kütle Spektrometresi (ICP Metodu)
- **Uçucu Organik Asitler:** Gaz Kromatografi ; HPLC
- **(Gaz Kompozisyonu) CH₄, CO₂, O₂:** Gaz Kromatografi
- **Partikül Boyutu Analizi:** Malvern Particle Size Analyzer

9.1. BÜ Grubu Tarafından Yapılan Çalışmalar

9.1.1. Aerobik Stabilizasyon Uygulamaları

Aerobik stabilizasyon çalışmaları, İP 8'de dezentegrasyon uygulanan arıtma çamurlarının alındığı tesislerin son çökeltim havuzu çamur geri devir hatlarından alınan çamur örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Stabilizasyonda kullanılan arıtma çamuru giriş özelliklerini belirlemek üzere yapılan çamur karakterizasyonu çalışmalarının sonuçları Tablo 9.1'de sunulmaktadır.

Her bir tesis için; kontrol (hiç bir ön arıtım/arıtım uygulanmamış), ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim ön-arıtımı uygulanmış dört adet reaktörden oluşan deney sistemleri kurularak, toplam 16 adet reaktör ile çalışılmıştır. 5 L hacmindeki her bir reaktör, 4 L aktif çalışma hacmine sahiptir. Aerobik reaktörler 21 gün süreyle işletilmiştir.

Tablo 9.1 : Stabilizasyon çalışmalarında kullanılan aktif çamur numunelerinin özellikleri

Parametre	Birim	İzmit Kullar AAT	İstanbul Bahçesehir AAT	Samsun Bafra AAT	Düzce Akçakoca AAT
TKM	mg/L	12343	5963	6463	5659
TUKM	mg/L	8550	4360	4060	3960
AKM	mg/L	11660	5670	6060	5360
UAKM	mg/L	7989	3943	3707	3699
pH	-	7,23	7,06	7,06	7,00
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L	735	900	1600	500
İletkenlik	mS/cm	2,51	1,74	2,86	2,34
Tuzluluk	‰	1,2	0,9	1,5	1,1
TKOİ	mg/L	6340	9062	6579	7773
ÇKOİ	mg/L	120	145	203	343
TOK	mg/L	418	486	625	732
ÇOK	mg/L	22	18	20	25
TKN	mg/L	620	590	630	680
NH ₄ -N	mg/L	8	9	6	52,5
NO ₃ -N	mg/L	0,9	0,2	0	5,25
NO ₂ -N	mg/L	1	0	0	0
TP	mg/L	1600	1320	1110	1040
PO ₄ ³⁻	mg/L	4920	4060	3380	3180
P ₂ O ₅	mg/L	3680	3040	2520	2380
SO ₄ ²⁻	mg/L	170	115	150	45
Cl ⁻	mg/L	212	212	318	212
KES	sn	22,3	17	22,6	86,5
TK	[kob/100mL]	1x10 ⁸	1,4x10 ⁸	1,6x10 ⁸	2,6x10 ⁸
FK	[kob/100mL]	4,9x10 ⁷	7,9x10 ⁷	5,7x10 ⁷	1x10 ⁸
FS	[kob/100mL]	1,6x10 ⁷	1,9x10 ⁷	3,1x10 ⁷	5,5x10 ⁷

Ultrasonikasyon dezenteegrasyonu için arıtma çamurlarına, İP 8 kapsamında gerçekleştirilen istatistiksel analizler sonucunda uygulanabilir optimum değer olarak bulunan 15000 kJ/kg TKM spesifik enerjide 200 W ve %70 amplitüte göre ayarlanan ultrasonikasyon dozu uygulanarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. %1 katı madde içeriğine sahip olan arıtma çamurları toplam katı madde içeriklerine göre hesaplanan süreler boyunca Tablo 9.2’de görüldüğü gibi sıcaklık kontrollü olarak ultrasonike edilmiştir.

Tablo 9.2 : Aerobik stabilizasyon öncesinde arıtma çamurlarına uygulanan ultrasonikasyon koşulları

Arıtma Tesisleri	İlk Sıcaklık (°C)	Son Sıcaklık (°C)	Uygulanan Ultrasonik Enerji (kJ)
İzmit Kullar AAT	23	25,8	102,358
İzmit Kullar AAT	23,3	26,6	102,410
Bahçeşehir AAT	26,6	24	101,340
Bahçeşehir AAT	26,6	24,6	101,161
Samsun Bafra AAT	21,2	29,8	109,384
Samsun Bafra AAT	24,6	25,6	109,361
İzmit Düzce Akçakoca	25	24,5	92,419
İzmit Düzce Akçakoca	25,6	24,1	92,509

Mikrodalga dezentegrasyonu, arıtma çamurlarına Berghoff MWS-3+ cihazı kullanılarak, IP 8’de optimum koşul olarak tespit edilen 175°C sıcaklık ve 10 dakika süre ile mikrodalga uygulaması ile gerçekleştirilmiştir.

Enzim ön arıtımında, arıtma çamurlarına stabilizasyon sırasında Alpha-amylase, Beta-glucanase (endo-(1,2(4)-), Lipase, Protease, Cellulase sınıfına ait 4 farklı hidrolitik ve 1 adet sellülotik enzimden oluşan karışım hacimce %0.5’lik enzim karışımı olarak uygulanmıştır. Burada kullanılan enzim karışımı ve en uygun doz TÜBİTAK 104Y375 nolu projeden temin edilmiştir.

Reaktörlerdeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu hava taşları kullanılarak en az 2 mg/L olacak şekilde sürekli kontrol altında tutulmuştur. Reaktörlerin toplam katı madde miktarı yaklaşık %1 olarak ayarlanmış ve dezentegrasyon hacmi, toplam reaktör hacminin 1/4’ü olarak uygulanmıştır.

Reaktörlerden alınan numunelerde stabilizasyon derecesinin belirlenmesi ve performans değerlendirmelerine yönelik olarak, toplam katı madde (TKM), organik madde (OM), toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve çözünmüş KOİ (ÇKOİ), toplam organik karbon (TOK), çözünmüş organik karbon (ÇOK), pH, redoks potansiyeli (ORP), sıcaklık, çözünmüş oksijen, alkalinite, nitrat, nitrit, amonyak, toplam azot, toplam fosfor, klorür, sülfat, partikül boyut dağılımı analizleri yapılmıştır.

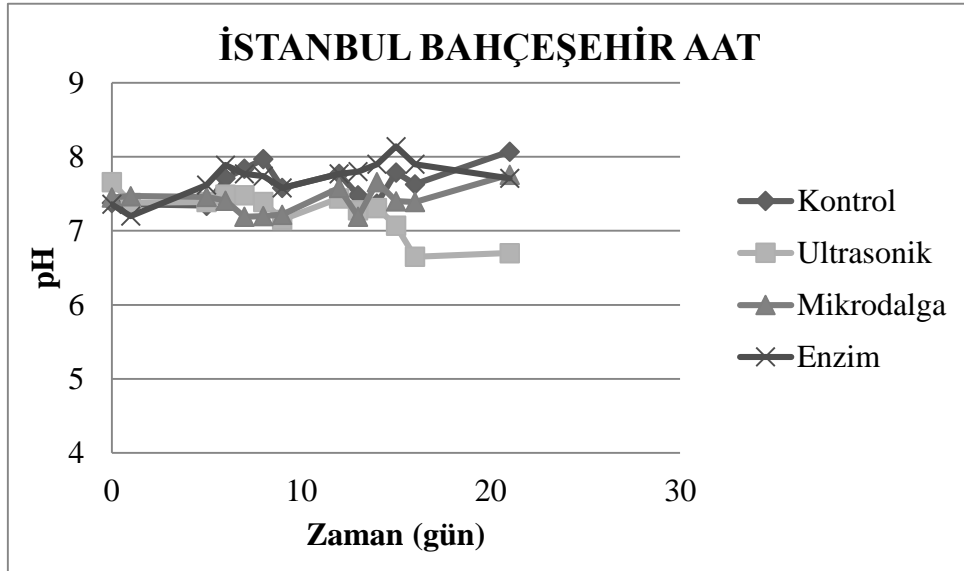
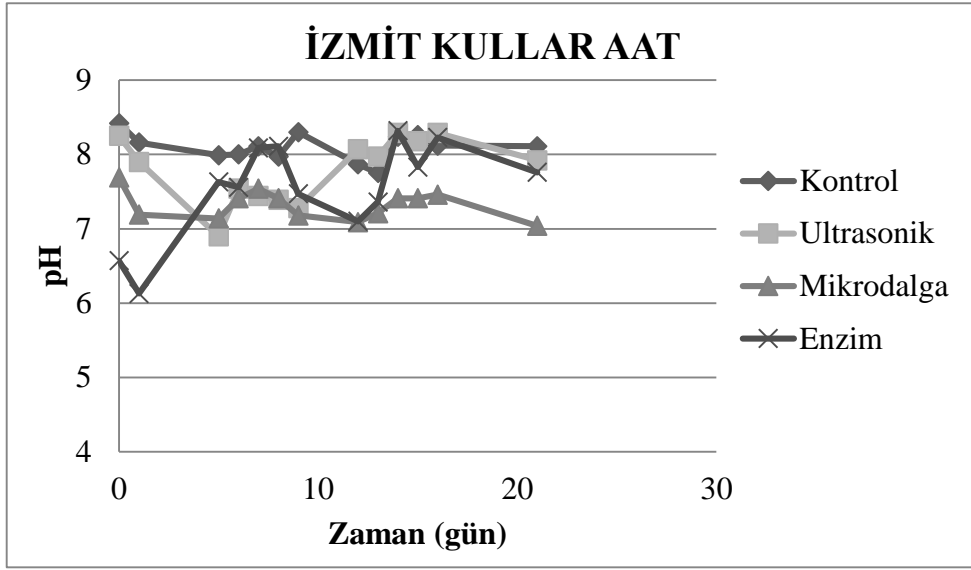
Bu iş paketi kapsamında gerçekleştirilen tüm analizler paralelli olarak gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar ortalama değerler olarak aşağıda detaylı olarak sunulmaktadır. Aerobik stabilizasyon çalışmalarında patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler yapılmış olup, bu amaçla aerobik reaktörlerde başlangıçta ve reaktör işletiminin son gününde alınan örneklerde toplam koliform, E-Coli ve fekal streptokok parametreleri analiz edilmiştir. Analiz programına göre analizlenen parametrelerin ölçüm sıklığı Tablo 9.3’de verilmektedir.

Tablo 9.3 : Aerobik reaktörlerin işletiminde analizlenen parametreler

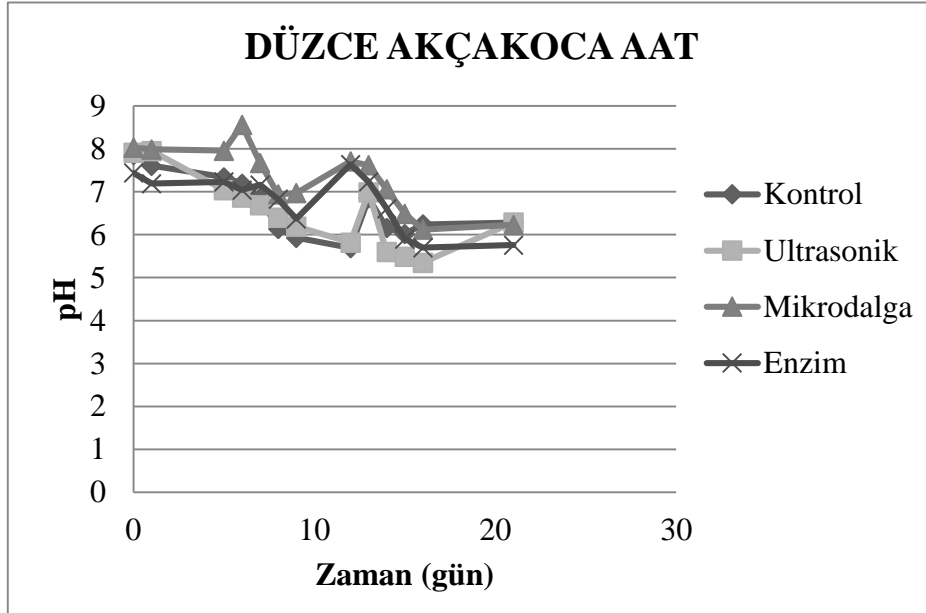
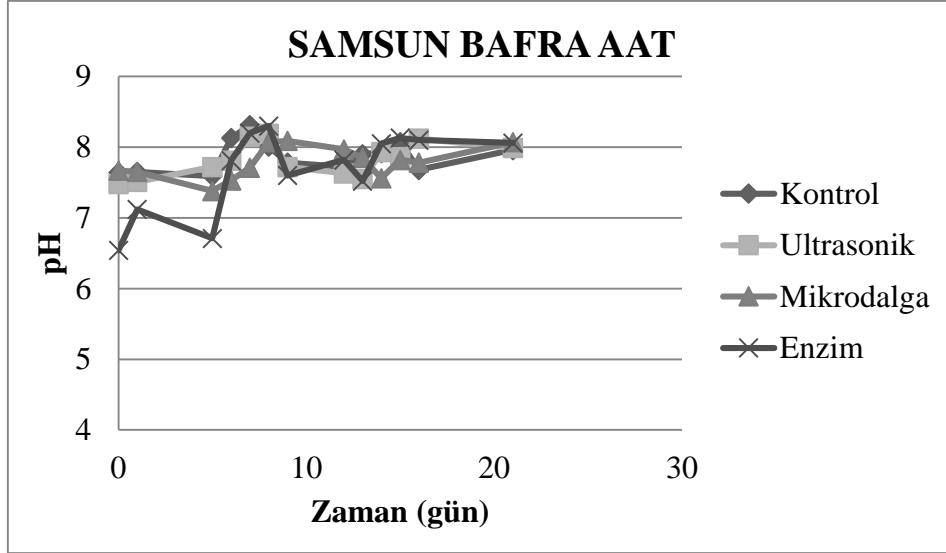
Parametre	Analiz Sıklığı
Toplam Katı Madde	Haftada 2 defa
Toplam Uçucu Katı Madde	Haftada 2 defa
Askıda Katı Madde	Haftada 2 defa
Uçucu Askıda Katı Madde	Haftada 2 defa
Alkalinite	Haftada 2 defa
Çözünmüş Oksijen	Her gün
Redox Potansiyeli	Her gün
İletkenlik,tuzluluk	Her gün
pH	Her gün
Sıcaklık	Her gün
Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı	Haftada 2 defa
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı	Haftada 2 defa
Toplam Organik Karbon	Haftada 1 defa
Çözünmüş Organik Karbon	Haftada 1 defa
Toplam Azot	Haftada 1 defa
Toplam Fosfor	Haftada 1 defa
Kapiler Su Emme Süresi	Haftada 1 defa
NH ₄ ⁺ -N, NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ⁻ , Cl ⁻	1., 30. günlerde
Partikül Boyut Dağılımı	Haftada 1 defa
Mikrobiyolojik Analizler	1., 30. günlerde

9.1.1.1.pH Analiz Sonuçları

İşletilen reaktörlerde günlük olarak ölçülen pH değerleri Şekil 9.1 ve Şekil 9.2’de verilmektedir. AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde pH 5.5-8.2 aralığında salınım göstermekle birlikte, tüm reaktör sistemlerinde artan zamanın bir fonksiyonu olarak pH’da biyolojik aktiviteyi olumsuz etkilemeyecek şekilde bir miktar azalmaların olduğu gözlenmektedir. İşletim süresine bağlı olarak zaman içinde önemli değişimler gözlenmemekle birlikte bu çamurlar içinde enzim arıtımının uygulandığı reaktörde diğerlerine göre az bir miktar daha yüksek pH değerleri ölçülmüştür.



Şekil 9.1 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki pH değişimi (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)



Şekil 9.2 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki pH değişimi (Sambun Bafra-Düzca Akçakoca ATT)

9.1.1.2.Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli (ORP) Analiz Sonuçları

Dezente gre edilmiş reaktörler ve kontrol reaktörlerinde, aerobik aktivitenin önemli bir göstergesi olan ORP analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışılan reaktörlerde ORP değerleri 40-190 mV arasında ölçülmüş ve çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki değişimler nedeniyle salınım göstermiştir. ORP değerleri ortamın tamamen aerobik olarak korunduğunu göstermektedir.

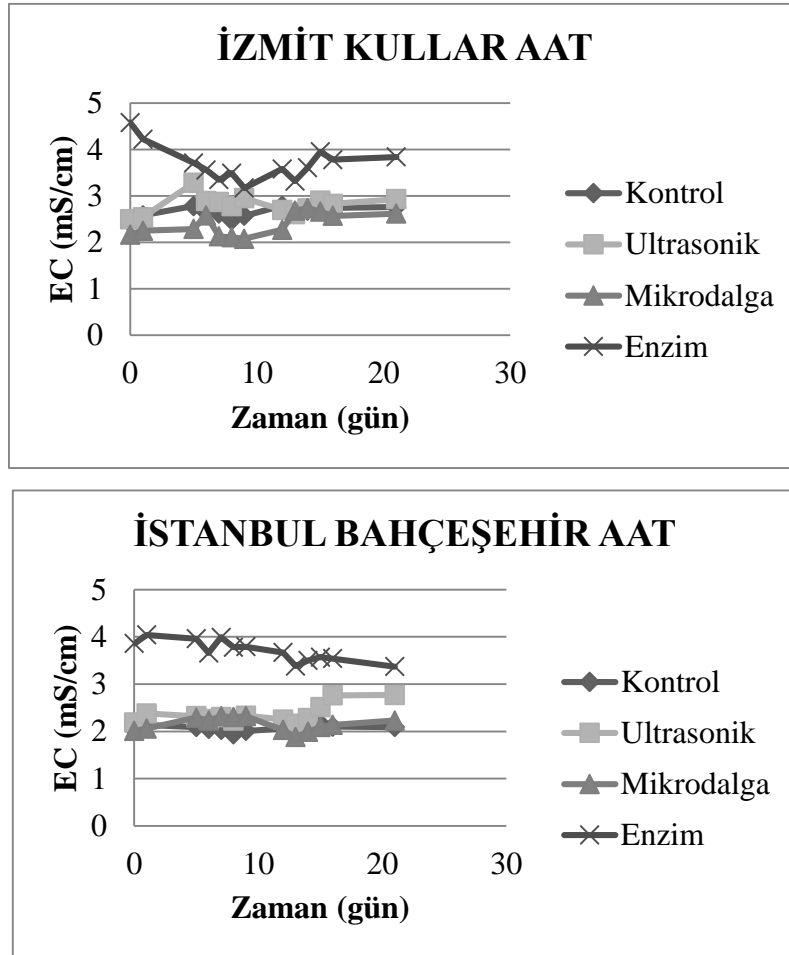
9.1.1.3.Çözünmüş Oksijen Analiz Sonuçları

Dezente gre edilmiş reaktörler ve kontrol reaktörlerinde, aerobik ortamın önemli bir göstergesi olan çözünmüş oksijen analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışılan reaktörlerde çözünmüş oksijen

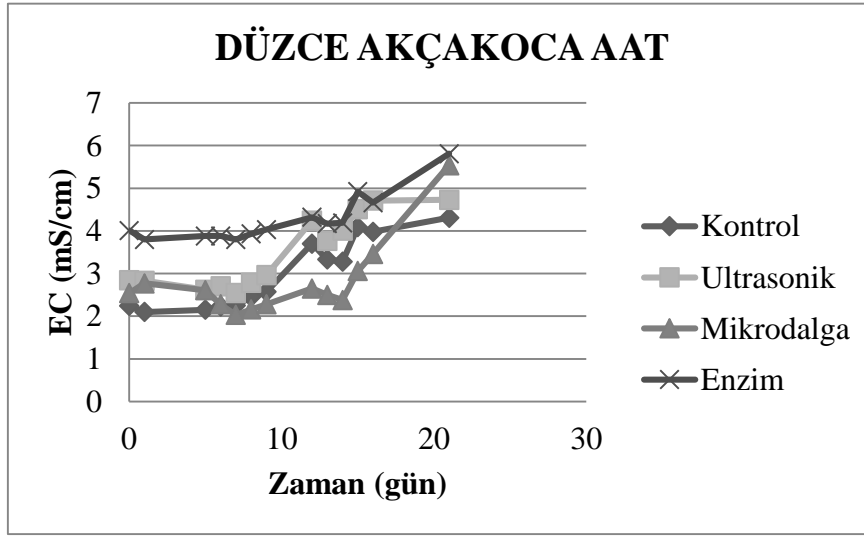
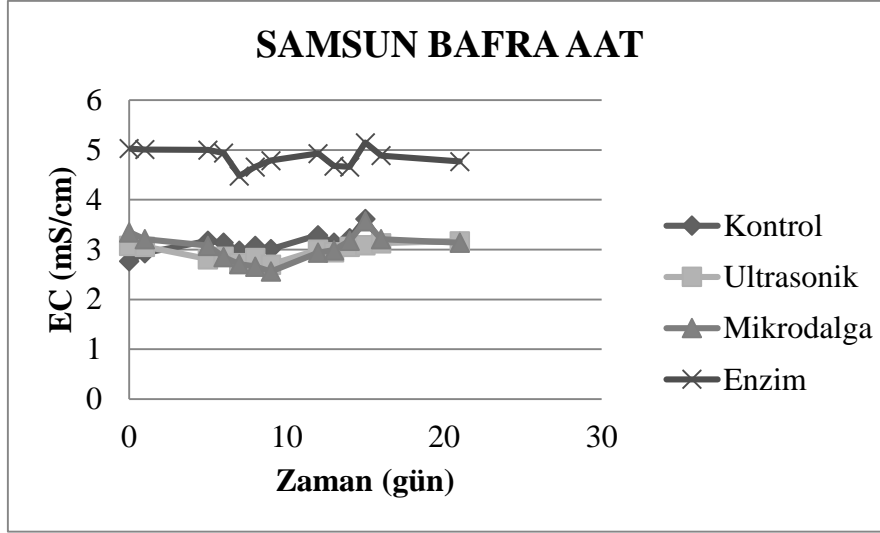
değerleri 2,5 – 8 mg/L arasında ölçülmüştür. Çalışma süresince tüm reaktörlerde çözülmüş oksijen konsantrasyonu en az 2 mg/L olarak sağlanmıştır.

9.1.1.4. Elektriksel İletkenlik (EC) Analiz Sonuçları

Dezente gre edilmiş reaktörler ve kontrol reaktörlerinde, işletim süresinin bir fonksiyonu olarak numunelerin elektriksel iletkenlikleri (EC) ölçülmüştür. Kontrol reaktörleri de dahil olmak üzere tüm dezente grasyon uygulanmış reaktörlerde işletim süresindeki artışa paralel olarak EC değerlerinde artış olduğu saptanmıştır. Dezente gre edilmiş diğer reaktörler ve kontrol ile kıyaslandığında, enzim eklenmiş reaktörlerin elektriksel iletkenlik değerlerinin en yüksek olduğu gözlenmiştir. Çalışılan reaktörlerde EC değerleri 2 – 5,5 mS/cm arasında değişim göstermiştir. EC değerlerindeki değişimler Şekil 9.3 ve Şekil 9.4’deki gibi ölçülmüştür.



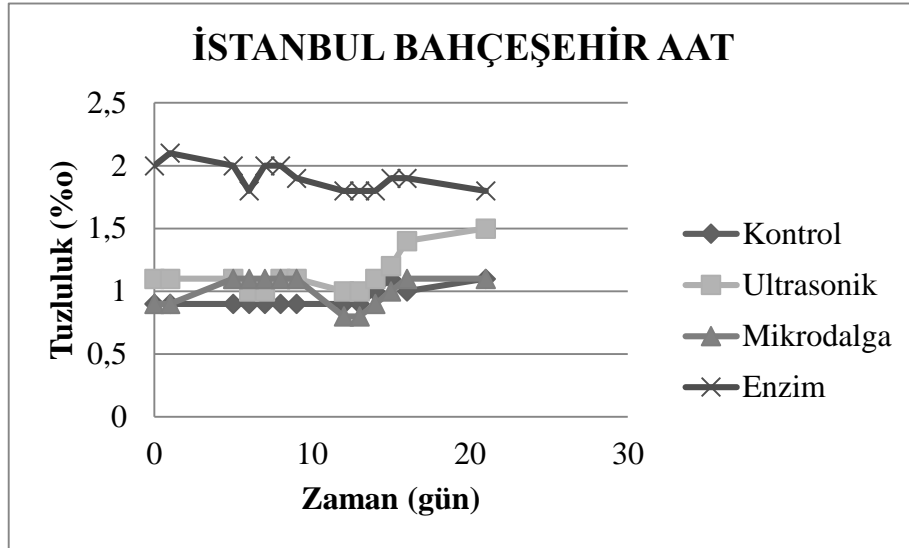
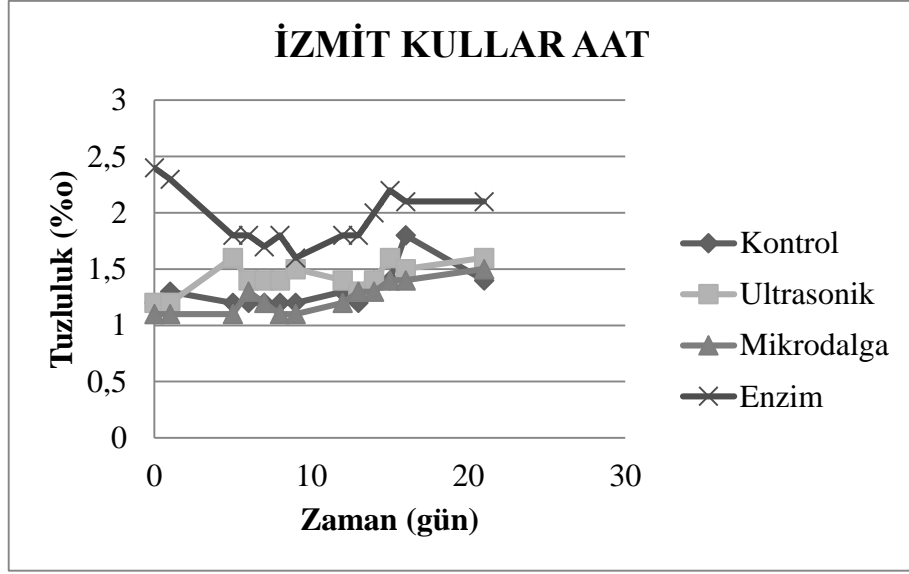
Şekil 9.3 : Aerobik Stabilizasyonda Çamurlardaki Elektriksel İletkenlik Değişimi (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)



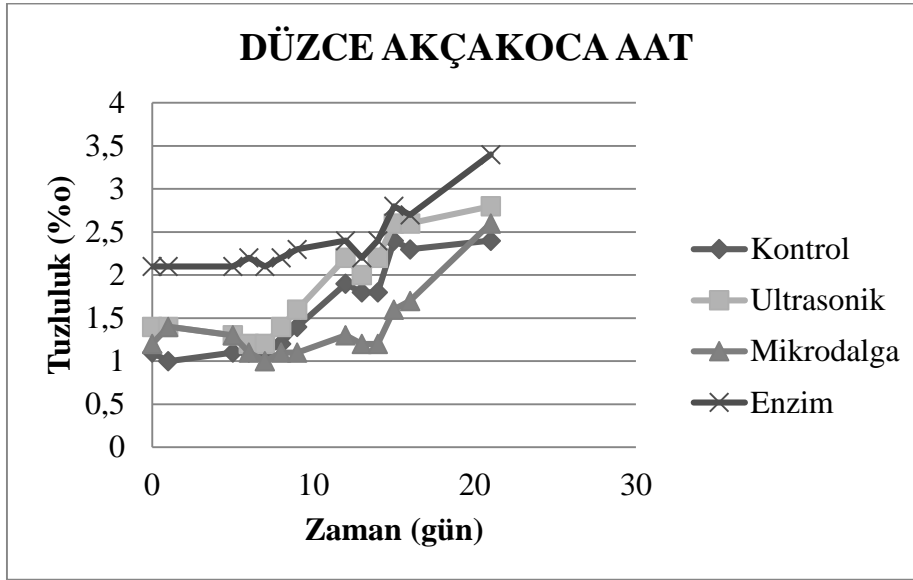
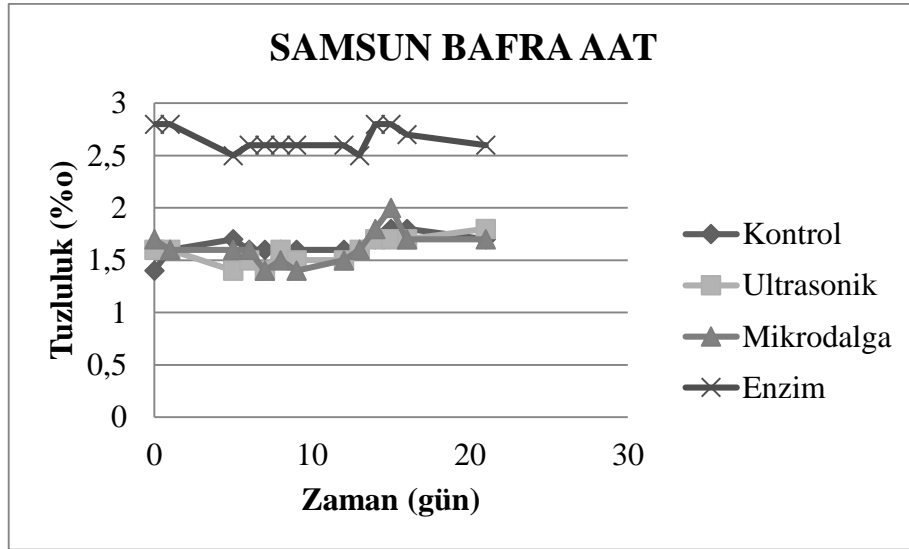
Şekil 9.4 : Aerobik Stabilizasyonda Çamurlardaki Elektriksel İletkenlik Değişimi (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)

9.1.1.5.Tuzluluk Analiz Sonuçları

EC ile kıyaslandığında, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk değerleri arasında uyum görülmüştür. Tuzluluk değerleri İzmit Kullar AAT çamur numuneleri için ‰1,1-2,4, İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numuneleri için ‰0,9-1,8, Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için ‰1,4-2,8 ve Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için ‰1-3,4 arasında değişim göstermiştir. EC de olduğu gibi, en yüksek tuzluluk değerleri enzim eklenmiş reaktörlerde gözlenmiştir. Tuzluluk analiz sonuçları Şekil 9.5 ve Şekil 9.6'da gösterilmiştir.



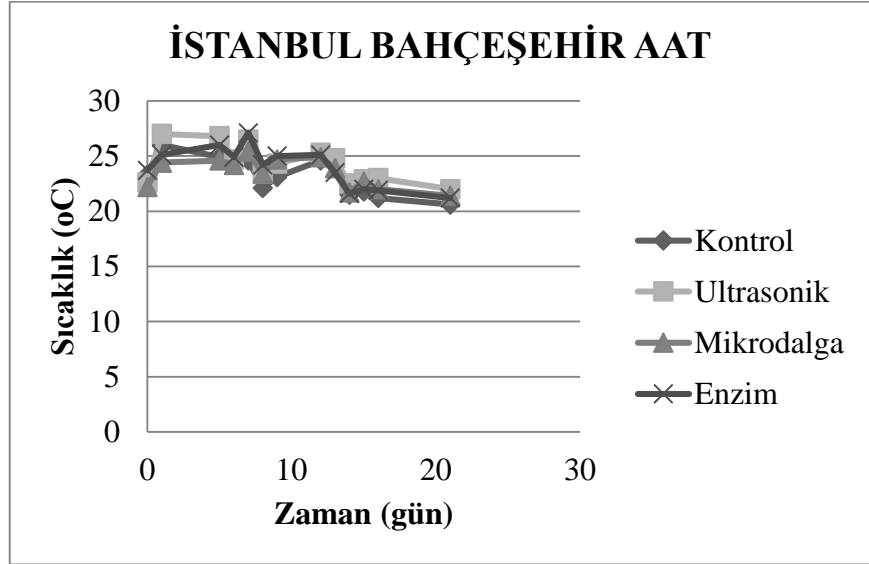
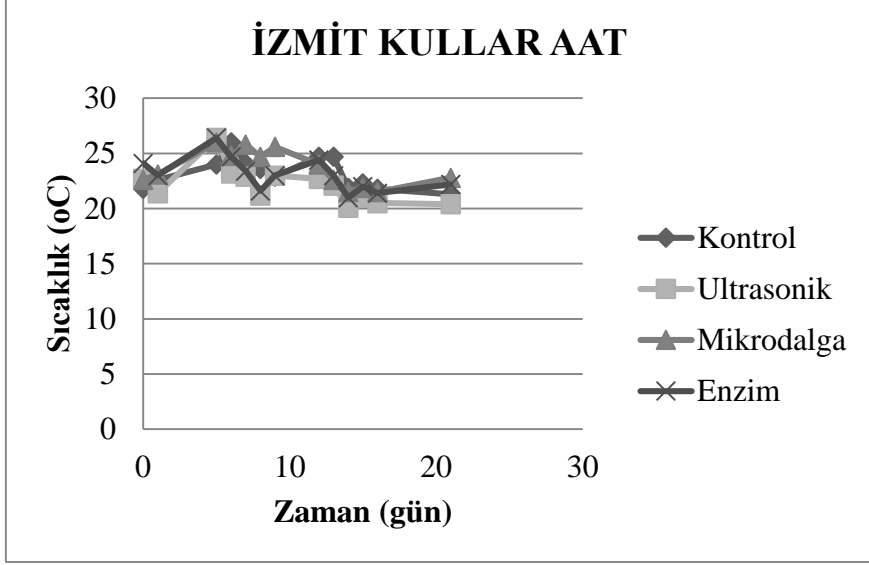
Şekil 9.5 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki tuzluluk değişimi (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)



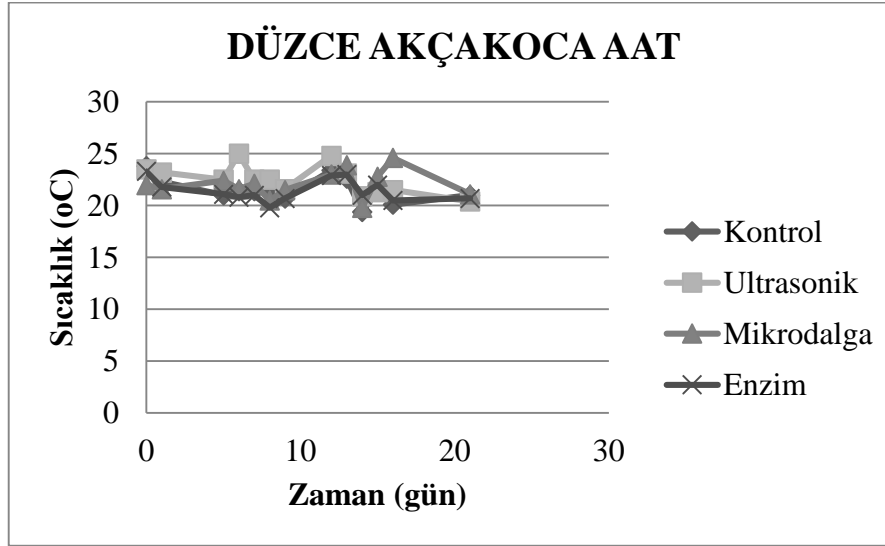
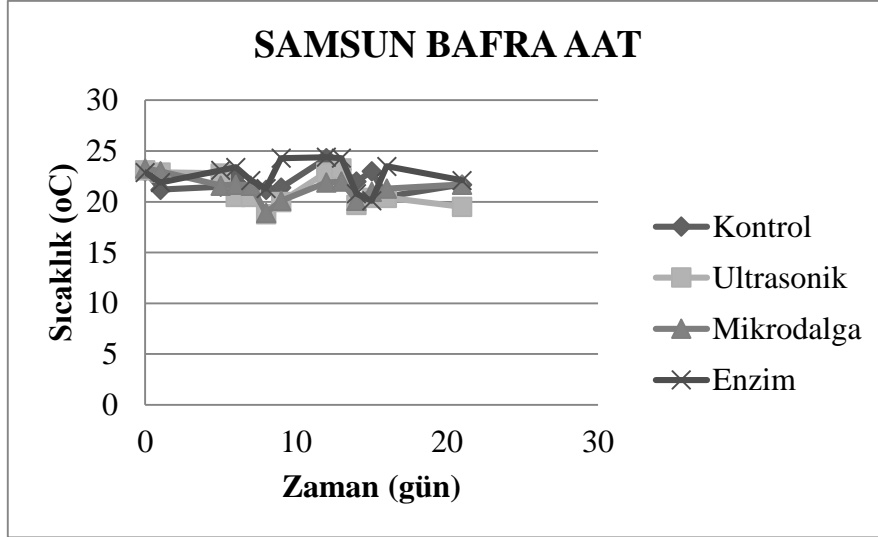
Şekil 9.6 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki tuzluluk değişimi (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)

9.1.1.6.Sıcaklık Analiz Sonuçları

Oda sıcaklığında işletilen reaktörlerin sıcaklık değişimleri günlük olarak takip edilmiş olup sıcaklık değişimleri Şekil 9.7 ve Şekil 9.8’de gösterilmiştir. İşletim süresince, reaktörlerin sıcaklık değerleri, ortam sıcaklığına bağlı olarak 20-26 °C arasında değişim göstermiştir.



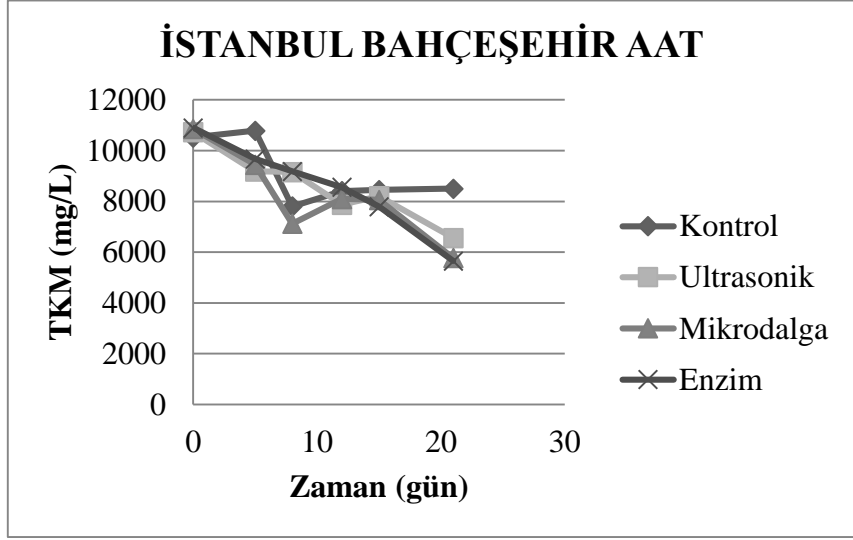
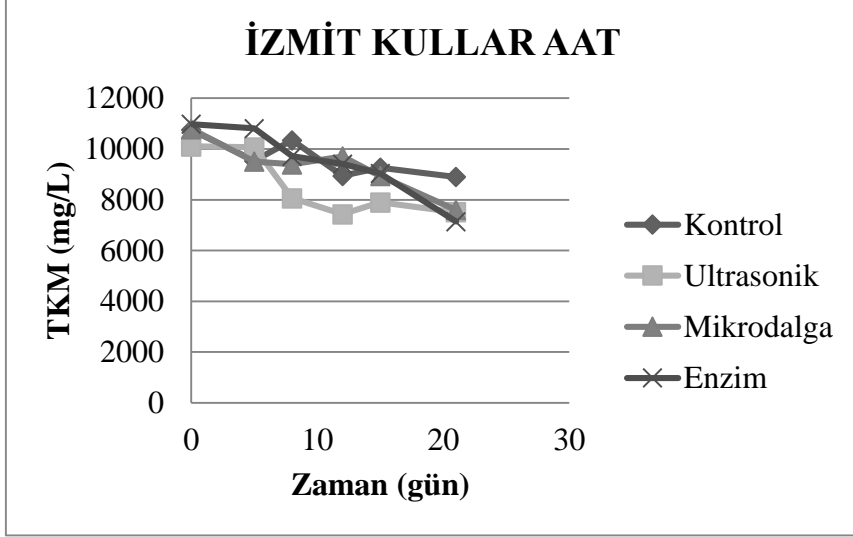
Şekil 9.7 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki sıcaklık değişimi (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)



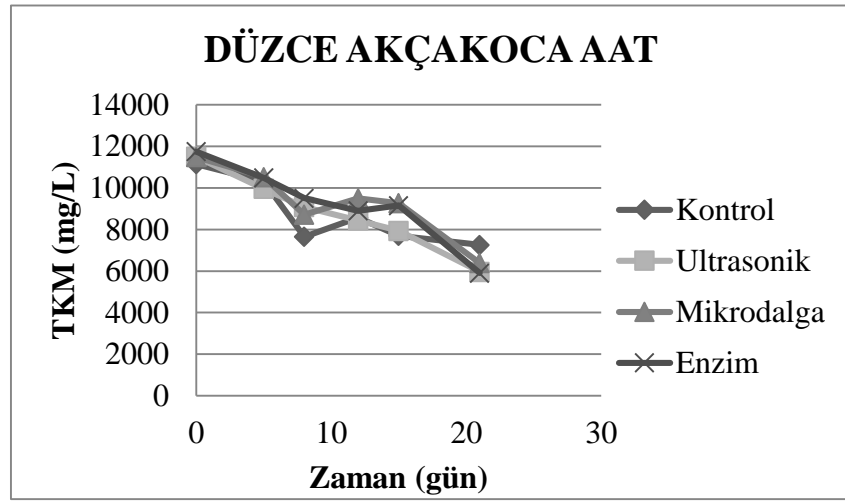
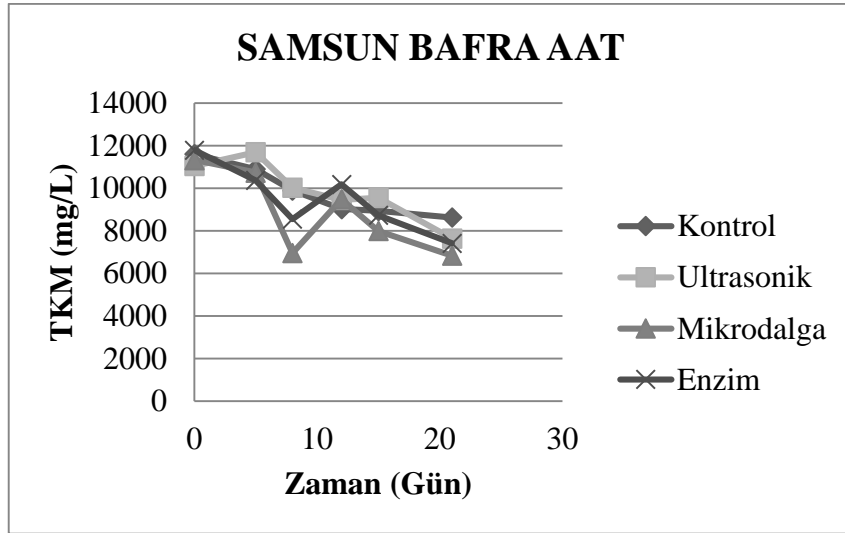
Şekil 9.8 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki sıcaklık değişimi (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)

9.1.1.7.TKM ve TUKM Analiz Sonuçları

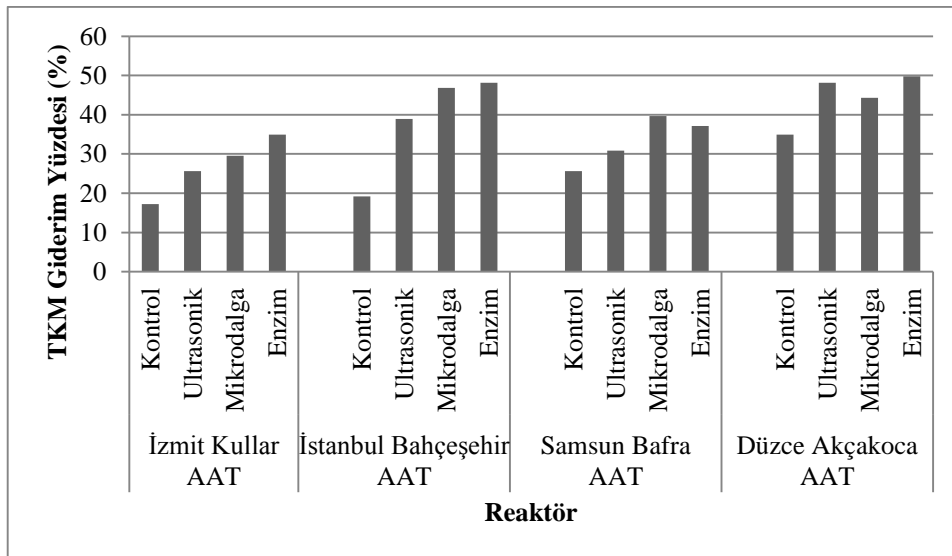
Aerobik stabilizasyon çalışmaları boyunca reaktörlerde ölçülen toplam katı madde (TKM) konsantrasyonları Şekil 9.9 ve Şekil 9.10'da, TKM giderim verimleri ise Şekil 9.11'de gösterilmiştir. Reaktörlerdeki toplam uçucu katı madde (TUKM) konsantrasyonları Şekil 9.12 ve Şekil 9.13'de, elde edilen TUKM giderim verimleri ise Şekil 9.14'de gösterilmiştir.



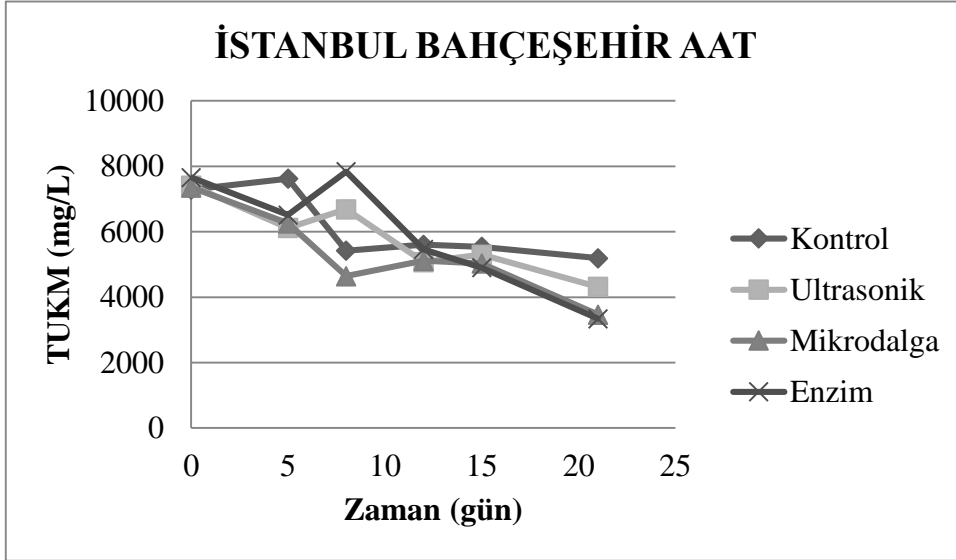
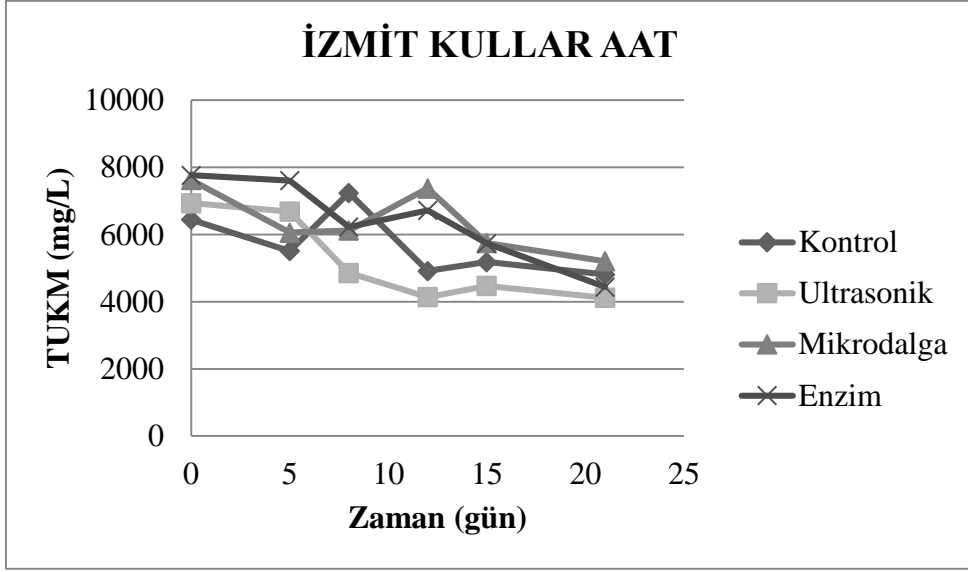
Şekil 9.9 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki TKM değişimi (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)



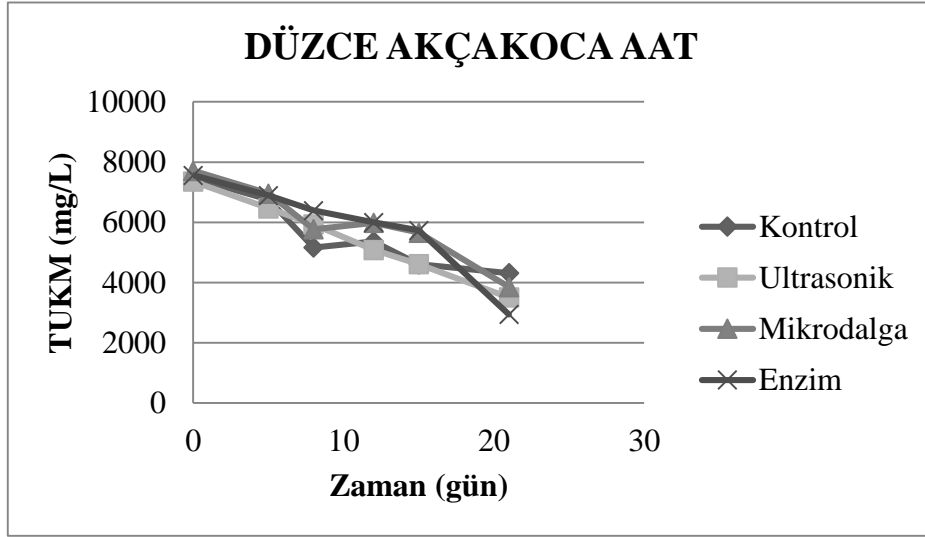
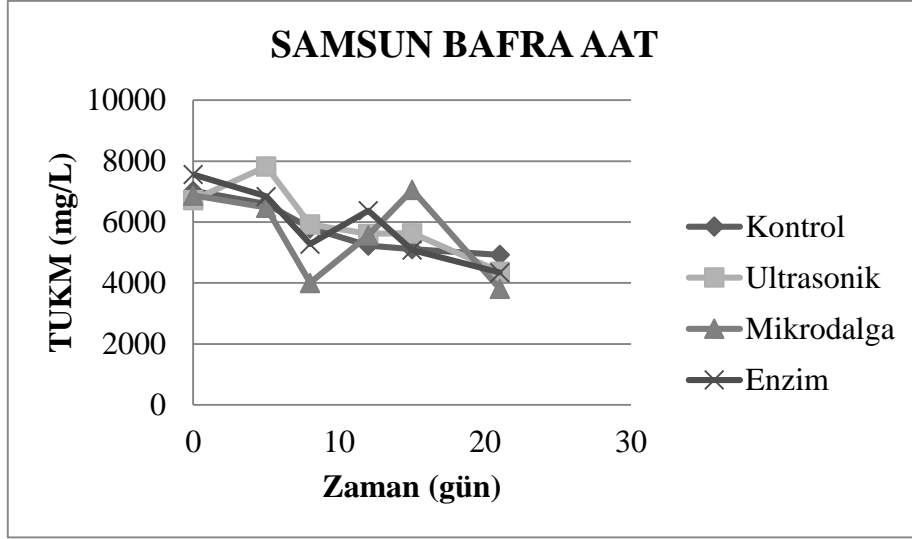
Şekil 9.10 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki TKM değişimi(Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)



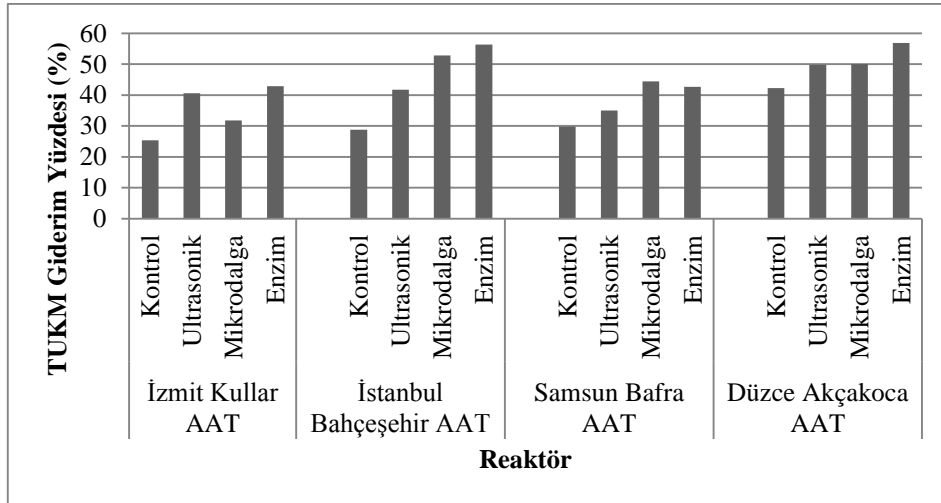
Şekil 9.11 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki TKM giderim yüzdeleri



Şekil 9.12 : Aerobik Stabilizasyonda Çamurlardaki TUKM Değişimi (İzmit Kullar-İstanbul Bağçeşehir ATT)



Şekil 9.13 : Aerobik Stabilizasyonda Çamurlardaki TUKM Değişimi (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)



Şekil 9.14 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki TUKM giderim yüzdeleri

TKM parametresi dikkate alındığında, **İzmit Kullar AAT** çamur numuneleri için herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %17 oranında giderim verimi elde edilmiş olup, bu sonuç, aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütlesinin ortalama %17 oranında azalacağını anlamına gelmektedir. Dezentegrasyon yöntemlerinden ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim, işlemleri uygulandığında ise sırası ile %26, %30 ve %35 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon yöntemlerinin üçünün de birbirine oldukça yakın derecelerde çamur kütlesini azalttığı görülmektedir. Benzer olarak TUKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim işlemlerinde %25, %41 , %32 ve %43 oranları elde edilmiştir.

İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numuneleri için TKM parametresi dikkate alındığında herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %19 oranında giderim verimi elde edilmiş olup, aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütlesinin ortalama %29 oranında azalacağını belirtmektedir. Ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim dezentegrasyonu uygulanmış reaktörlerde ise sırası ile %39, %47 ve %48 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Benzer olarak TUKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim işlemlerinde %29, %42, %53 ve %56 oranları elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon yöntemlerinin üçünün de çamur kütlesini azalttığı görülmekle birlikte **İstanbul Bahçeşehir AAT** çamuru için mikrodalga ve enzim yöntemleri daha etkili olmuştur.

Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için TKM parametresi dikkate alındığında herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %26 oranında giderim verimi elde edilmiş olup, bu değer aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütlesinin ortalama %26 oranında azalacağını belirtmektedir. Ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim, dezentegrasyonu uygulanmış reaktörlerde ise sırası ile %31, %40 ve %37 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Benzer olarak TUKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim işlemlerinde %30, %35, %44 ve %43 oranları elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon yöntemlerinin üçünün de çamur kütlesini azalttığı görülmekle birlikte **Samsun Bafra AAT** çamuru için mikrodalga ve enzim yöntemleri daha etkili olmuştur.

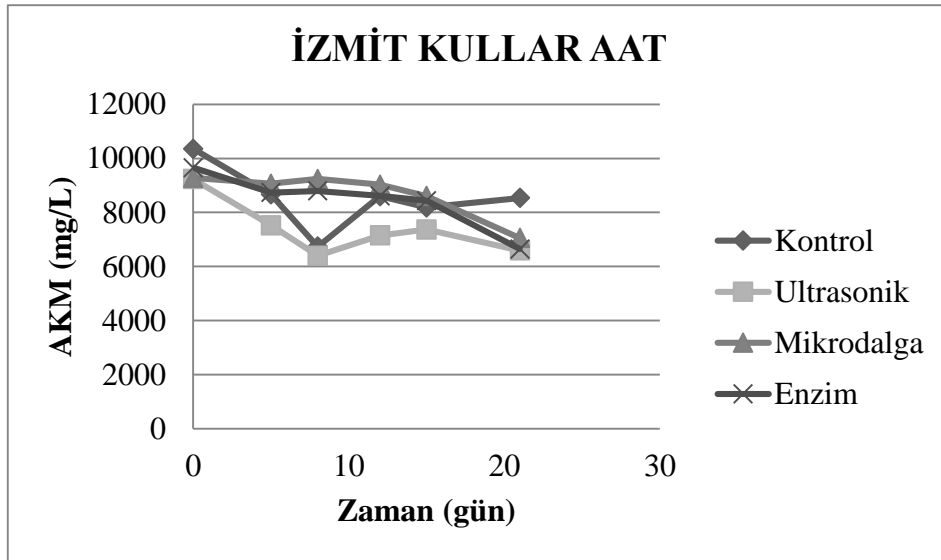
Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için TKM parametresi dikkate alındığında herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %35

oranında giderim verimi elde edilmiş olup, bu giderim aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütlesinin ortalama %35 oranında azalacağını belirtmektedir. Ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim, dezentegrasyonu uygulanmış reaktörlerde ise sırası ile %48, %44 ve %50 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Benzer olarak TUKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim işlemlerinde %42, %50, %50 ve %57 oranları elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon yöntemlerinin üçünün de çamur kütlesini azalttığı ancak ultrasonikasyon ve enzim yöntemlerinin daha etkili olduğu görülmüştür.

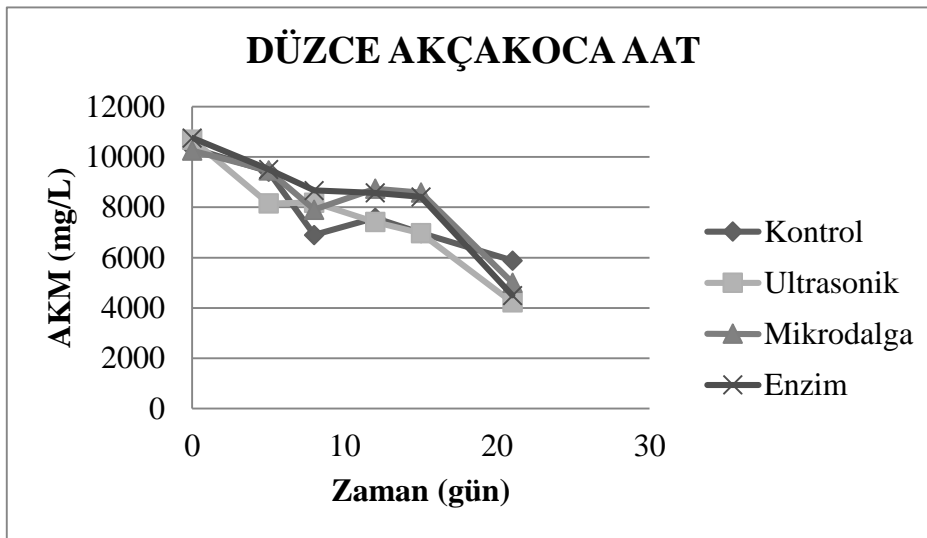
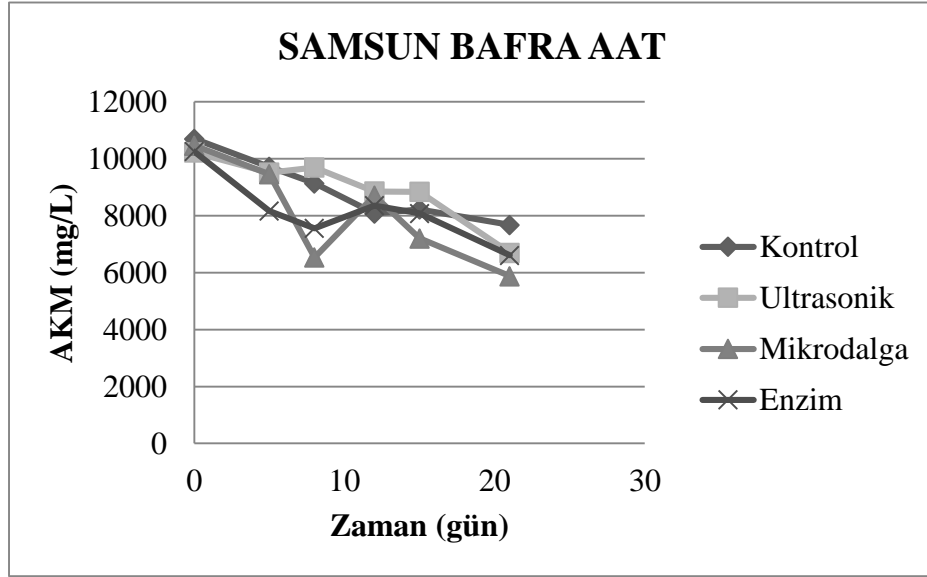
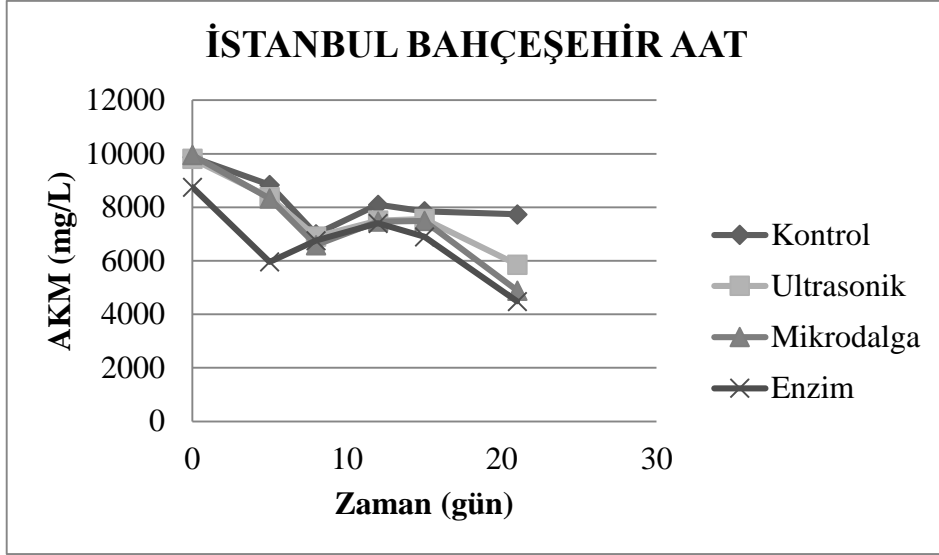
Elde edilen sonuçlar incelenen tüm dezentegrasyon yöntemlerinin çamurun biyolojik bozunabilirliğini ve stabilizasyon verimini artırarak çamur kütlesini azalttığını ancak, çamurun özelliklerine bağlı olarak etki derecelerinde farklılıklar olabildiğini göstermiştir.

9.1.1.8.AKM ve UAKM Analiz Sonuçları

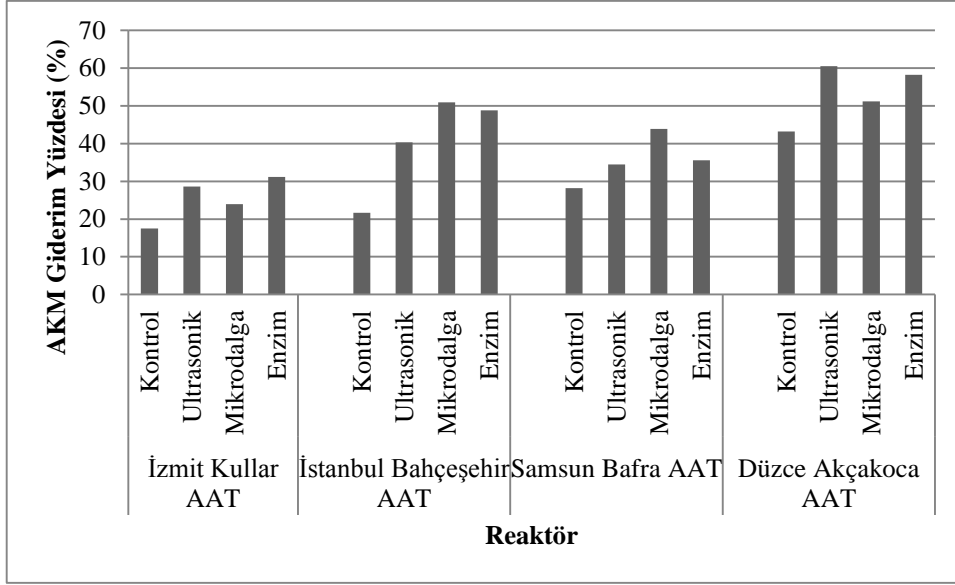
Dezentegre edilmiş arıtma çamurlarının uygulandığı reaktörler ile kontrol reaktörlerinde AKM değişimleri Şekil 9.15 ve Şekil 9.16'da ve yüzde AKM giderim verimleri ise Şekil 9.17'de verilmektedir. Reaktörlerde elde edilen UAKM değişimleri Şekil 9.18 ve Şekil 9.19'da verilirken, UAKM giderim verimleri ise Şekil 9.20'de sunulmaktadır.



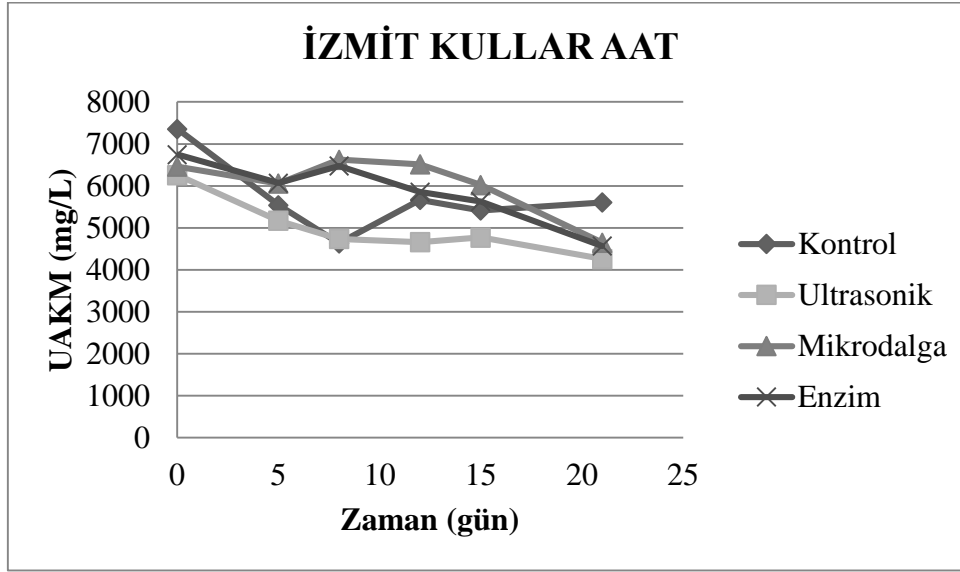
Şekil 9.15 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki AKM konsantrasyonundaki değişim (İzmir Kullar ATT)



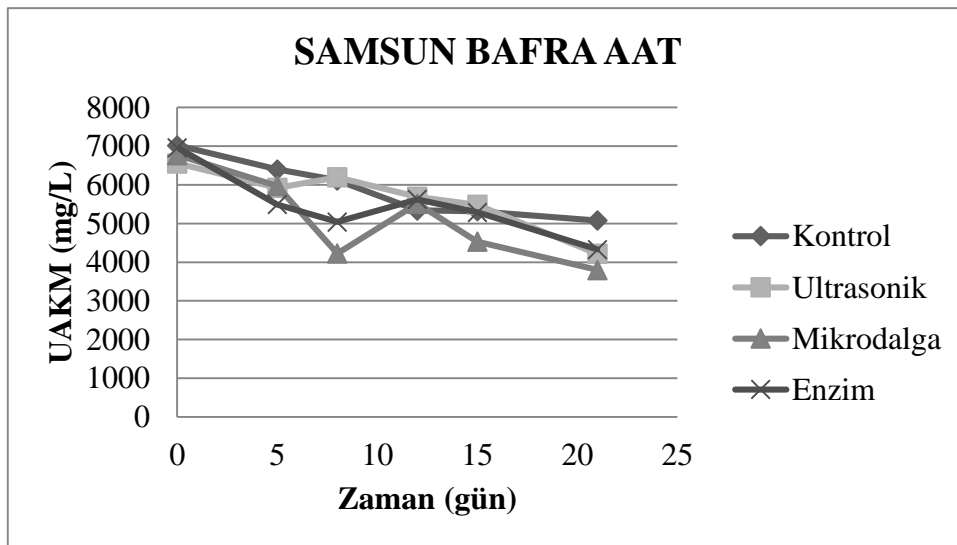
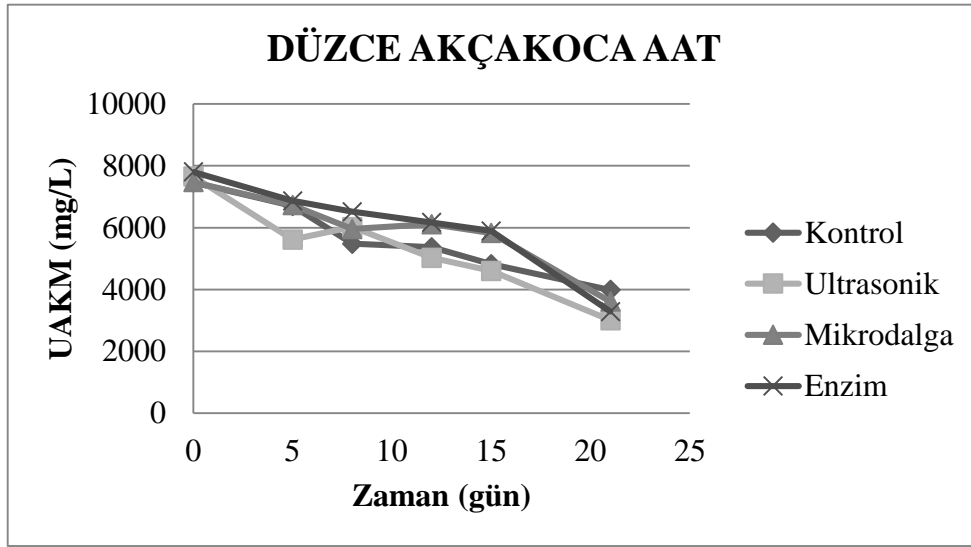
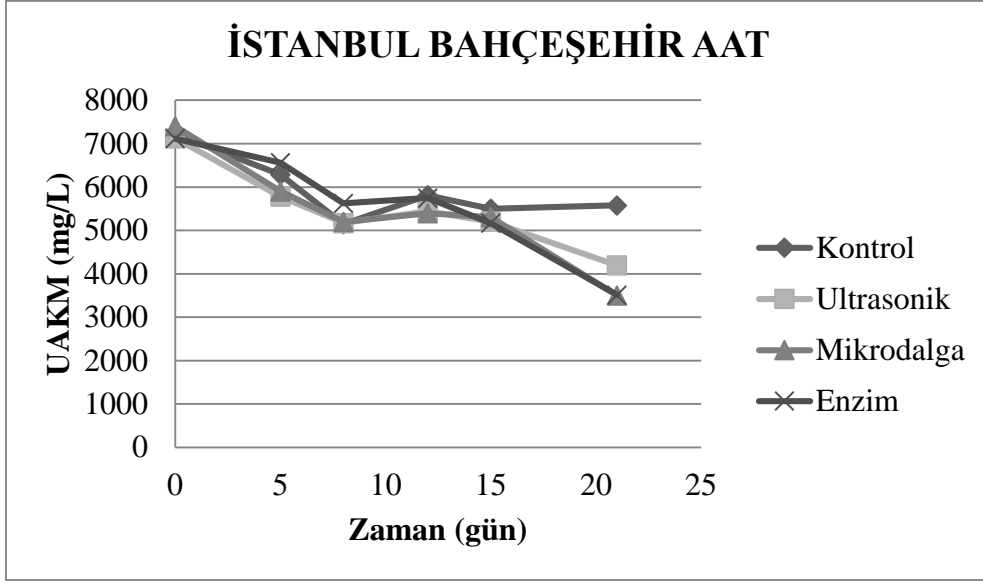
Şekil 9.16 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki AKM konsantrasyonundaki değişim (İstanbul Bahçeşehir- Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)



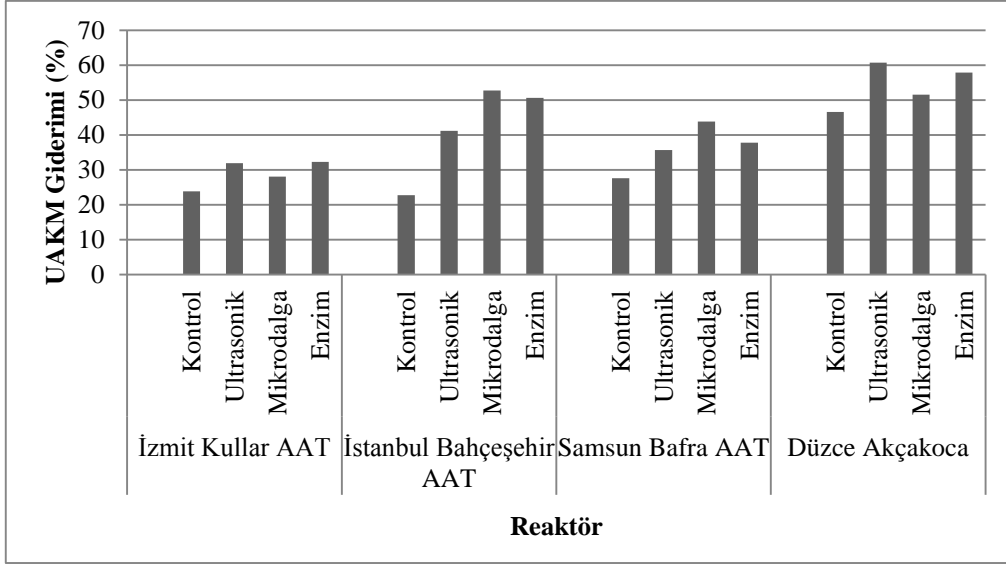
Şekil 9.17 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki AKM giderim yüzdeleri



Şekil 9.18 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM konsantrasyonundaki değişim (İzmit Kullar ATT)

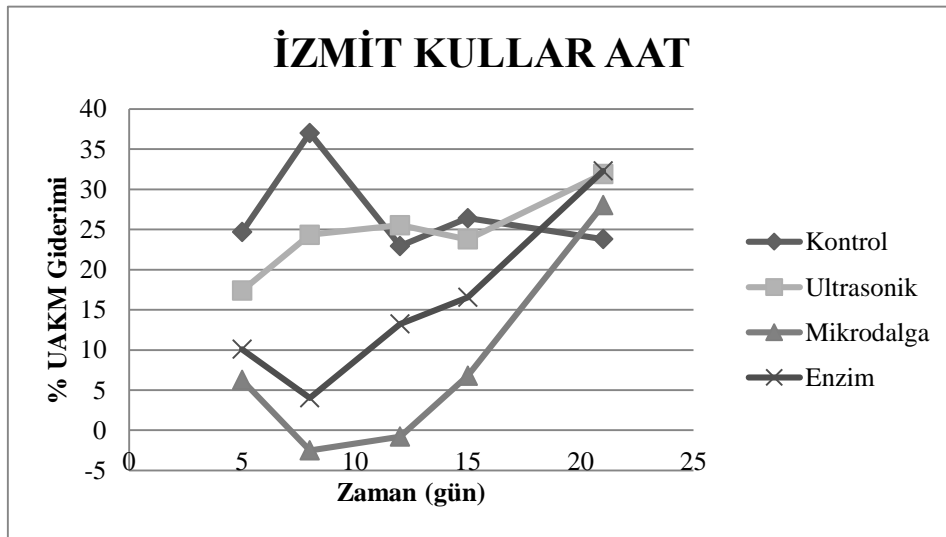


Şekil 9.19 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM konsantrasyonundaki değişim (İstanbul Bağçeşehir- Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)

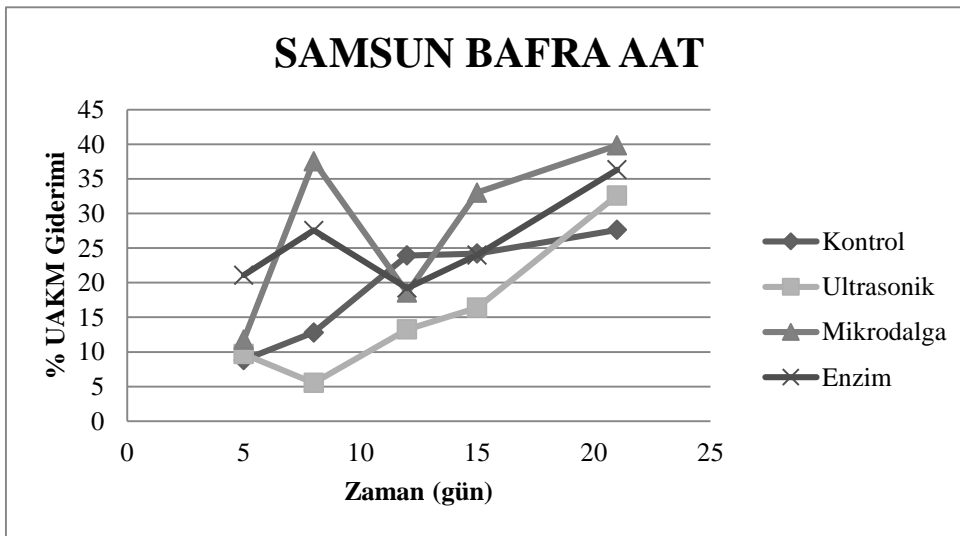
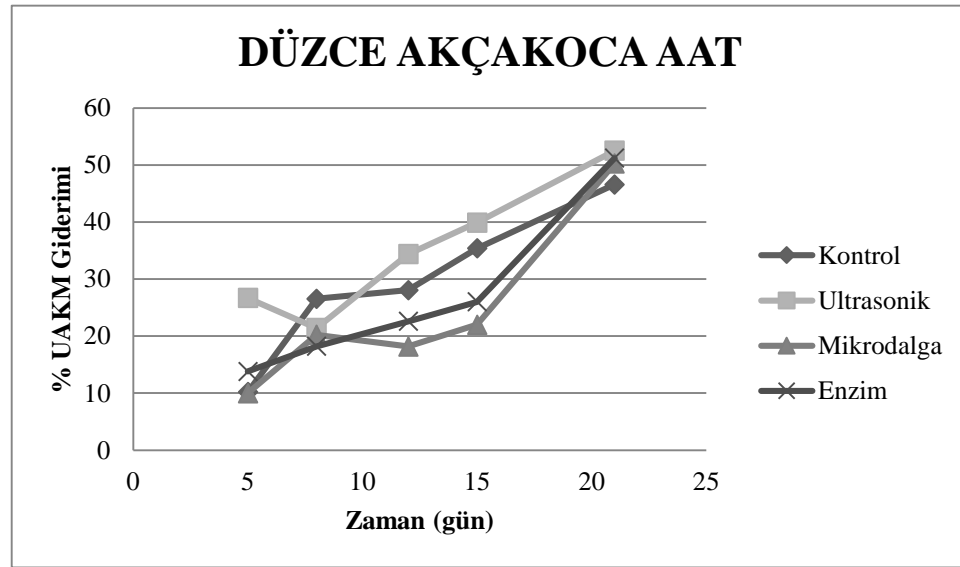
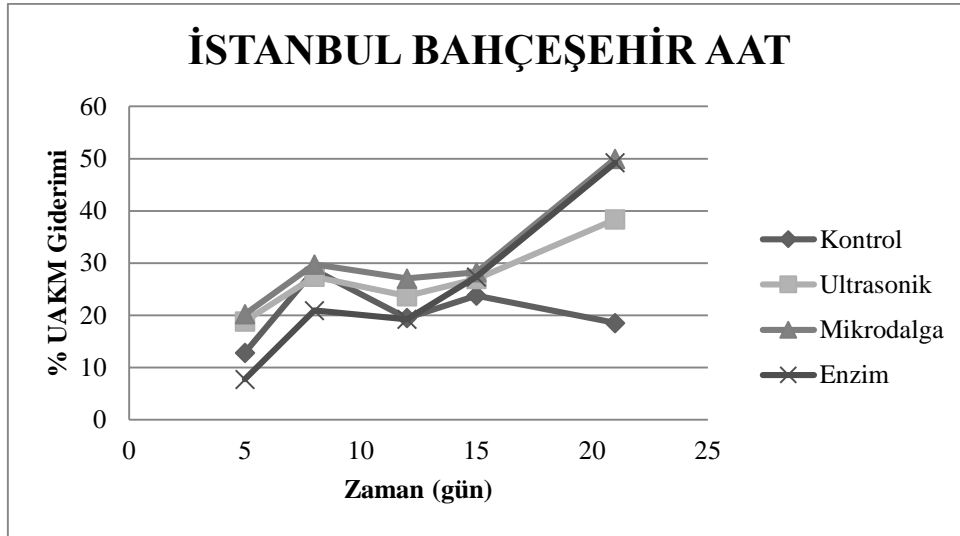


Şekil 9.20 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM giderim yüzdeleri

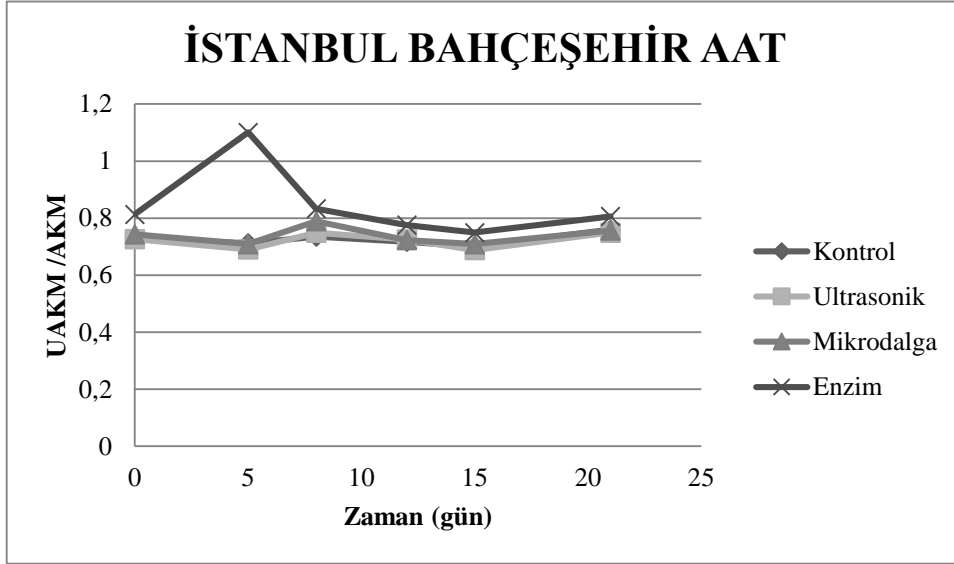
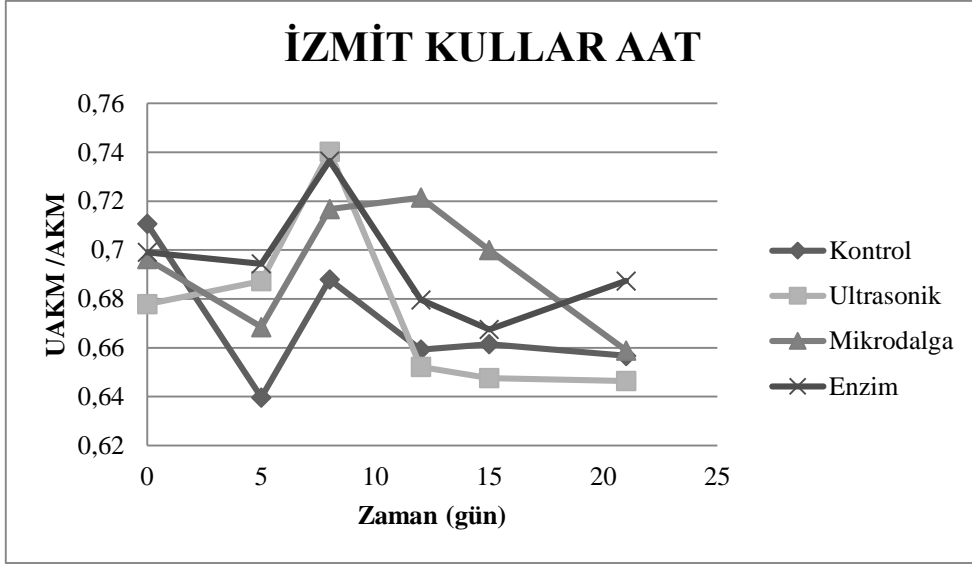
Stabilizasyon süresince günlük UAKM yüzde giderim verimleri Şekil 9.21 ve Şekil 9.22’de ayrıca gösterilmiştir. UAKM/AKM oranı reaktörlerde 0,7 mertebesinde değişim göstermekte olup, bu değerler Şekil 9.23 ve Şekil 9.21’de sunulmaktadır.



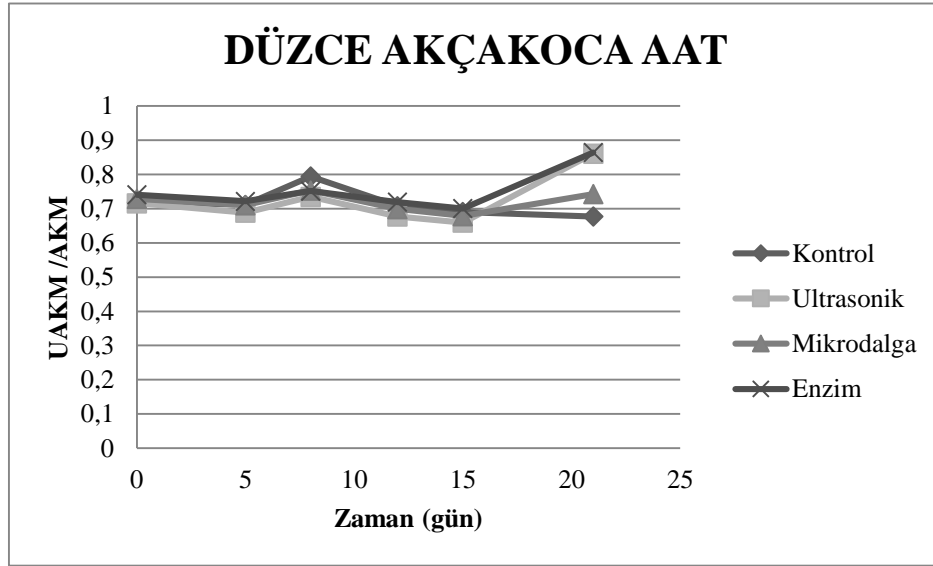
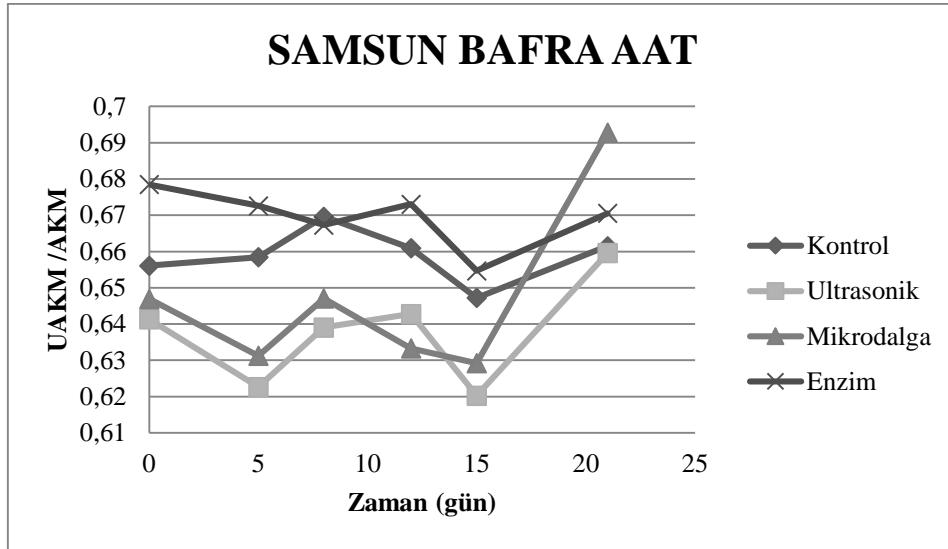
Şekil 9.21 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM giderim yüzdeleri (İzmit Kullar ATT)



Şekil 9.22 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM giderim yüzdeleri (İstanbul Bahçeşehir- Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)



Şekil 9.23 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM/AKM oranları (İzmit Kullar-İstanbul Bağçeşehir ATT)



Şekil 9.24 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM/AKM oranları (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)

AKM parametresi dikkate alındığında, **İzmit Kullar AAT** çamur numuneleri için herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %18 oranında giderim verimi elde edilmiş olup, aerobik stabilizasyon sonunda askıda çamur kütlelerinin ortalama %18 oranında azalacağını belirtmektedir. Dezentegrasyon yöntemlerinden ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim, işlemleri uygulandığında ise sırası ile %29, %24 ve %31 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon yöntemlerinin üçünün de birbirine oldukça yakın derecelerde askıda çamur kütlelerini azalttığı görülmektedir. Benzer olarak UAKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim işlemlerinde %24, %42 , %28

ve %32 oranları elde edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, tüm dezentegrasyon yöntemlerinin etkili olduğu gözlenmiş ve bu yöntemlerin içerisinde ultrasonikasyon ve enzim ön arıtımların **İzmit Kullar AAT** çamuru için en etkili yöntemler olduğu belirlenmiştir.

İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numuneleri için AKM parametresi dikkate alındığında herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %22 oranında giderim verimi elde edilmiş olup, aerobik stabilizasyon sonunda askıda çamur kütlesinin ortalama %22 oranında azalacağını belirtmektedir. Ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim, dezentegrasyonu uygulanmış reaktörlerde ise sırası ile %40, %51 ve %49 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Benzer olarak UAKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim işlemlerinde %29, %42 , %53 ve %56 oranları elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon yöntemlerinin üçünün de askıda çamur kütlesini azalttığı görülmekle birlikte **İstanbul Bahçeşehir AAT** çamuru için mikrodalga ve enzim yöntemleri daha etkili olmuştur.

Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için AKM parametresi dikkate alındığında herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %28 oranında giderim verimi elde edilmiş olup, aerobik stabilizasyon sonunda askıda çamurun kütlesinin ortalama %28 oranında azalacağını belirtmektedir. Ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim, dezentegrasyonu uygulanmış reaktörlerde ise sırası ile %34, %44 ve %36 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Benzer olarak UAKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim işlemlerinde %28, %36, %44 ve %38 oranları elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon yöntemlerinin üçünün de askıda çamur kütlesini azalttığı görülmekle birlikte **Samsun Bafra AAT** çamuru için mikrodalga yöntemi diğer ön arıtım işlemleri arasında en etkili yöntem olmuştur.

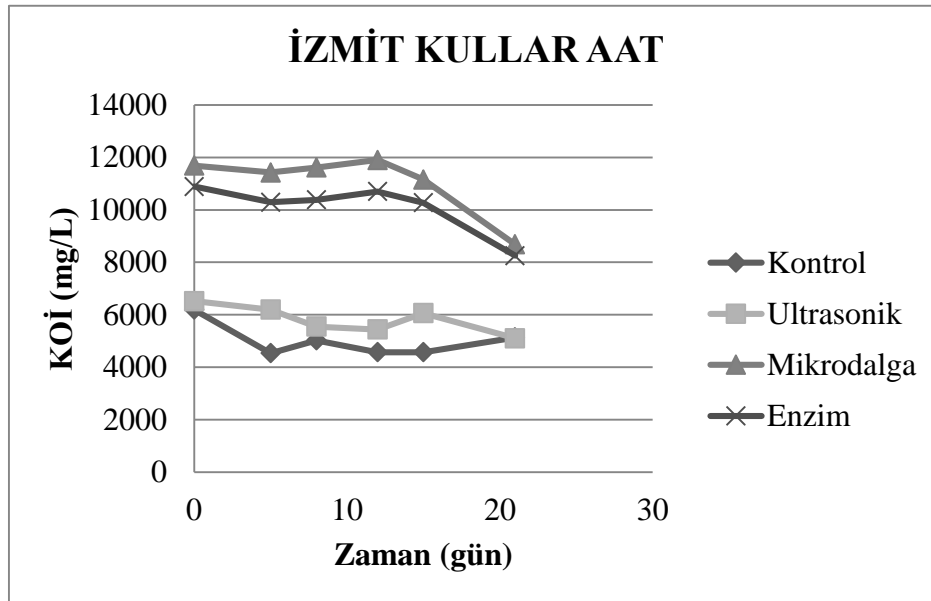
Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için AKM parametresi dikkate alındığında herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %43 oranında giderim verimi elde edilmiş olup, aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütlesinin ortalama %43 oranında azalacağını belirtmektedir. Ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim, dezentegrasyonu uygulanmış reaktörlerde ise sırası ile %61, %51 ve %58 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Benzer olarak UAKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim işlemlerinde %47, %61 , %52 ve %58 oranları elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon

yöntemlerinin üçünün de çamur kütlesini azalttığı ancak ultrasonikasyon ve enzim yöntemlerinin daha etkili olduğu görülmüştür.

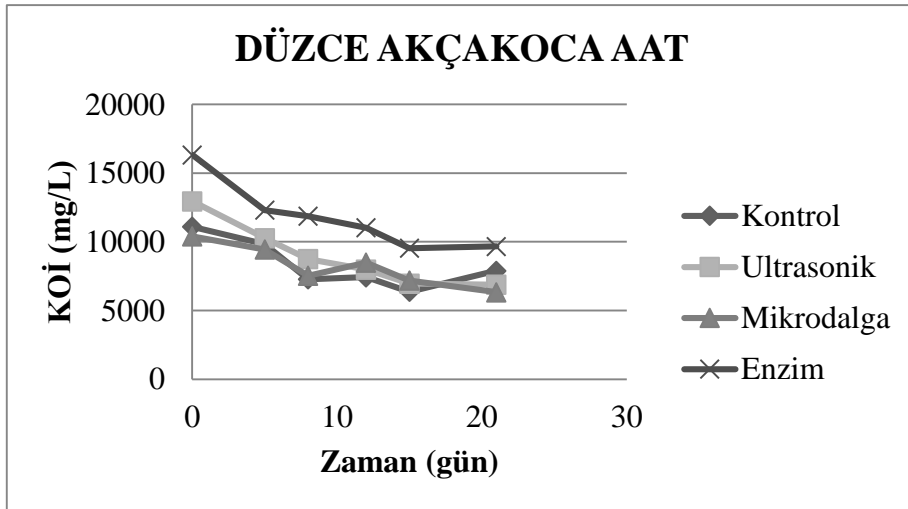
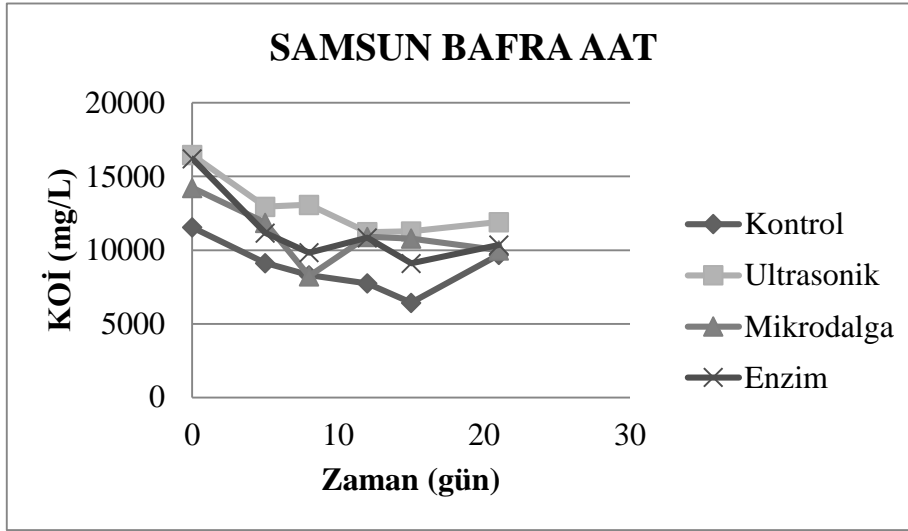
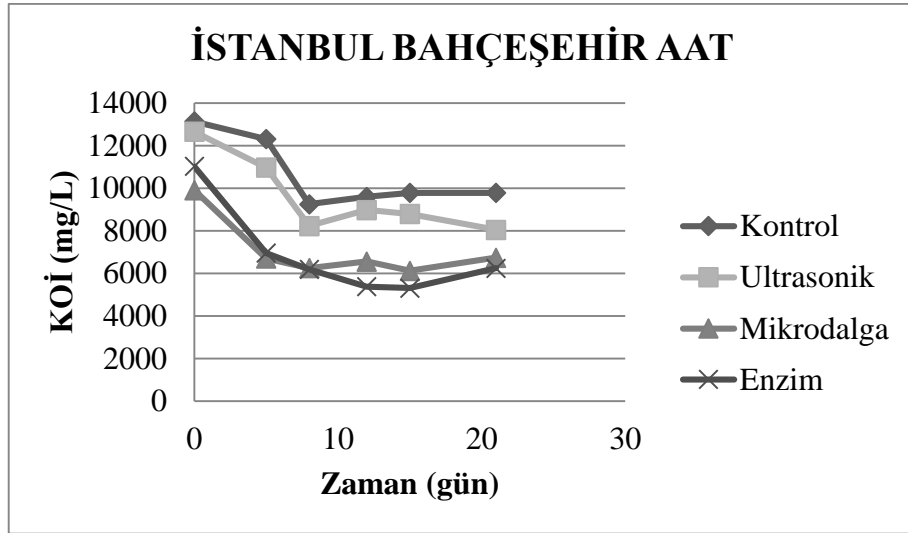
9.1.1.9.KOİ ve ÇKOİ Analiz Sonuçları

Stabilizasyon çalışmaları için alınan ham aktif çamur örneklerinde KOİ ve ÇKOİ değerleri İzmit Kullar AAT çamur numuneleri için sırasıyla 11307 mg/L ve 76 mg/L, İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numuneleri için sırasıyla 9062 mg/L ve 45 mg/L, Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için sırasıyla 6579 mg/L ve 56 mg/L, Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için ise 7773 mg/L ve 143 mg/L olarak ölçülmüştür.

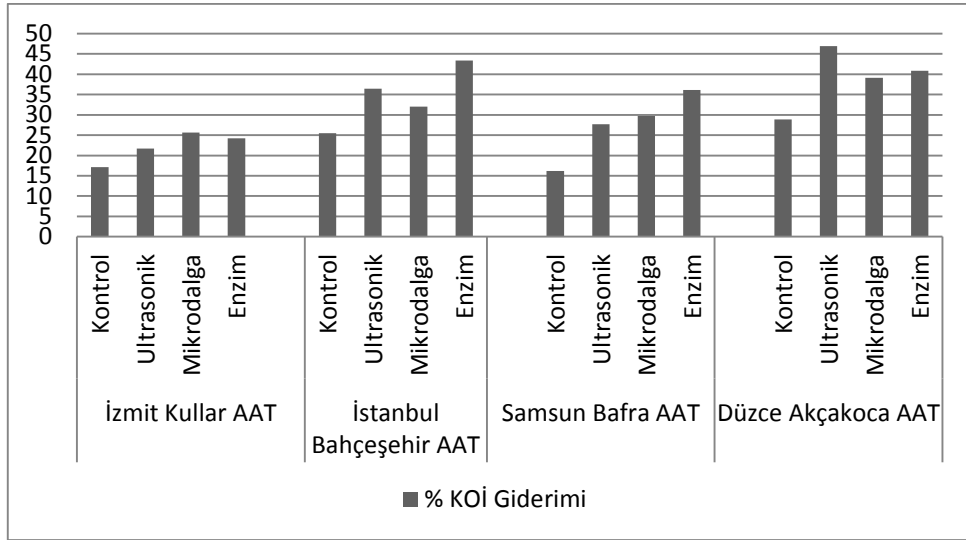
Dezente gre edilmiş arıtma çamurlarının uygulandığı reaktörler ile kontrol reaktörlerinde KOİ değişimleri Şekil 9.25 ve Şekil 9.26'da yüzde KOİ giderim verimleri ise Şekil 9.27'de verilmektedir. Stabilizasyon süresince günlük KOİ yüzde giderim verimleri Şekil 9.28 ve Şekil 9.29'da ayrıca gösterilmiştir. Reaktörlerde elde edilen ÇKOİ değişimleri Şekil 9.30 ve Şekil 9.31'de verilirken, ÇKOİ giderim verimleri ise Şekil 9.32'de sunulmaktadır.



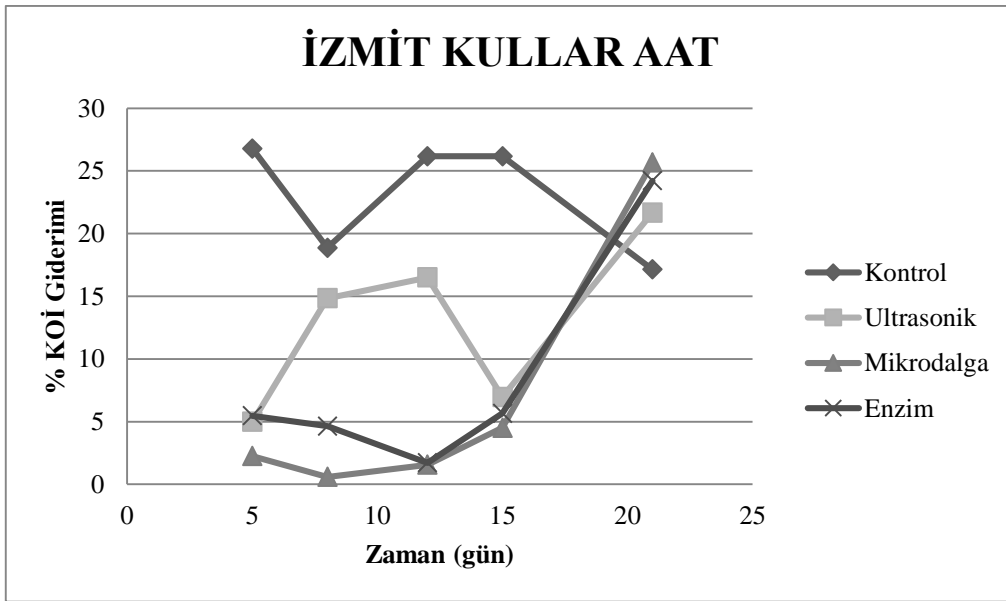
Şekil 9.25 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki KOİ değişimi (İzmit Kullar ATT)



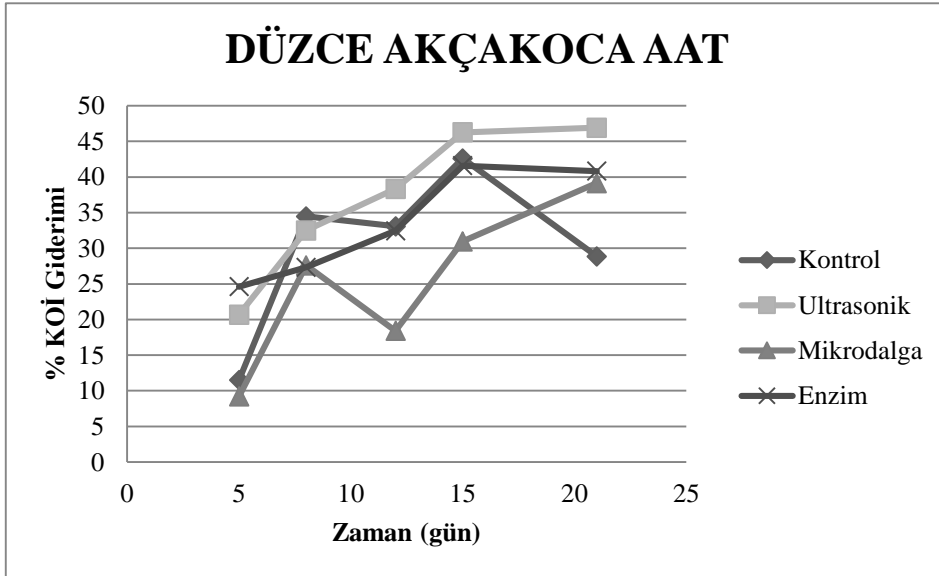
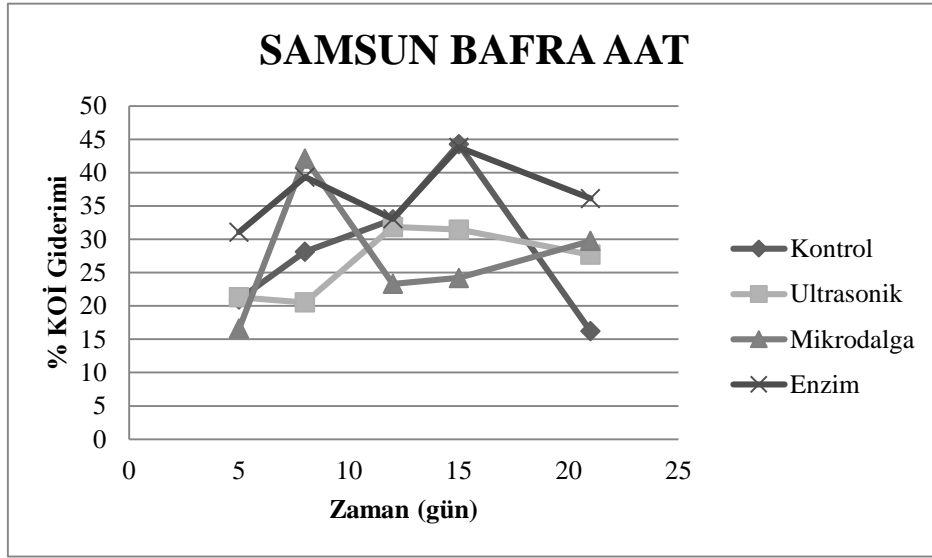
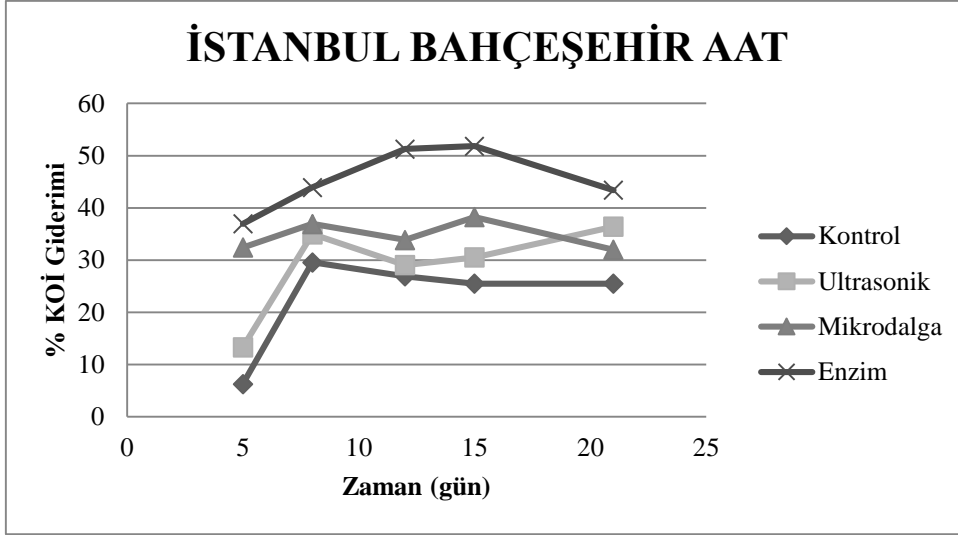
Şekil 9.26 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki KOİ değişimi (İsanbul Bahçeşehir-Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)



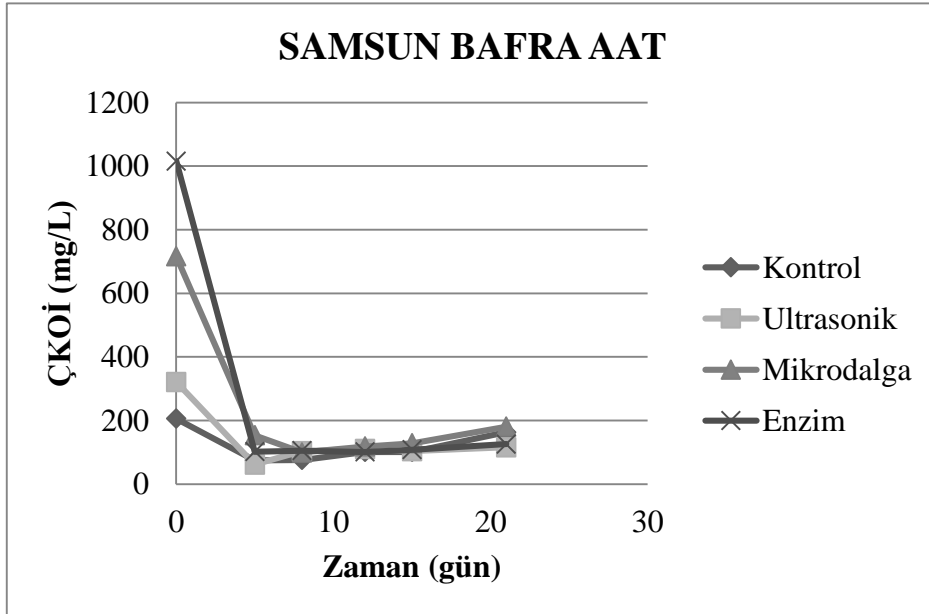
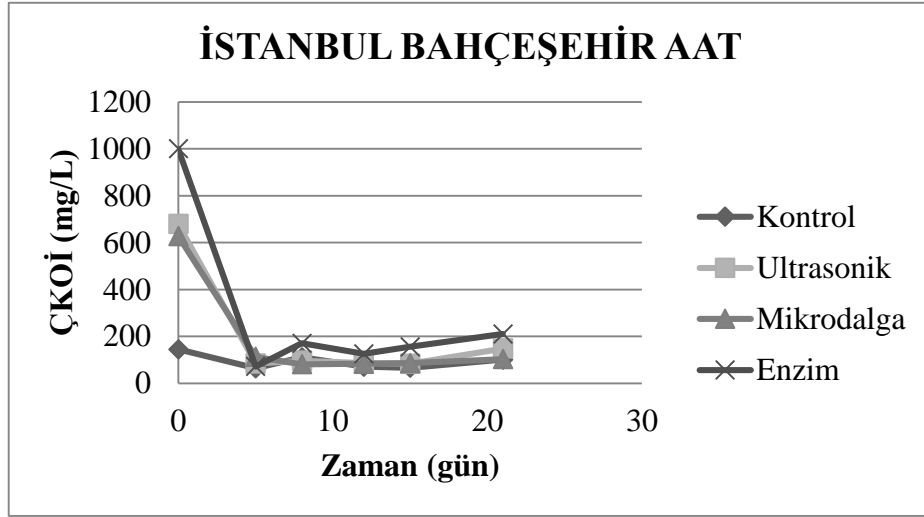
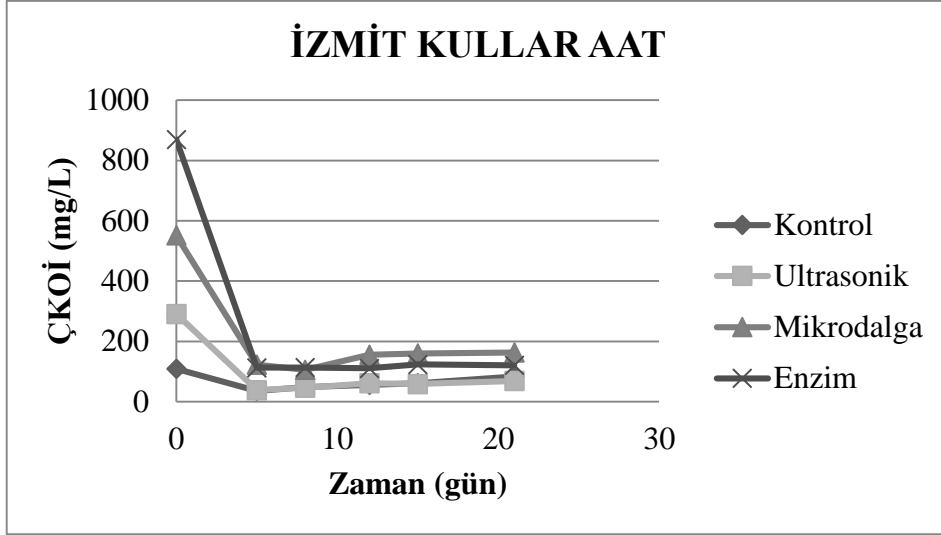
Şekil 9.27: Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki KOİ giderim yüzdeleri



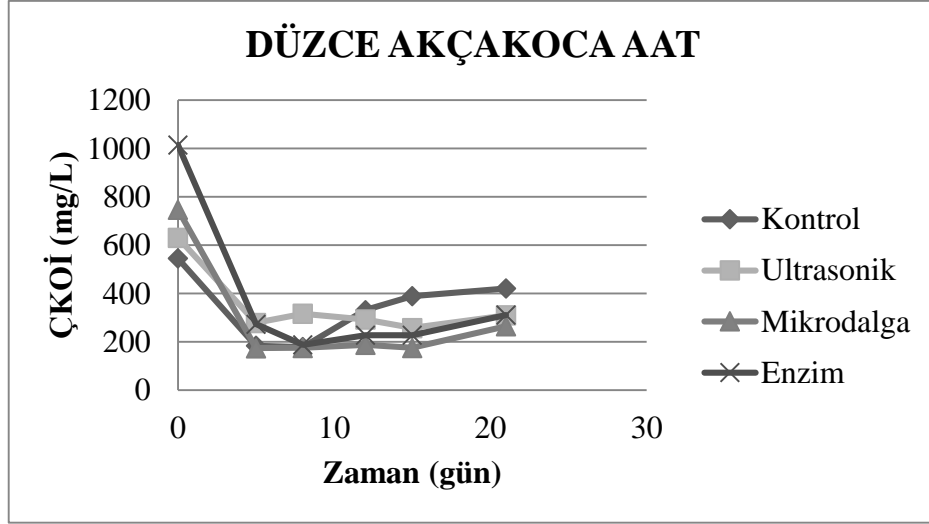
Şekil 9.28 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki KOİ giderim yüzdeleri (İzmit Kullar ATT)



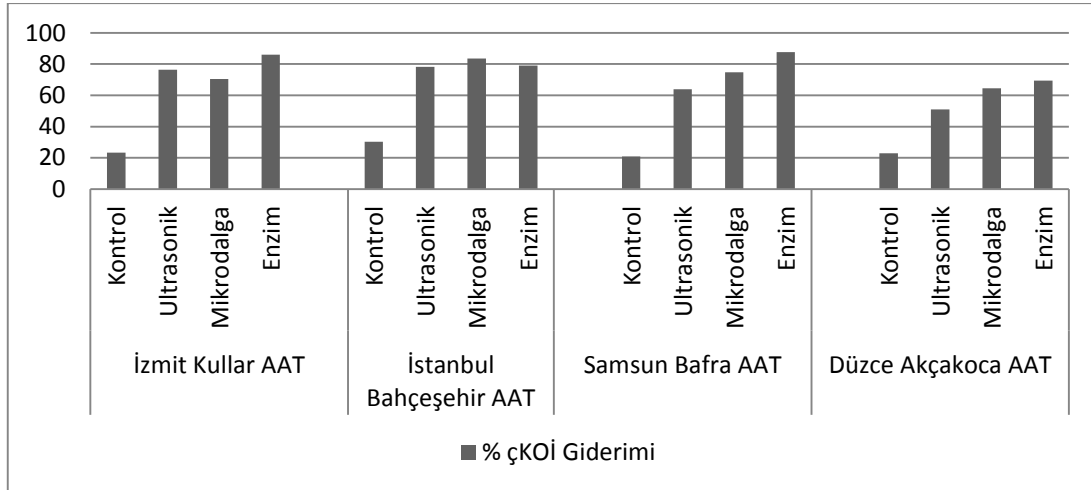
Şekil 9.29 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki KOİ giderim yüzdeleri (İstanbul Bahçeşehir-Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)



Şekil 9.30 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki ÇKOİ değişimi (İzmit Kullar-İstanbul Bağçeşehir-Samsun Bafra ATT)



Şekil 9.31 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki ÇKOİ değişimi (Düzce Akçakoca ATT)



Şekil 9.32 : Aerobik Stabilizasyonda Çamurlardaki ÇKOİ Giderim Yüzdeleri

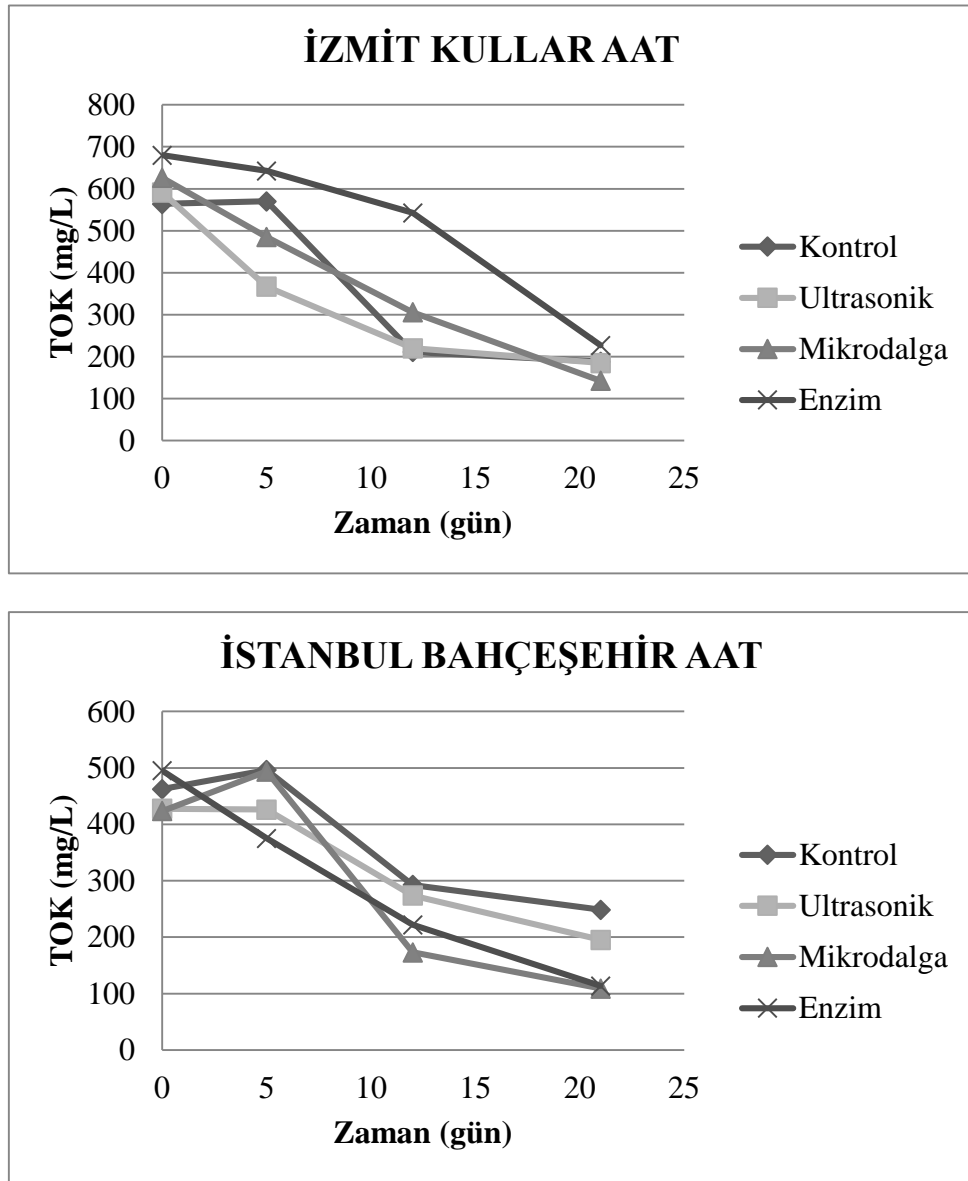
Stabilizasyon öncesi ve sonrası değerler dikkate alındığında, TKOİ ve ÇKOİ giderim verimlerinde dezentegrasyon uygulanmış tüm reaktörlerde kontrol reaktörüne oranla daha yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. Tüm bölgelerde kontrol reaktörlerinde KOİ giderim verimleri %17-29 arasında, ÇKOİ giderim verimleri %21-30 oranlarında değişim göstermiştir.

KOİ giderim verimlerine göre Düzce Akçakoca AAT dışındaki tüm tesislerde en etkili dezentegrasyon yöntemi enzim ön arıtımı iken, bu tesiste ultrasonikasyon ile daha yüksek KOİ giderimi elde edilmiştir.

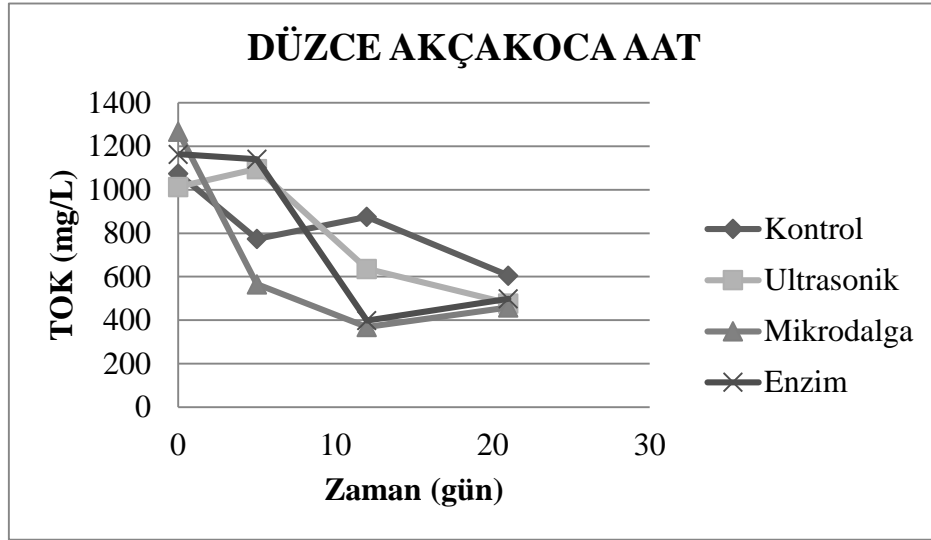
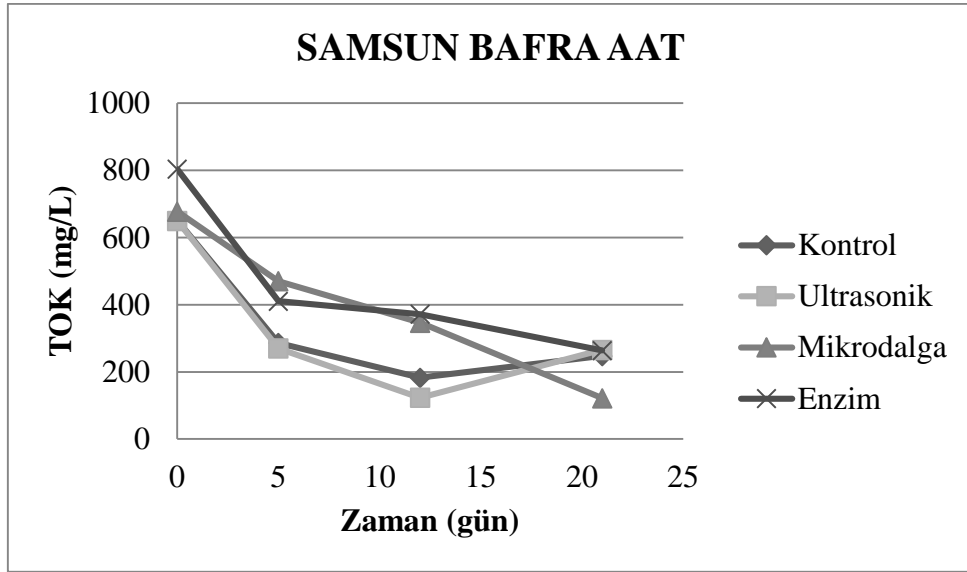
ÇKOİ giderimlerine göre reaktörler incelendiğinde ise, İstanbul Bahçeşehir AAT dışındaki tüm tesislerde en etkili dezentegrasyon yöntemi yine enzim ön arıtımı iken, İstanbul Bahçeşehir AAT’de en yüksek KOİ giderimi mikrodalga ön arıtımı ile saptanmıştır.

9.1.1.10. Toplam Organik Karbon ve Çözünmüş Organik Karbon Analiz Sonuçları

Aerobik stabilizasyon çalışmalarında reaktörlerde gerçekleştirilen toplam organik karbon analiz sonuçları Şekil 9.33 ve Şekil 9.34’de gösterilmektedir. ÇKOİ deneylerine paralel olarak Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) konsantrasyonları aerobik stabilizasyon sonunda 30-60 mg/L mertebesinde kalmıştır. Yapılan ölçümler incelendiğinde, reaktörlerde ÇOK değerlerinde önemli bir azalma olmadığı görülmektedir.



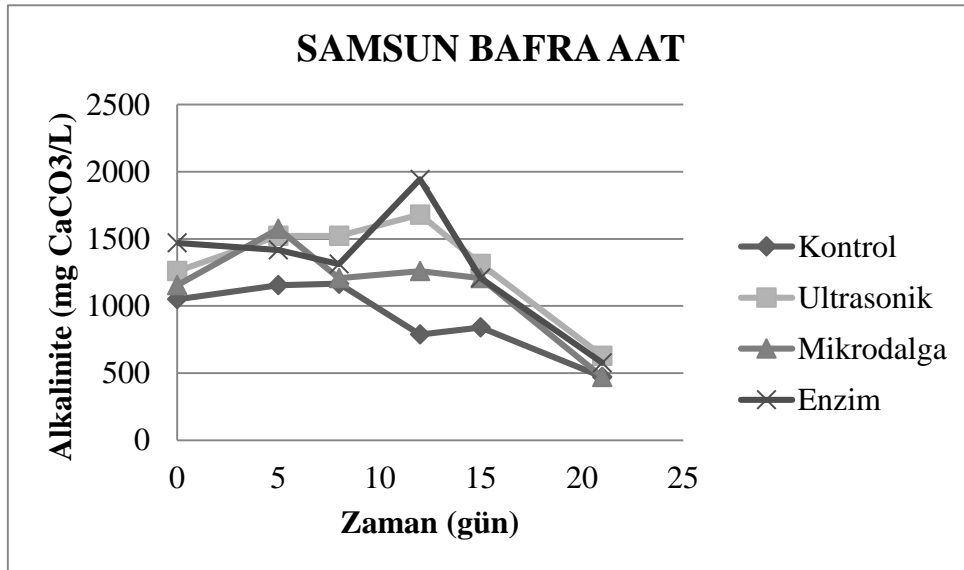
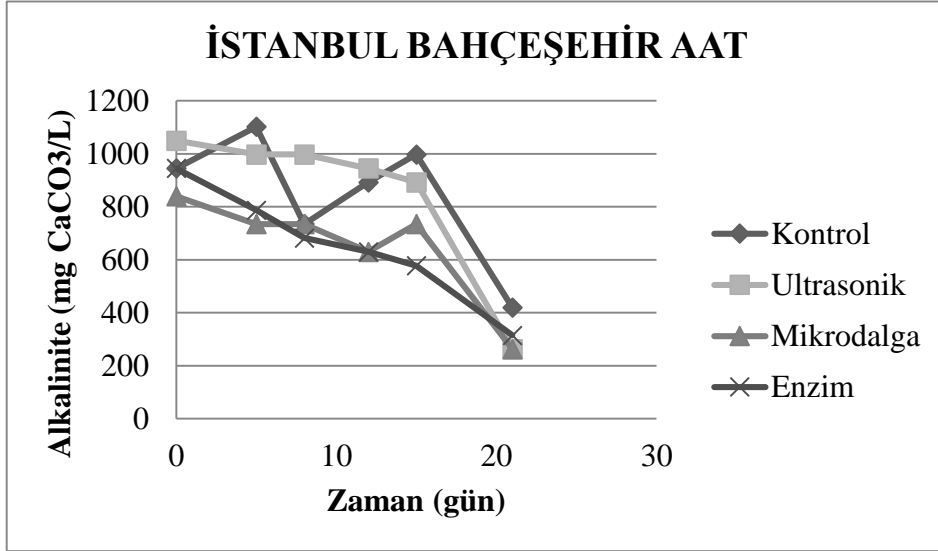
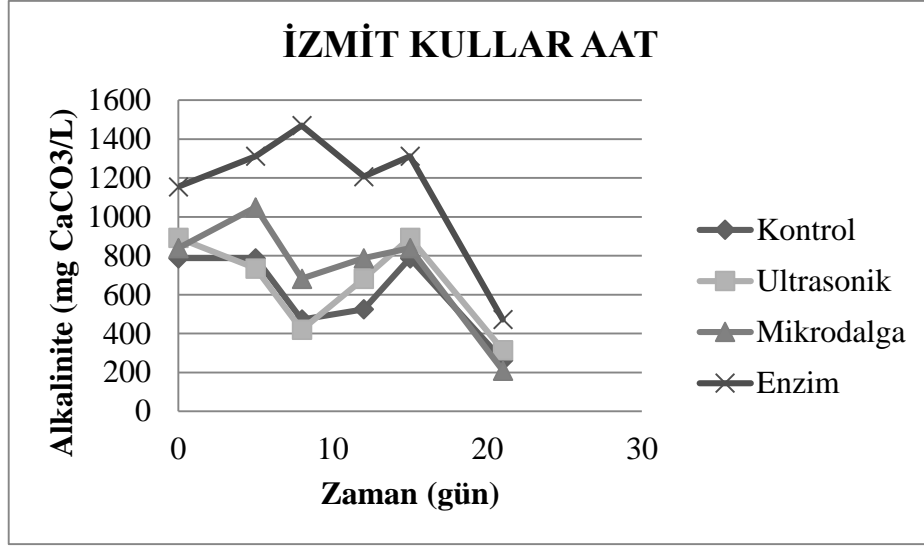
Şekil 9.33 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki TOK değişimi (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)



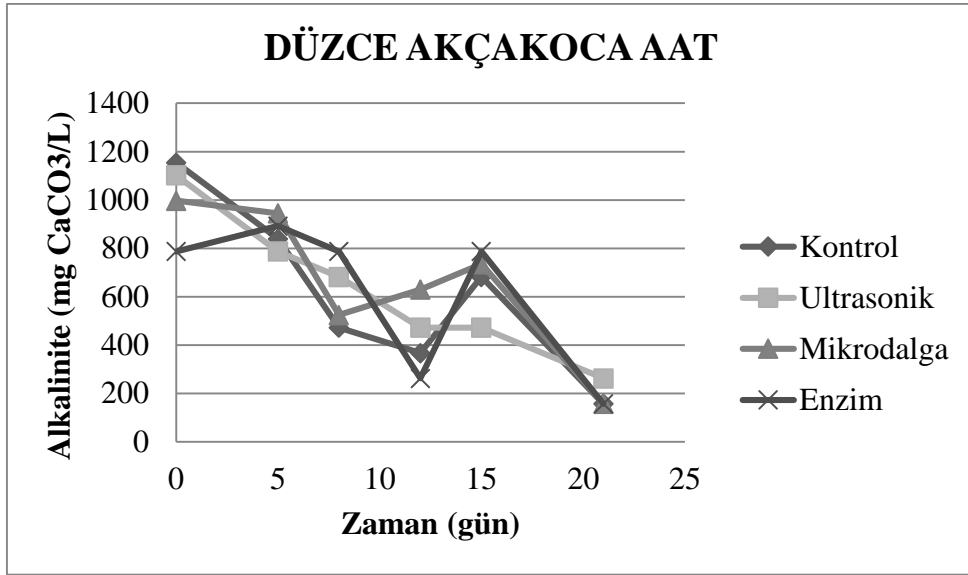
Şekil 9.34 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki TOK değişimi (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)

9.1.1.11. Alkalinite Analiz Sonuçları

Reaktörlerde izlenen alkalinite değişimleri Şekil 9.35 ve Şekil 9.36'da verilmektedir. Reaktörlerdeki alkalinite değişimleri incelendiğinde, değerler 200-1200 mg CaCO₃/L arasında salınım göstermektedir. Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için ise bu değerler 500-1500 mg CaCO₃/L arasındadır. İşletilen reaktörlerde zamanla alkalinite azalmaların olduğu gözlenmiştir. İzmit Kullar AAT, İstanbul Büyükşehir AAT ve Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için gözlenen çıkış değerleri yaklaşık 200 mg CaCO₃/L iken, Samsun Bafra AAT çamur numunelerinde 500 mg CaCO₃/L'dir. pH sonuçlarıyla birlikte incelendiğinde, reaktörlerde alkalitenin yeterli olduğu, aerobik stabilizasyon koşullarını olumsuz yönde etkileyen düşük pH değerlerinin gözlenmediği anlaşılmaktadır.



Şekil 9.35 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki alkalinite değişimleri (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir-Samsun Bafra ATT)



Şekil 9.36 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki alkalinite değişimleri (Düzce Akçakoca AAT)

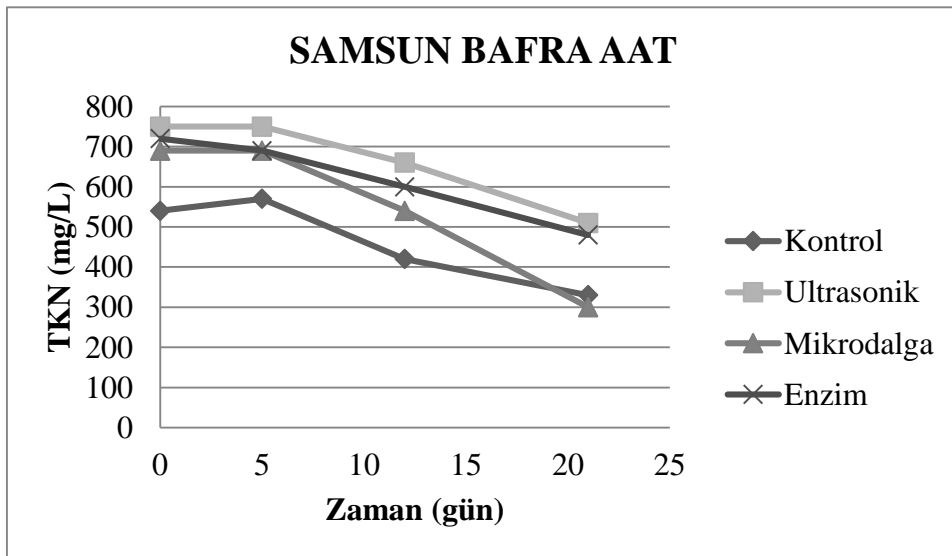
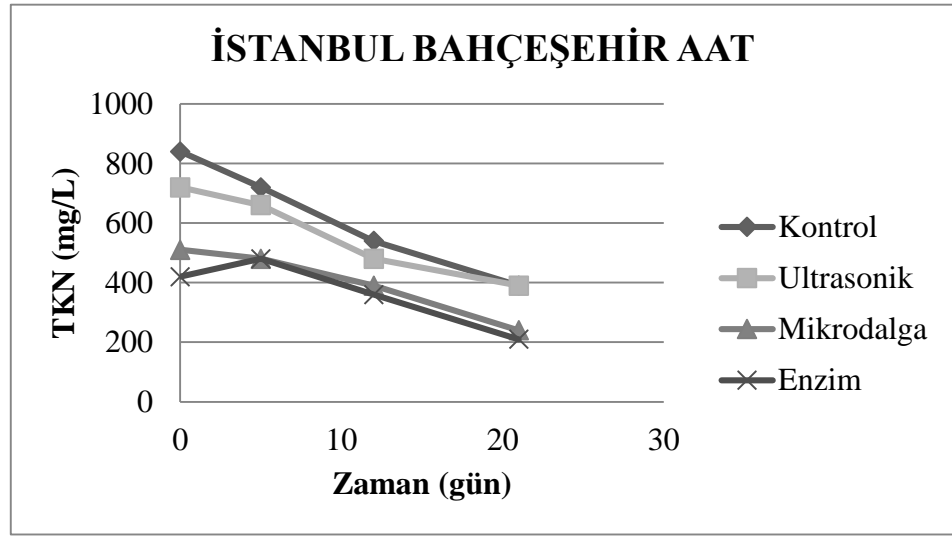
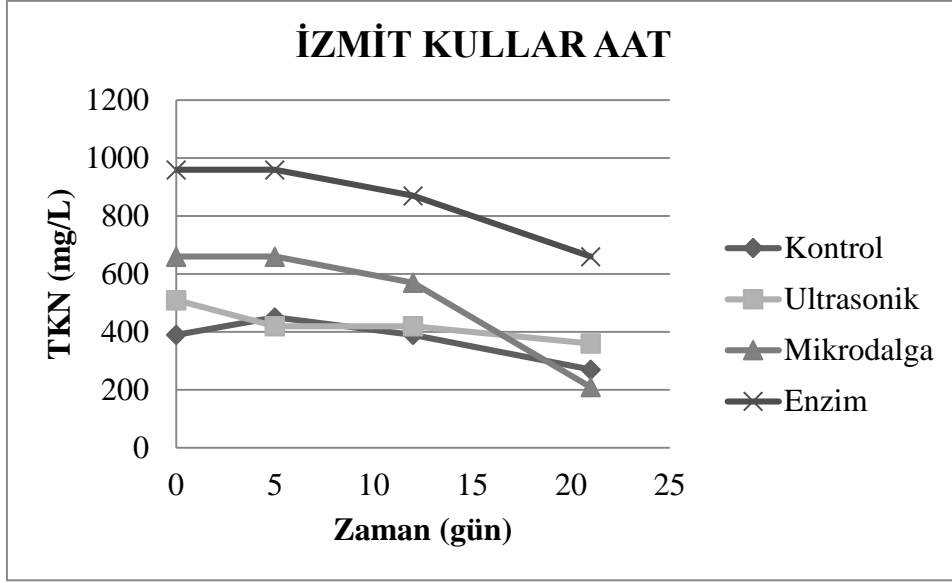
9.1.1.12. Nitrit, Nitrat, Amonyak ve Toplam Kjeldahl Azotu Analiz Sonuçları

Reaktörlerin işletimi boyunca haftada bir kez analizlenen Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) sonuçları Şekil 9.37 ve Şekil 9.38’de, reaktörlerin giriş ve çıkışlarında analizlenen nitrit, nitrat ve amonyak değerleri ise Tablo 9.4’de verilmektedir.

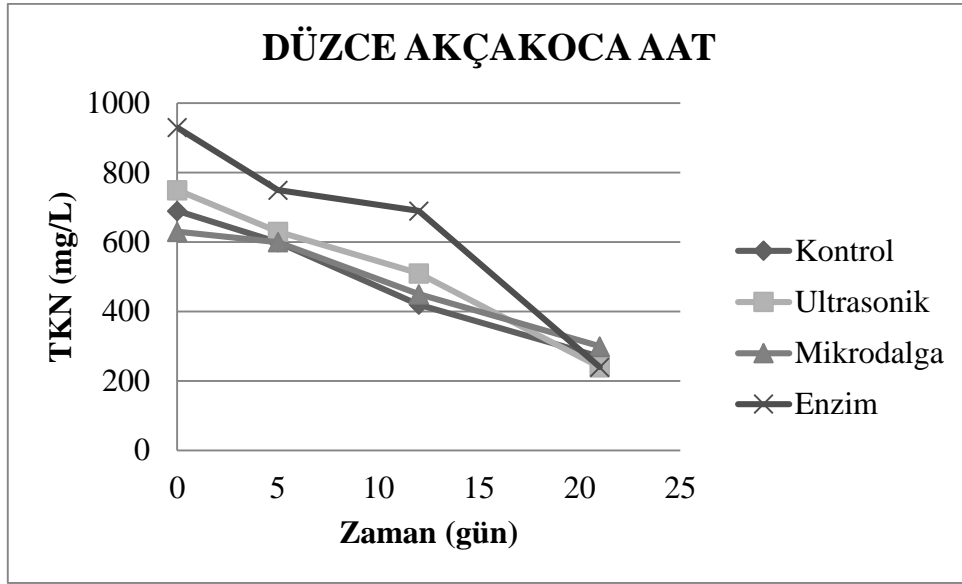
Şekil 9.37 ve Şekil 9.38 incelendiğinde, tüm tesislerde stabilizasyon süresince TKN değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. TKN değeri kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim için sırasıyla İzmit Kullar AAT çamur numunelerinde %31, %29, %29, %31, İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numunelerinde %54, %46, %53, %50, Samsun Bafra AAT çamur numunelerinde %39, %32, %45, %33, Düzce Akçakoca AAT çamur numunelerinde %61, %68, %52 ve %74 azalmıştır.

Tablo 9.4’de nitrit, nitrat ve amonyak değerlerine bakıldığında, nitrit değerleri tüm reaktörler için, stabilizasyon öncesinde ortalama 10-20 mg/L arasında değişirken, stabilizasyon sonrasında bu değerlerin 5 mg/L’nin altına düştüğü gözlenmiştir. Tüm tesisler için, mikrodalga uygulanmış reaktörlerde ise nitrit konsantrasyonunun stabilizasyon sonucunda 0 mg/L olduğu tespit edilmiştir.

NH₄-N konsantrasyonları incelendiğinde, değerlerin İzmit Kullar AAT, İstanbul Bahçeşehir AAT ve Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için ortalama 20 mg/L’den 10 mg/L’nin altına düştüğü tespit edilmiştir. Düzce Akçakoca AAT çamur numunelerinde ise bu oranda bir azalma tespit edilememiştir.



Şekil 9.37 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki TKN değişimleri (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir-Samsun Bafra ATT)



Şekil 9.38 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki TKN değişimleri (Düzce Akçakoca ATT)

Tablo 9.4 : Aerobik reaktörlerdeki Nitrit, Nitrat ve Amonyak değerlerindeki değişimler

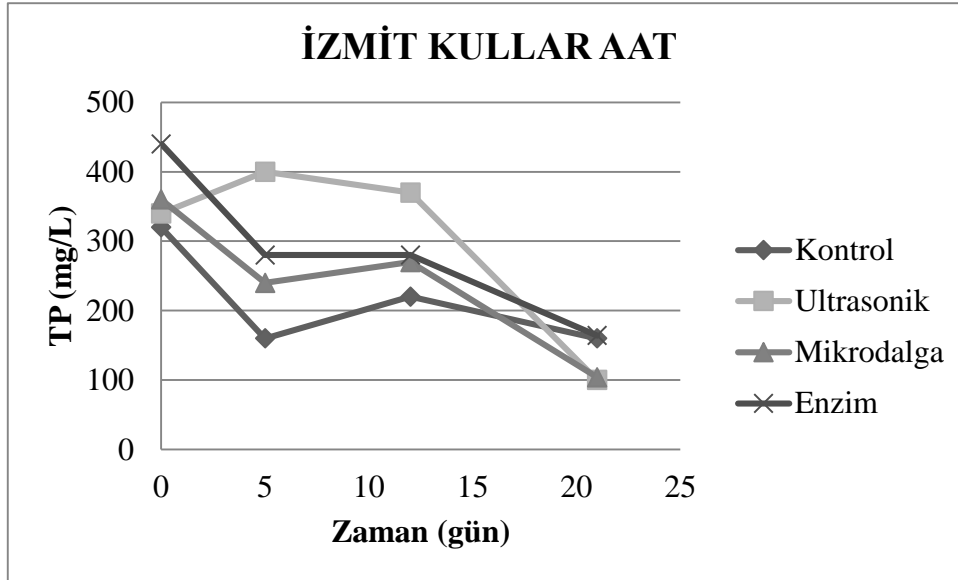
Gün	İzmit Kullar AAT				İstanbul Bahçeşehir AAT			
	Kontrol	Ultrasonik	Mikrodalga	Enzim	Kontrol	Ultrasonik	Mikrodalga	Enzim
NO₂⁻ analiz sonuçları (mg/L)								
0	10	16	27	7	0	0	17	4
21	4	2	0	2	2	4	0	2
NO₃⁻ analiz sonuçları (mg/L)								
0	14,3	26,2	6,6	0	2,9	3,7	6,2	3
21	17,9	26,1	16,9	3	4,2	79,8	12,3	13,4
NH₄⁺-N analiz sonuçları (mg/L)								
0	7	19,45	16,72	11,25	19,76	30,09	21,28	1,52
21	2,7	7,95	2,45	7,8	13,25	8,5	0,25	0,25
Gün	Samsun Bafra AAT				Düzce Akçakoca AAT			
	Kontrol	Ultrasonik	Mikrodalga	Enzim	Kontrol	Ultrasonik	Mikrodalga	Enzim
NO₂⁻ analiz sonuçları (mg/L)								
0	11	3	12	5	13	2	3	9
21	2	1	0	3	8	0	0	1
NO₃⁻ analiz sonuçları (mg/L)								
0	33	7,1	7,5	18	0,1	4,6	10,1	15,1
21	9,3	2,3	2,5	13,4	81,5	125,4	87,4	67,7
NH₄⁺-N analiz sonuçları (mg/L)								
0	11,25	24,62	41,64	7,30	61,71	105,17	101,53	43,77
21	4,1	5,75	5,2	6,4	36,75	108	123,5	43,75

9.1.1.13. Toplam Fosfor Analiz Sonuçları

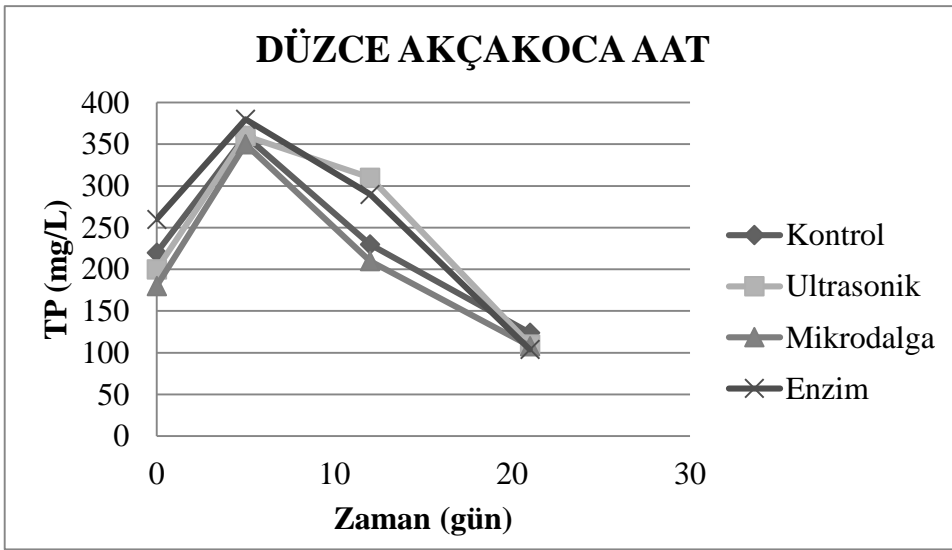
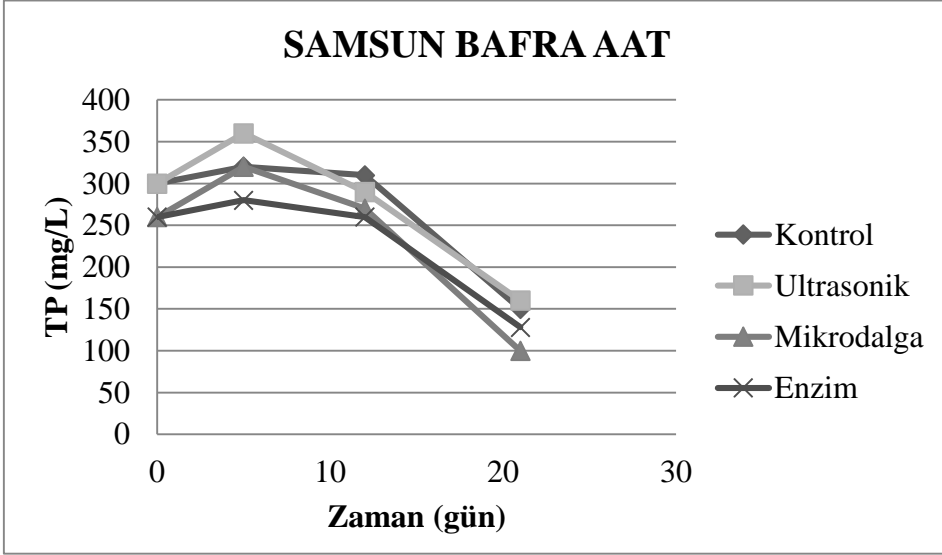
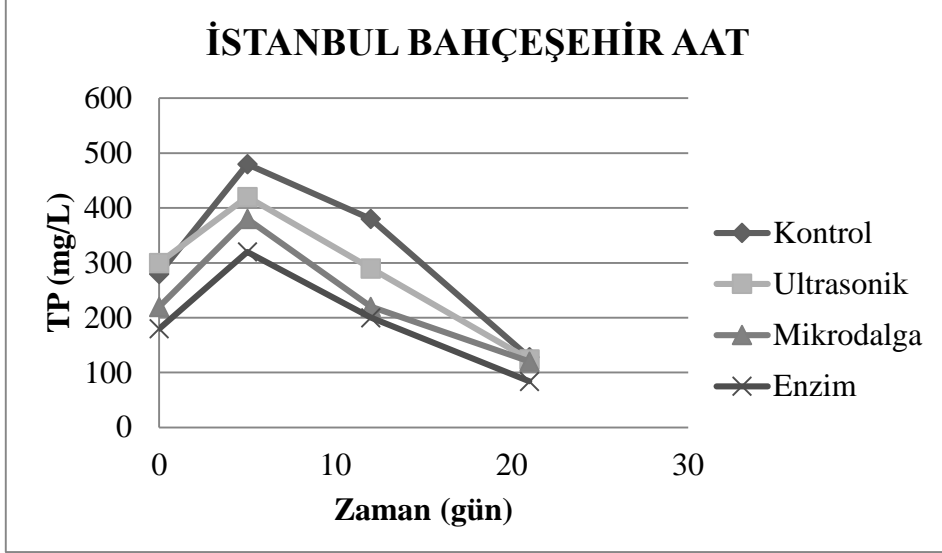
Reaktörlerin işletimi süresince haftada bir kere olmak üzere analizlenen toplam fosfor (TP) parametresine ait sonuçlar Şekil 9.39’de verilmektedir. Tesislerin giriş fosfat konsantrasyonları ortalama 200-350 mg/L arasında değişim göstermektedir.

Şekil 9.39 incelendiğinde, İstanbul Bahçeşehir AAT, Samsun Bafra AAT ve Düzce Akçakoca AAT çamur numunelerinde ilk 5 gün içerisinde fosfat değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. İzmit Kullar AAT çamur numuneleri için bu artış 5. ile 10. günler arasında gerçekleşmiştir. Gözlenen bu artış, stabilizasyon başlangıcında gerçekleşen hidroliz sonucu fosfatların salınımı ile ilişkilendirilmektedir.

İşletim süresinin devamında, artan fosfat değerlerinde azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Fosfat değerlerinde gözlenen azalmalar sırasıyla kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim uygulamaları için İzmit Kullar AAT çamur numunelerinde %50, %71, %71, %63, İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numunelerinde %54, %59, %45, %53, Samsun Bafra AAT çamur numunelerinde %50, %47, %62, %51 ve Düzce Akçakoca AAT çamur numunelerinde %44, %45, %40, %60 olarak belirlenmiştir.



Şekil 9.39 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki Fosfor değişimleri (İzmit Kullar ATT)



Şekil 9.40 : Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki Fosfor değişimleri (İstanbul Bahçeşehir-Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)

9.1.1.14.Sülfat ve Klorür Analiz Sonuçları

Reaktörlerin işletimi boyunca, stabilizasyon öncesi ve stabilizasyon sonrası olmak üzere toplamda iki kere analizlenen sülfat ve klorür analiz sonuçları Tablo 9.5’de verilmektedir. Klorür ve sülfat analizi sonuçları incelendiğinde, klorür değerlerinde stabilizasyon sonucunda göreceli bir artış, sülfat değerlerinde ise artış ve azalmalar gözlenmektedir. Artış ve azalmalar incelendiğinde, her iki parametre açısından da aerobik reaktör işletimini inhibe edecek koşullar görülmektedir.

Bu parametrelerle birlikte tuzluluk ve EC parametresi de göz önüne alındığında reaktör işletimine yönelik olarak tuzluluk ve sülfat değerlerinde bir problem olmadığı anlaşılmaktadır.

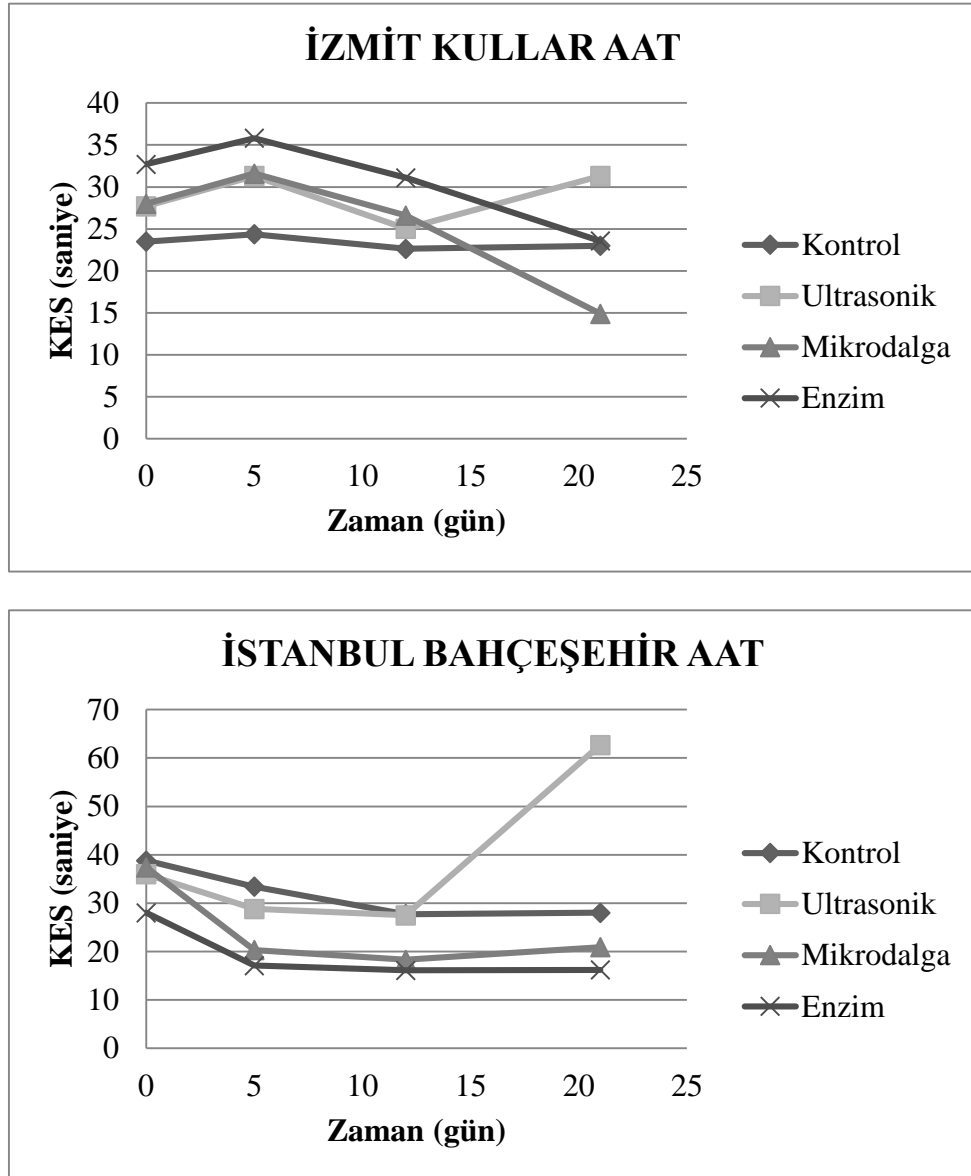
Tablo 9.5 : Aerobik reaktörlerdeki Sülfat ve Klorür değişimleri

Gün	İzmit Kullar AAT				İstanbul Bahçeşehir AAT			
	Kontrol	Ultrasonik	Mikrodalga	Enzim	Kontrol	Ultrasonik	Mikrodalga	Enzim
Klorür analiz sonuçları (mg/L)								
0	104	138	69	277	104	69	35	277
21	138	173	119	380	169	207	138	380
SO₄⁼ analiz sonuçları (mg/L)								
0	225	255	45	150	145	185	160	140
21	205	280	35	210	105	112	175	120
Gün	Samsun Bafra AAT				Düzce Akçakoca AAT			
	Kontrol	Ultrasonik	Mikrodalga	Enzim	Kontrol	Ultrasonik	Mikrodalga	Enzim
Klorür analiz sonuçları (mg/L)								
0	173	173	138	346	69	69	69	242
21	207	242	277	484	173	113	138	415
SO₄⁼ analiz sonuçları (mg/L)								
0	235	175	150	125	190	220	190	185
21	255	315	225	240	270	320	220	255

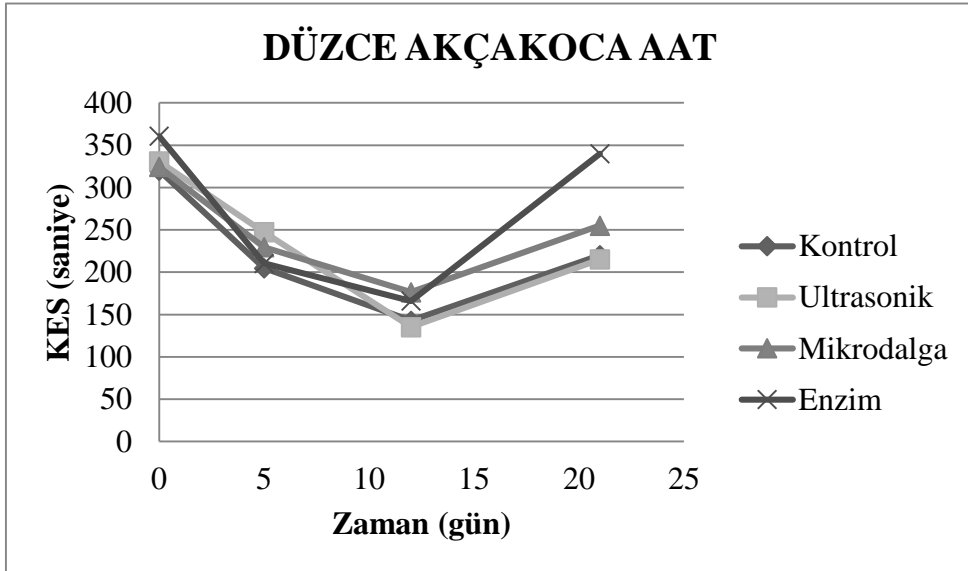
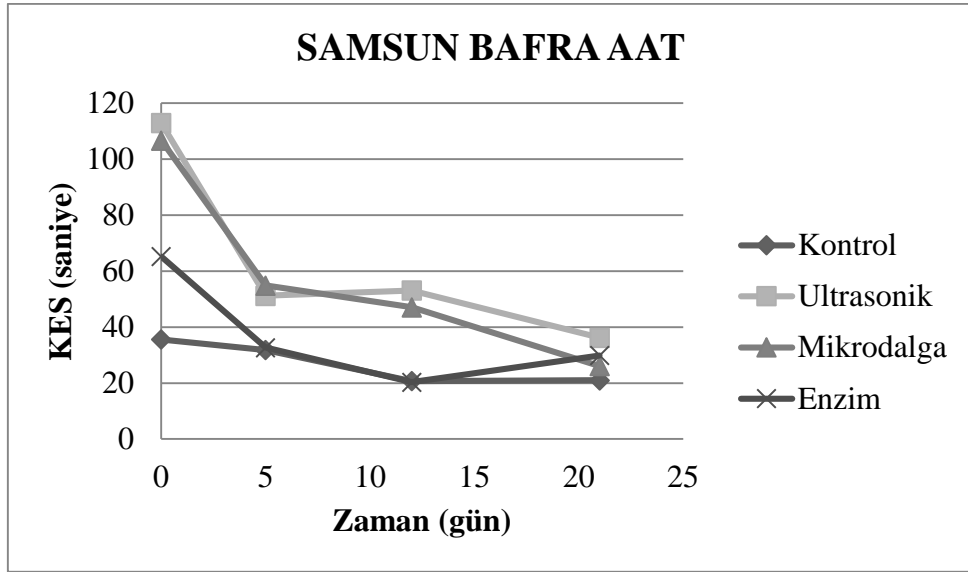
9.1.1.15.Kapiler Emme Süresi (KES) Analiz Sonuçları

Susuzlaştırılabilirliğin göstergesi olan kapiler emme süresi (KES) analizleri işletim süresi boyunca haftada bir kez tekrarlanmıştır ve KES sonuçlarının zamana bağlı değişimleri Şekil 9.41 ve Şekil 9.42’de verilmiştir.

Şekil 9.41 ve Şekil 9.42 incelendiğinde, stabilizasyon öncesi ilk gün uygulanan tüm dezentegrasyon işlemlerinin stabilizasyon başlangıcında çamurların su verme özelliklerini kötüleştirdiğini göstermektedir. İstanbul Bahçeşehir AAT ve Düzce Akçakoca AAT çamur numunelerinde stabilizasyon başlangıcında KES değerlerinin azaldığı gözlenirken, artan zamanla (12. günden sonra) KES değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. İzmit Kullar AAT ve Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için stabilizasyon sonlarına doğru KES değerlerinde artış sırasıyla ultrasonik ve enzim uygulanmış reaktörlerde gözlenmiştir.



Şekil 9.41: Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki Kapiler Emme Süresi değişimleri (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)



Şekil 9.42: Aerobik stabilizasyonda çamurlardaki Kapiler Emme Süresi değişimleri (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca AAT)

9.1.1.16. Partikül Boyutu Analiz Sonuçları

Reaktörlerde partikül boyut dağılımındaki değişim haftalık olarak izlenmiştir. Alınan örneklerde yapılan partikül boyut dağılımı sonuçları İzmit Kullar AAT, İstanbul Bahçeşehir AAT, Samsun Bafra AAT ve Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için sırasıyla Tablo 9.6, Tablo 9.7, Tablo 9.8 ve Tablo 9.9’da verilmektedir. Partikül boyutu analiz sonuçları $d(0.5)$ parametresine göre incelendiğinde, dezentegrasyon işlemi uygulanan reaktörlerin partikül boyutlarında kontrol reaktörlerine kıyasla bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu düşüş, dezentegrasyona bağlı olarak hücrelerde meydana gelen parçalanmanın bir göstergesidir.

Tablo 9.6: İzmit Kullar AAT için Partikül Boyutu Dağılımı analiz sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
İzmit Kullar AAT Kontrol					
0.Gün	16,009	52,230	142,582	31,169	83,197
5. Gün	12,888	35,598	98,905	22,902	58,669
12. Gün	14,289	40,994	111,234	26,467	66,812
21. Gün	13,755	37,404	101,076	25,173	51,545
İzmit Kullar AAT Ultrasonik					
0.Gün	16,115	48,740	131,678	30,226	74,924
5. Gün	14,159	41,186	109,993	25,881	56,953
12. Gün	14,920	44,370	121,535	27,88	63,088
21. Gün	15,003	42,989	155,943	28,119	75,136
İzmit Kullar AAT Mikrodalga					
0.Gün	17,646	57,803	178,575	30,365	96,921
5. Gün	15,043	44,556	121,974	28,094	97,716
12. Gün	15,557	46,111	118,730	27,961	66,383
21. Gün	14,868	44,334	112,017	25,537	60,349
İzmit Kullar AAT Enzim					
0.Gün	15,823	49,424	164,57	30,512	99,385
5. Gün	14,589	44,910	124,018	27,737	64,225
12. Gün	14,697	45,126	115,312	28,037	59,893
21. Gün	14,450	42,629	137,021	27,406	76,342

Tablo 9.7: İstanbul Bahçeşehir AAT için Partikül Boyutu Dağılımı Analiz Sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
İstanbul Bahçeşehir AAT Kontrol					
0.Gün	20,965	58,634	186,703	41,061	95,101
5. Gün	21,921	58,805	179,522	40,101	88,289
12. Gün	22,830	61,026	168,616	41,352	88,253
21. Gün	21,843	57,520	184,979	39,597	104,587
İstanbul Bahçeşehir AAT Ultrasonik					
0.Gün	21,731	59,576	201,93	40,264	93,426
5. Gün	22,994	62,151	182,76	42,019	96,088
12. Gün	22,014	57,483	157,053	38,748	85,98
21. Gün	16,048	48,108	148,726	29,641	75,138
İstanbul Bahçeşehir AAT Mikrodalga					
0.Gün	21,842	60,615	176,818	40,199	85,242
5. Gün	24,175	68,707	219,836	44,966	101,229
12. Gün	23,914	65,158	181,696	43,274	93,27
21. Gün	21,681	59,747	194,426	39,341	108,923
İstanbul Bahçeşehir AAT Enzim					
0.Gün	21,673	61,153	204,616	40,359	100,758
5. Gün	24,312	68,474	186,008	44,51	91,815
12. Gün	24,378	65,914	181,736	43,803	95,015
21. Gün	21,491	58,254	147,8	38,536	76,728

Tablo 9.8: Samsun Bafra AAT için Partikül Boyutu Dağılımı Analiz Sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Samsun Bafra AAT Kontrol					
0.Gün	13,125	42,654	102,067	26,175	51,636
5. Gün	13,426	41,646	98,219	25,807	52,708
12. Gün	13,551	98,073	86,100	24,312	48,58
21. Gün	12,349	33,360	79,848	21,712	45,004
Samsun Bafra AAT Ultrasonik					
0.Gün	13,618	37,904	93,719	24,252	50,423
5. Gün	14,380	41,419	104,598	27,021	56,647
12. Gün	14,330	41,616	100,885	26,437	54,518
21. Gün	13,235	36,621	94,866	23,890	60,737
Samsun Bafra Mikrodalga					
0.Gün	13,672	41,679	112,618	25,620	60,416
5. Gün	16,567	54,076	127,809	32,736	70,121
12. Gün	14,330	41,616	100,885	26,437	54,518
21. Gün	12,675	35,763	82,851	22,624	46,567
Samsun Bafra AAT Enzim					
0.Gün	12,603	38,085	87,169	23,108	46,556
5. Gün	15,998	50,647	124,768	31,368	67,371
12. Gün	15,929	48,723	112,263	30,611	63,033
21. Gün	15,249	44,115	100,713	28,542	58,002

Tablo 9.9: Düzce Akçakoca AAT için Partikül Boyutu Dağılımı Analiz Sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Düzce Akçakoca AAT Kontrol					
0.Gün	7,634	23,911	82,561	15,215	48,594
5. Gün	7,444	23,583	113,942	13,795	52,941
12. Gün	6,535	24,971	72,663	13,290	39,734
21. Gün	5,231	21,305	98,583	11,355	45,444
Düzce Akçakoca AAT Ultrasonik					
0.Gün	8,874	27,146	77,685	14,798	47,803
5. Gün	7,805	23,912	71,472	13,763	39,744
12. Gün	8,684	27,710	87,917	15,280	49,851
21. Gün	6,638	26,943	164,073	14,303	73,088
Düzce Akçakoca Mikrodalga					
0.Gün	7,990	25,011	109,233	14,454	66,899
5. Gün	9,667	27,805	74,26	18,986	43,165
12. Gün	7,567	23,613	76,468	13,581	40,658
21. Gün	7,066	26,553	123,372	13,657	53,322
Düzce Akçakoca AAT Enzim					
0.Gün	7,746	24,119	90,033	14,030	45,944
5. Gün	8,834	28,032	85,780	16,580	49,624
12. Gün	8,910	29,792	121,033	16,936	61,569
21. Gün	6,436	24,567	78,982	12,333	37,374

9.1.1.17.Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Stabilizasyon uygulamalarının verimini gösteren parametrelerden biri de mikrobiyolojik giderimdir. Bu amaçla ham çamurlardan alınan numuneler ile kurulan stabilizasyon reaktörlerinden alınan numunelerde Standart Metodlarda belirtilen Membran Filtrasyon yöntemi ile Toplam Koliform (SM9222B), *Escherichia coli* (SM9222D) ve Fekal Streptokok (SM9230C) analizleri gerçekleştirilmiştir. Aerobik reaktörlerde elde edilen mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 9.10'da verilmektedir.

Numunelerin çok yoğun bakteriyel konsantrasyon içermeleri, yüksek mikroorganizma konsantrasyonlarında sayımın zorlaşması ve bazı türlerin koloni oluştururken büyümelerinin baskılanması nedenleri ile yüksek seyreltme faktörleri uygulanmıştır. Ancak analiz

sonuçlarının bu yüksek seyreltme konsantrasyonlarından etkilenmiş olabileceğini de göz ardı etmemek gerekmektedir.

Elde edilen sonuçlar, reaktörlerde uygulanan farklı yöntemlerin üç parametrede de genelde 10^3 – 10^4 koloni/100 ml mertebelerinde azalmaya neden olduğunu göstermektedir. Bu sonuca bağlı olarak, stabilizasyon uygulamasında kontrol ve dezentegrasyon uygulanmış reaktörlerde mikrobiyolojik konsantrasyonlarda başarıyla düşüş gözlenmiştir.

İzmit Kullar AAT çamur numuneleri için Toplam Koliform parametresi incelendiğinde, tüm reaktörlerde 10^2 koloni/100 mL mertebesinde giderim gözlenmektedir. Fekal Koliform parametresine bakıldığında, sırasıyla kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim için 10^3 , 10^2 , 10^3 , 10^3 koloni/100 mL giderim gözlenmiştir. Fekal Streptokok parametresinde ise en çok giderim 10^4 koloni/100 mL mertebesinde mikrodalga ön arıtımı uygulanmış numunede gözlenmiş olup, sırasıyla kontrol, ultrasonik ve enzim için ise 10^2 , 10^3 , 10^3 koloni/100 mL giderim gerçekleşmiştir.

Toplam Koliform parametresi İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numuneleri için incelendiğinde, kontrol ve enzim numunelerinde 10^3 koloni/100 mL kadar azalma gerçekleşmiş olup, ultrasonik ve mikrodalga enzimlerinde ise bu giderim 10^4 koloni/100 mL mertebesine yükselmiştir. Fekal Koliform miktarındaki azalma kontrol reaktöründe 10^2 koloni/100 mL iken, dezentegrasyon uygulanmış tüm numunelerde stabilizasyon öncesi ile sonrası arasındaki fark 10^3 koloni/100 mL'ye yükselmiştir. Fekal Streptokok için tüm numunelerde 10^3 koloni/100 mL'lik bir giderim gözlenirken, enzim dezentegrasyonu uygulanmış numunedeki giderim 10^4 koloni/100 mL mertebesindedir.

Samsun Bafra AAT çamur numunelerinin Toplam Koliform parametresine bakıldığında kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim için sırasıyla 10^4 , 10^4 , 10^2 ve 10^3 koloni/100 mL azalma gerçekleşmiştir. Fekal Koliform miktarındaki azalmalar ise tüm reaktörler için 10^3 koloni/100 mL'dir. Fekal Streptokok parametresinde ise kontrol numunesinde 10^4 koloni/100 mL, dezentegrasyon uygulanmış numunelerde 10^3 koloni/100 mL azalma gerçekleşmiştir.

Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için Toplam Koliform miktarındaki azalmalar kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim için sırasıyla 10^3 , 10^4 , 10^2 , ve 10^3 koloni/100 mL olarak gerçekleşmiştir. Fekal Koliform miktarında aynı numuneler için giderim miktarları sırasıyla 10^4 , 10^3 , 10^2 , 10^3 koloni/100 mL, Fekal Streptokok parametresi için ise 10^4 , 10^2 , 10^3 , 10^4 koloni/100 mL olarak belirlenmiştir.

Netice olarak, uygulanmış olan işletme koşullarında; Toplam Koliform (TC), *Escherichia coli* (*E. coli*) ve Fekal Streptokok (FS) parametrelerinde etkili verim elde edildiği görülmektedir.

Tablo 9.10: Reaktörlerdeki mikrobiyolojik analiz sonuçları

	Toplam Koliform Giriş [kob/100mL]	Toplam Koliform Çıkış [kob/100mL]	Fekal Koliform Giriş [kob/100mL]	Fekal Koliform Çıkış [kob/100mL]	Fekal Streptokok Giriş [kob/100mL]	Fekal Streptokok Çıkış [kob/100mL]
İzmit Kullar AAT Kontrol	4,1x10 ⁷	1,1x10 ⁵	3,7x10 ⁷	7x10 ⁴	3x10 ⁶	3x10 ⁴
İzmit Kullar AAT Ultrasonik	6,3x10 ⁷	3,3x10 ⁵	3,1x10 ⁷	1,2x10 ⁵	1x10 ⁷	2x10 ⁴
İzmit Kullar AAT Mikrodalga	3,9x10 ⁷	1,8x10 ⁵	1x10 ⁷	4x10 ⁴	1,7x10 ⁷	3x10 ³
İzmit Kullar AAT Enzim	9x10 ⁷	2,7x10 ⁵	6,7x10 ⁷	9x10 ⁴	4,7x10 ⁷	7x10 ⁴
İstanbul Bahçeşehir AAT Kontrol	1x10 ⁸	2,3x10 ⁵	5,9x10 ⁷	1,4x10 ⁵	3x10 ⁷	1,5x10 ⁴
İstanbul Bahçeşehir AAT Ultrasonik	1x10 ⁸	9x10 ⁴	4,6x10 ⁷	4x10 ⁴	3,7x10 ⁷	3x10 ⁴
İstanbul Bahçeşehir AAT Mikrodalga	1,8x10 ⁸	4x10 ⁴	8,3x10 ⁷	2x10 ⁴	1,5x10 ⁷	3x10 ⁴
İstanbul Bahçeşehir AAT Enzim	2,3x10 ⁸	4,5x10 ⁵	1x10 ⁸	2,1x10 ⁵	4x10 ⁷	2x10 ³
Samsun Bafra AAT Kontrol	1,5x10 ⁸	8x10 ⁴	5,5x10 ⁷	4x10 ⁴	1,8x10 ⁷	1,2x10 ³
Samsun Bafra AAT Ultrasonik	1,3x10 ⁸	3x10 ⁴	6,1x10 ⁷	2x10 ⁴	2x10 ⁷	3x10 ⁴
Samsun Bafra AAT Mikrodalga	9x10 ⁷	1,5x10 ⁵	7,3x10 ⁷	3x10 ⁴	1,7x10 ⁷	1,2x10 ⁴
Samsun Bafra AAT Enzim	1,5x10 ⁸	2,7x10 ⁵	1x10 ⁸	1,9x10 ⁵	3,3x10 ⁷	6x10 ⁴
Düzce Akçakoca AAT Kontrol	1,7x10 ⁸	3,1x10 ⁵	1x10 ⁸	6x10 ⁴	3,8x10 ⁷	3,8x10 ³
Düzce Akçakoca AAT Ultrasonik	1,6x10 ⁸	1x10 ⁴	7,9x10 ⁷	5x10 ⁴	3,1x10 ⁷	3,1x10 ⁵
Düzce Akçakoca AAT Mikrodalga	1,3x10 ⁸	1,5x10 ⁶	7x10 ⁷	5,5x10 ⁵	2,5x10 ⁷	1x10 ⁴
Düzce Akçakoca AAT Enzim	2,4x10 ⁸	7,5x10 ⁵	1x10 ⁸	3,8x10 ⁵	4,8x10 ⁷	8x10 ³

9.1.2. Anaerobik Stabilizasyon Uygulamaları

BÜ Proje Grubu tarafından, anaerobik stabilizasyon çalışmaları **Marmara Bölgesi**'nde İzmit Kullar Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) ve İstanbul Bahçeşehir Atıksu Arıtma Tesisi (evsel); **Karadeniz Bölgesi**'nde Düzce Akçakoca Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) ve Samsun Bafra Atıksu Arıtma Tesisi'den (kentsel) temin edilen kentsel ve evsel nitelikli çamur örnekleriyle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle İP8'de belirlenen en uygun minimizasyon yöntemleri kullanılarak geri devir çamurları ön işleme tabi tutulduktan sonra laboratuvar ölçekli sistemler kullanılarak anaerobik stabilizasyon çalışmaları yürütülmüştür.

Anaerobik stabilizasyon deneyleri kapsamında minimizasyon yöntemlerinden İP 8'de belirlenmiş olan ve literatürdeki verilere göre yaygın olarak kullanıldığı bilinen ultrasonikasyon

ve mikrodalga yönteminin ve enzim ilavesinin anaerobik stabilizasyona etkisi incelenmiştir. Ön arıtma uygulanan çamur numuneleri, 2,5 lt'lik amber cam reaktörlerde aktif çalışma hacmi 1600 ml olacak şekilde ve mezofilik şartlarda (37°C) anaerobik çürütmeye tabi tutulmuştur. Anaerobik reaktör içerikleri, farklı ön işlem görmüş her çamur numunesi ve işlem görmemiş kontrol numuneleri için ayrı reaktörlerde paralelli olarak 2'şer set halinde kurulmuş olup, deneysel analizler de paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, İzmit Kullar, İstanbul Bahçeşehir, Samsun Bafra ve Düzce Akçakoca Atıksu Arıtma Tesisleri'nden (AAT) alınan çamur numuneleri ile her atıksu arıtma tesisi için dört adet -kontrol, ultrasonikasyona tabi tutulmuş reaktör (ultrasonikasyon), mikrodalgada işlem görmüş reaktör (mikrodalga) ve enzim ilaveli reaktör (enzim)- olmak üzere toplam 16 adet anaerobik reaktör kurulmuştur.

Her bir çamur numunesi için işletilen reaktörlerden bir tanesi kontrol reaktörü olarak ayrılmış ve bu reaktörde hiçbir minimizasyon işlemi uygulanmamıştır. Mikrodalga ve ultrasonikasyon dezentegrasyon işlemleri çamurun hacimsel olarak %25'lik kısmına uygulanmıştır.

Ultrasonikasyon dezentegrasyonu arıtma çamurlarına, İP 8'de uygulanabilir optimum değer olarak bulunan 15000 kJ/kg TKM spesifik enerjide 200 W ve %70 amplitüde ultrasonikasyon dozu uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Mikrodalga dezentegrasyonu, arıtma çamurlarına Berghoff MWS-3+ cihazı kullanılarak, İP 8'de optimum koşul olarak tespit edilen 175°C sıcaklık ve 10 dakika süre ile mikrodalga uygulaması sonucu elde edilmiştir.

Enzim arıtımı olarak, arıtma çamurlarına stabilizasyon sırasında Alpha-amylase, Beta-glucanase (endo-(1,2(4)-), Lipase, Protease, Cellulase sınıfına ait 4 farklı hidrolitik ve 1 adet sellülotik enzimden oluşan karışım hacimce %0.5'lik enzim karışımı olarak uygulanmıştır. Burada kullanılan enzimler ve en uygun doz TÜBİTAK 104Y375 nolu projeden temin edilmiştir.

Reaktörlerin kurulumu öncesinde toplam katı madde oranı yaklaşık %1,5-2 aralığında olacak şekilde arıtma tesislerinden alınan geri devir çamurları öncelikli olarak çökeltiye yoğunlaştırılmış ve her bir reaktörde aşı/substrat oranı hacimsel olarak 1/3 olacak şekilde sabit tutularak reaktörler kurulmuştur.

Reaktörlerin kurulumunda uygulanan çamur oranları ve dezentegrasyon koşulları Tablo 9.11'de verilmektedir.

Tablo 9.11 : Reaktörlerin kurulumunda uygulanan çamur oranları ve dezentegrasyon koşulları

Çamur Numunesi	Açıklama	Aşı Çamuru (ml)	Geri Devir Çamuru (ml)	Mikrodalga uygulanmış dezentegre çamur (ml)	Ultrasonikasyon uygulanmış dezentegre çamur (ml)	Enzim (ml)
İzmit Kullar AAT	Kontrol	400	1200	-	-	-
	Enzim	400	1200	-	-	6
	Ultrasonikasyon	400	800	-	300	-
	Mikrodalga	400	800	300	-	-
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	400	1200	-	-	-
	Enzim	400	1200	-	-	6
	Ultrasonikasyon	400	800	-	300	-
	Mikrodalga	400	800	300	-	-
Samsun Bafra AAT	Kontrol	400	1200	-	-	-
	Enzim	400	1200	-	-	6
	Ultrasonikasyon	400	800	-	300	-
	Mikrodalga	400	800	300	-	-
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	400	1200	-	-	-
	Enzim	400	1200	-	-	6
	Ultrasonikasyon	400	800	-	300	-
	Mikrodalga	400	800	300	-	-

Reaktörlerin tamamen havasız olarak işletilebilmesi amacıyla reaktörler gaz geçirmeyecek şekilde kauçuk tıplar ile kapatılmış ve hava kaçırabilecek tüm bölgeler sıvı silikon ile silikonlanmıştır. Reaktörlerde gaz sızdırmasının olup olmadığını test etmek üzere reaktörler işletmeye alınmadan önce su ile doldurulan reaktörler N₂ gazı ile basınçlandırılarak gözlenmiş ve miligaz ölçerler ile herhangi bir gaz kaçıışı olmadığı görüldükten sonra cam reaktörler işletilmeye başlanmıştır. Reaktörler günde iki kez elle karıştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan anaerobik aşı çamuru, Pakmaya İstanbul fabrikasında kurulu bulunan anaerobik metan reaktöründen temin edilmiştir. Anaerobik reaktörlerde kullanılan aktif çamur ve aşı çamur özellikleri Tablo 9.12’de verilmektedir.

Tablo 9.12 : Aktif çamur ve aşı çamurunun karakterizasyonu

Parametre	Birim	Fritolay Aşı Çamuru	İzmit Kullar AAT	İstanbul Bahçeşehir AAT	Samsun Bafra AAT	Düzce Akçakoca AAT
TKM içeriği	%	3,83	1,3	0,62	0,7	0,35
TKM	mg/L	38331	13121	6163	6720	3547
TUKM	mg/L	25360	8900	4184	3850	2360
TUKM/TKM	-	0,66	0,67	0,68	0,58	0,67
AKM	mg/L	37250	14380	5450	2910	3320
UAKM	mg/L	24000	8300	4050	1980	2150
UAKM/AKM	-	0,70	0,70	0,76	0,68	0,74
TKOİ	mg/L	38470	14327	8337	7486	5299
ÇKOİ	mg/L	5154	327	142	70	94
TKN	mg/L	870	780	390	270	330
NH ₄ ⁺	mg/L	294,00	60,00	32,25	26,63	55,75
NH ₃ -N	mg/L	312	46,75	30,00	20,63	43,75
NH ₃	mg/L	278	56,75	30,50	25,13	52,50
TP	mg/L	430	540	350	300	270
PO ₄ ⁻³ -P	mg/L	1310	1640	1080	910	830
SO ₄ ⁻²	mg/L	110	-	50	55	25
Cl ⁻	mg/L	602	126	106	142	71
Kapiler Emme Süresi (KES)	sn	>1000	22,7	22,7	11,4	34,7
Alkalinite (CaCO ₃ olarak)	mg/L	5302,5	1470	997,5	840	1155
pH	-	7,3	6,9	7,1	7,4	7,1
İletkenlik	mS/cm	20,10	2,95	2,35	3,31	2,22
Tuzluluk	%o	14,0	1,8	1,1	1,7	1,8
Toplam Koliform	kob/100mL	1*10 ⁶	8*10 ⁷	5,5*10 ⁷	6*10 ⁷	9*10 ⁷
Fekal Koliform	kob/100mL	5*10 ⁵	5,1*10 ⁶	6,5*10 ⁶	1,8*10 ⁶	1*10 ⁷
Fekal streptokok	kob/100mL	1*10 ⁵	3*10 ⁶	2,5*10 ⁶	5,4*10 ⁶	5*10 ⁶
Salmonlla	kob/100ml	8*10 ⁴	1,2*10 ⁵	1,9*10 ⁵	5,3*10 ⁵	5*10 ⁵

Analitik Yöntemler

Anaerobik stabilizasyon deneylerine arıtma tesislerinden gelen çamurlarda AKM, UAKM, TKM ve TUKM değerlerinin belirlenmesinin hemen akabinde başlanmış ve reaktörler yaklaşık 25 gün süresince izlenmiştir. Reaktörde giderim performansının değerlendirilmesi amacıyla deneyin başlangıç anında ve deney sonunda pH, Toplam KOİ (TKOİ), Çözülmüş KOİ (ÇKOİ), TKM, TUKM, AKM, UAKM, tuzluluk, iletkenlik, alkalinite, NH₄-N, toplam/orto fosfat, Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), sülfat, klorür ve viskozite parametreleri analiz edilmiştir. Stabilizasyon esnasında reaktörde oluşan toplam biyogaz miktarı ve kompozisyonu düzenli

olarak izlenmiştir. Reaktörlerde üretilen günlük biyogaz miktarları Ritter Marka MGC -1 model miligaz sayaçları ile izlenmiştir.

Tüm stabilizasyon çalışmalarında patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiş olup, bu amaçla toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok ve Salmonella parametreleri izlenmiştir.

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarına ilişkin gerçekleştirilen analiz sonuçları ve değerlendirmeler takip eden bölümlerde sunulmaktadır.

9.1.2.1.pH ve Alkalinite Analiz Sonuçları

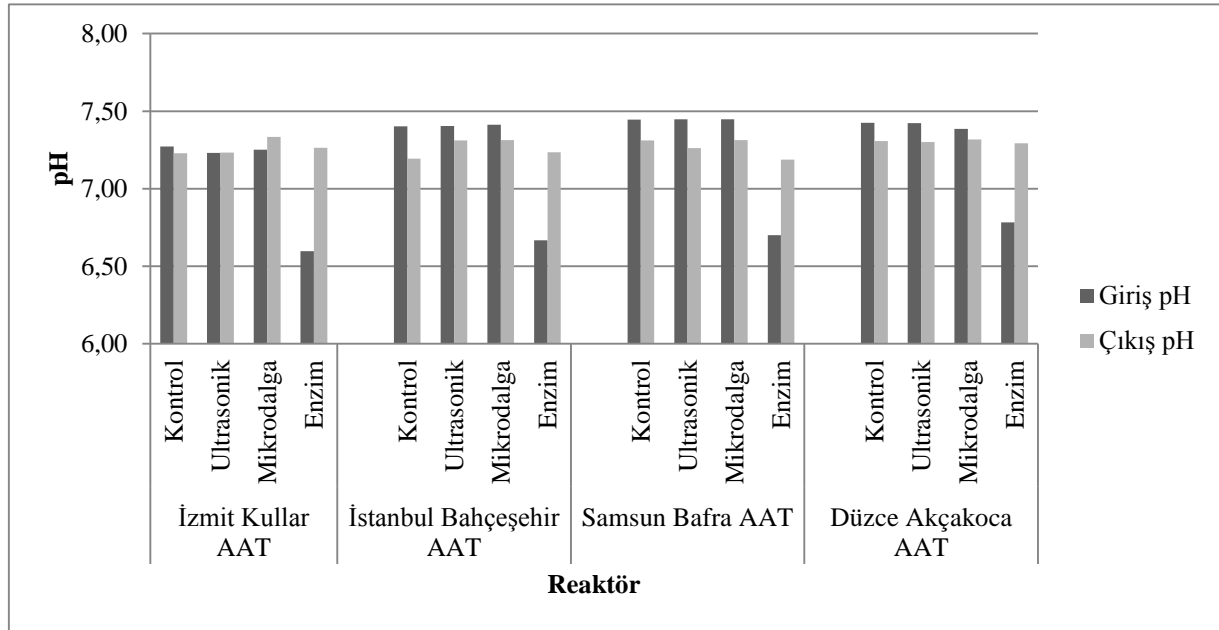
Anaerobik sistemlerde önemli göstergelerden biri olan pH, havasız arıtmada temel proses kontrol parametrelerinden biridir. Havasız reaktör içersinde meydana gelen pH değişiminin metan üretimindeki reaksiyonlara önemli etkileri bulunmaktadır. Metan gazının, hidrojen veya asetik asit kullanılarak, üretimi pH değişimi ile farklılık gösterir. Anaerobik arıtmada asidojenik gurup pH bakımından birçok özel durumu içerir. Asetojen ve metanojen prosesleri ise yaklaşık olarak 6.5-8 arasındaki pH değerlerinde en iyi performans göstermektedir. $pH < 5,5$ halinde ise hem metan, hem de asit bakterileri inhibisyona uğrarlar. pH'a bağlı olarak değişim gösteren bir diğer anaerobik stabilizasyon parametresi de alkalinitedir.

Çalışmada kullanılan anaerobik reaktörlerde işletme süresince gözlenen pH ve alkalinite değişimleri Tablo 9.13'de verilmiştir.

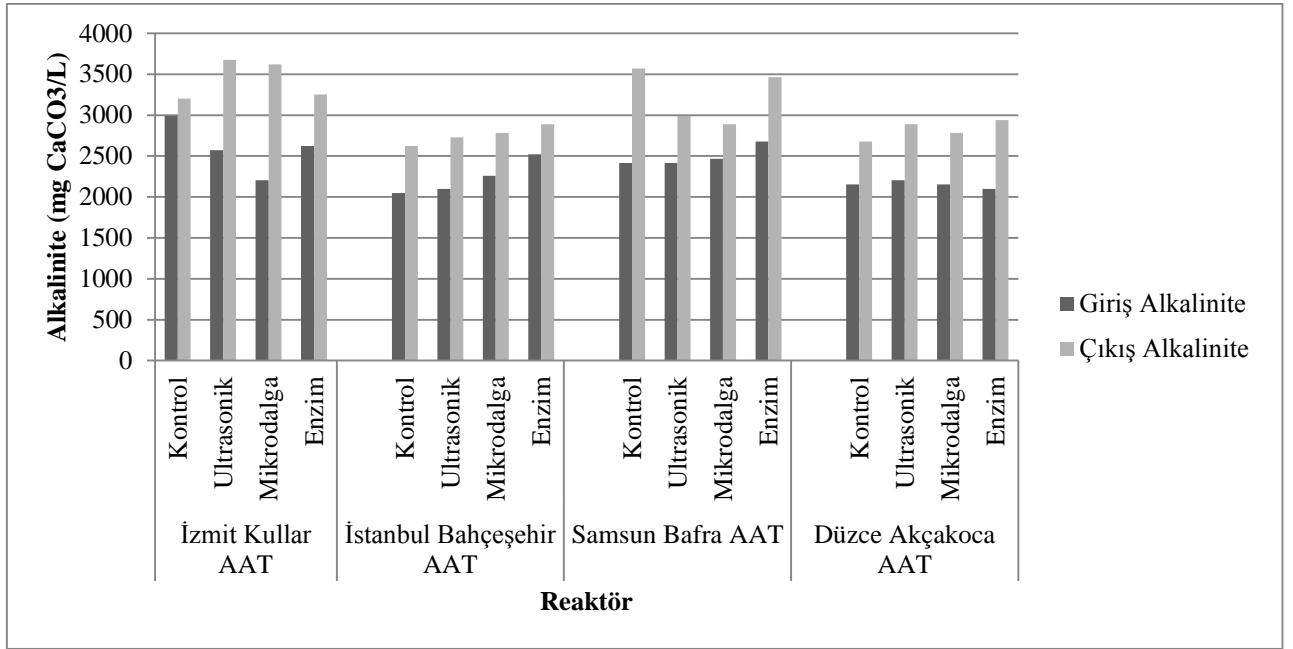
Anaerobik stabilizasyon çalışması sonunda, pH değerlerinde fazla bir değişim gözlenmezken enzim uygulanan reaktörlerde pH değerinin önce azaldığı ancak işletim süresi boyunca bu değer metanojenler için uygun koşullara ulaştığı görülmüştür (Şekil 9.43). Genel olarak, tüm reaktörlerde optimum pH olan 6,5-8,2 aralığına uygun değerler elde edilmiş ve reaktörlerde pH'a bağlı olarak herhangi bir inhibisyon gözlenmemiştir. Alkalinite göz önüne alındığında ise; havasız çürütme sonunda tüm reaktörlerde beklenildiği üzere bir artış gözlenmiştir. (Şekil 9.44).

Tablo 9.13 : Anaerobik reaktörlerde gözlenen pH ve alkalinite değişimleri

Reaktör		pH Giriş	pH Çıkış	Alkalinite Giriş (mg CaCO ₃ /L)	Alkalinite Çıkış (mg CaCO ₃ /L)
İzmit Kullar AAT	Kontrol	7.272	7.229	2992,5	3202,5
	Ultrasonikasyon	7.231	7.232	2572,5	3675
	Mikrodalga	7.251	7.333	2205	3622,5
	Enzim	6.597	7.264	2625	3255
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	7.402	7.193	2047,5	2625
	Ultrasonikasyon	7.405	7.312	2100	2730
	Mikrodalga	7.412	7.314	2257,5	2782,5
	Enzim	6.667	7.235	2520	2887,5
Samsun Bafra AAT	Kontrol	7.446	7.311	2415	3570
	Ultrasonikasyon	7.448	7.261	2415	2992,5
	Mikrodalga	7.447	7.314	2467,5	2887,5
	Enzim	6.699	7.188	2677,5	3465
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	7.424	7.308	2152,5	2677,5
	Ultrasonikasyon	7.423	7.301	2205	2887,5
	Mikrodalga	7.385	7.318	2152,5	2782,5
	Enzim	6.783	7.292	2100	2940



Şekil 9.43 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki pH değişimi



Şekil 9.44 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki alkalinite değişimi

9.1.2.2. ORP Analiz Sonuçları

Oksijen Redüksiyon Potansiyeli, havasız ortam koşullarının en önemli göstergesi sayılabilir. Sistem ORP'sinin negatif değerde olması, sistemde oksijen, dolayısıyla hava bulunmadığının göstergesidir. Reaktörlerde elde edilen ORP giriş ve çıkış değerleri Tablo 9.14'te gösterilmektedir. Tüm reaktörlerde negatif olan ORP değerleri, zamanla daha da düşüş göstermiştir.

Tablo 9.14 : Anaerobik reaktörlerde ölçülen ORP değerleri

	Reaktör	ORP Giriş	ORP Çıkış
İzmit Kullar AAT	Kontrol	-258.3	-348.7
	Ultrasonikasyon	-237.8	-340.6
	Mikrodalga	-224.7	-351.3
	Enzim	-256.2	-356.4
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	-275.6	-350.5
	Ultrasonikasyon	-316.2	-368.2
	Mikrodalga	-304.8	-359.9
	Enzim	-279.7	-367.4

Tablo 7.14 (devam): Anaerobik reaktörlerde ölçülen ORP değerleri

	Reaktör	ORP Giriş	ORP Çıkış
Samsun Bafra AAT	Kontrol	-232.5	-363.6
	Ultrasonikasyon	-271.4	-361.9
	Mikrodalga	-326.3	-355.4
	Enzim	-265.6	-368.6
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	-263.9	346.3
	Ultrasonikasyon	-318.7	-344.9
	Mikrodalga	-291.2	-346.8
	Enzim	-299.1	-363.7

9.1.2.3. Elektriksel İletkenlik (EC) ve Tuzluluk Analiz Sonuçları

Dezente gre edilmiş reaktörler ve kontrol reaktörlerinde, işletim süresinin bir fonksiyonu olarak giriş ve çıkışta elektriksel iletkenlikler (EC) ölçülmüş ve elde edilen değerler Tablo 9.15’de verilmiştir.

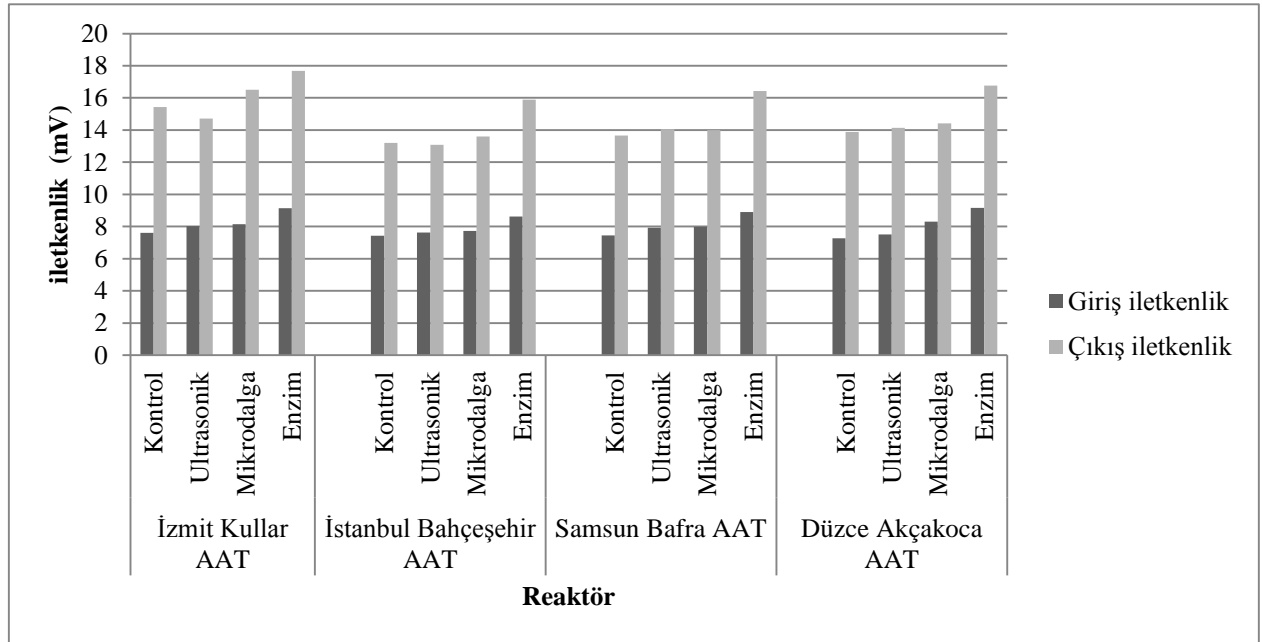
Şekil 9.45’de de gösterildiği gibi, kontrol reaktörleri de dahil olmak üzere tüm dezentegrasyon uygulanmış reaktörlerde işletim süresindeki artışa paralel olarak EC değerlerinde artış olduğu saptanmıştır. EC değerleri ile tuzluluk değerleri arasında aynı yönde belirgin bir eğilim görülmüş, en yüksek iletkenlik ve tuzluluk değerlerinin enzim ilave edilmiş reaktörlerde elde edildiği gözlenmiştir. Çalışılan reaktörlerde EC değerleri 7,276 – 16,77 mS/cm ve tuzluluk değerleri ise %5,1-9,1 arasında değişim göstermiştir.

Tablo 9.15 : Anaerobik reaktörlerde ölçülen iletkenlik değerleri

	Reaktör	İletkenlik Giriş (mS/cm)	İletkenlik Çıkış(mS/cm)	Tuzluluk Giriş (%)	Tuzluluk Çıkış (%)
İzmit Kullar AAT	Kontrol	7,61	15,43	5,1	8,3
	Ultrasonikasyon	8,02	14,72	5,3	7,9
	Mikrodalga	8,15	16,50	5,4	9,0
	Enzim	9,14	17,69	6,2	9,6

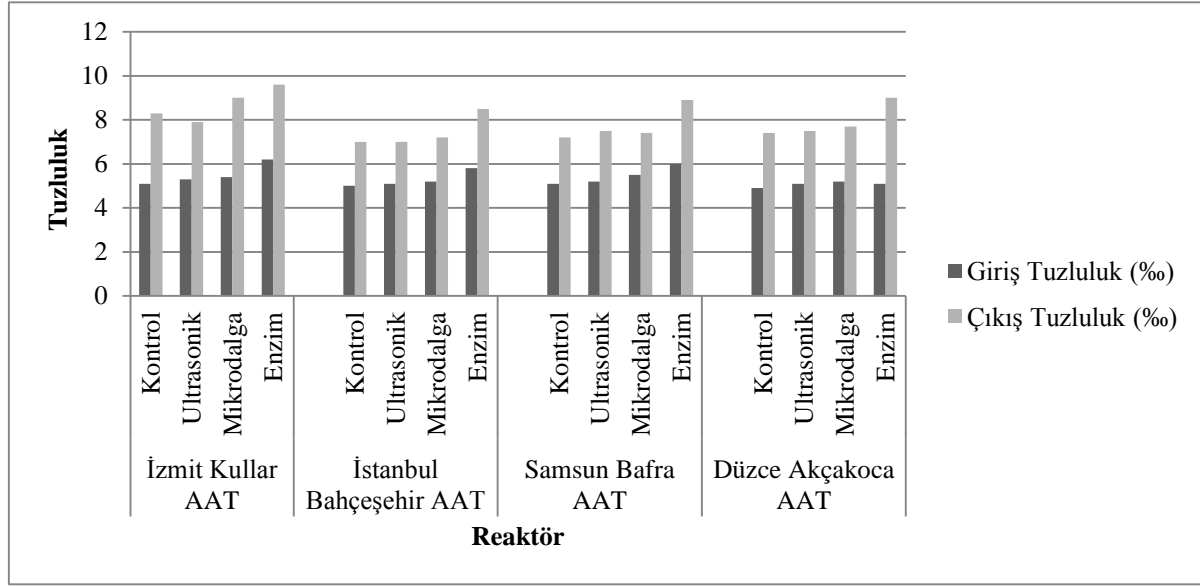
Tablo 9.15 (devam): anaerobik reaktörlerde ölçülen iletkenlik değerleri

	Reaktör	İletkenlik Giriş (mS/cm)	İletkenlik Çıkış(mS/cm)	Tuzluluk Giriş (‰)	Tuzluluk Çıkış (‰)
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	7,42	13,21	5,0	7,0
	Ultrasonikasyon	7,63	13,08	5,1	7,0
	Mikrodalga	7,72	13,60	5,2	7,2
	Enzim	8,62	15,89	5,8	8,5
Samsun Bafra AAT	Kontrol	7,45	13,65	5,1	7,2
	Ultrasonikasyon	7,93	14,05	5,2	7,5
	Mikrodalga	7,98	13,99	5,5	7,4
	Enzim	8,91	16,42	6,0	8,9
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	7,27	13,88	4,9	7,4
	Ultrasonikasyon	7,51	14,13	5,1	7,5
	Mikrodalga	8,31	14,41	5,2	7,7
	Enzim	9,15	16,77	5,1	9,0



Şekil 9.45 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki iletkenlik değişimi

Anaerobik stabilizasyon öncesi ve sonrasında ölçülen tuzluluk değerleri de, elektriksel iletkenliğe paralel değerlerde ölçülmüş, sonuçlar Şekil 9.46’de verilmiştir.



Şekil 9.46 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki tuzluluk değişimi

9.1.2.4.TKM ve TUKM Analiz Sonuçları

Anaerobik stabilizasyon sonrasında katı madde parametrelerindeki giderim profili Tablo 9.16’da ve TKM değişim ve giderim verimleri ve TUKM değişim ve giderim verimleri sırası ile Şekil 9.47, Şekil 9.48, Şekil 9.49 ve Şekil 9.50’de gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan tüm çamur numunelerinin herhangi bir ön işlem uygulanmamış kontrol reaktörlerinde, 22 gün süreli anaerobik stabilizasyon uygulanması sonucunda, TKM parametresinde gözlenen giderim % 12-26 aralığındadır (Şekil 9.48)

İzmit Kullar AAT için %TKM giderimleri genel olarak benzer değerlerdedir. En yüksek TKM giderimi mikrodalga uygulamasıyla % 26 olarak elde edilmişken, bunu sırasıyla, enzim (% 24) ve ultrasonikasyon (% 23) ön arıtmaları takip etmiş ve az bir farkla olsa da dezintegrasyon uygulamalarının kontrol reaktörüne oranla çamur kütlesini azaltmada etkili olduğu görülmüştür.

Şekil 9.50’de de görülebildiği gibi, aynı tesis için TUKM giderim verimleri incelendiğinde ultrasonikasyon ve enzim uygulaması % 29 ile organik madde gideriminde benzer bir etki gösterdiği görülmüştür. Kontrol reaktörü ile mikrodalga uygulaması arasındaki %TUKM giderimleri %TKM giderimine göre artmış, kontrol reaktörü % 26 giderim verimi elde etmişken mikrodalga uygulamasında % 32 TUKM giderimine ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

TKM giderimleri genel olarak minimizasyon uygulanan reaktörlerde daha yüksek yüzdelerde gözlenmiştir. Bununla birlikte Düzce Akçakoca AAT için enzim uygulanan reaktör kontrol ile

ciddi farklılık gösterirken İzmit Kullar AAT çamur numuneleri için mikrodalga uygulaması, TKM gideriminde diğer yöntemlerden daha etkili olduğu gözlenmiştir (Şekil 9.48).

İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numuneleri için TKM giderimleri dikkate alındığında, % 17 ile, en yüksek giderim veriminin enzim uygulanması sonucu elde edildiği görülmüştür. Mikrodalga uygulaması % 14 TKM giderimi ile sonuçlanmışken kontrol ve ultrasonikasyon reaktörlerinde % 13 TKM verimi elde edilmiştir. Aynı reaktörlerdeki TUKM giderimleri incelendiğinde enzim uygulamasının % 25 ile yine en yüksek verimle sonuçlandığı tespit edilmiştir. Tüm reaktörler incelendiğinde, uygulanan dezentegrasyon işlemlerinin TKM ve TUKM giderim yüzdeleri artırdığı görülmekte ve dolayısıyla toplam çamur kütlesi ve organik madde giderimi açısından etkili olduğu söylenebilmektedir.

Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için TKM giderim verimleri Şekil 9.16’da görüldüğü gibi, enzim uygulaması ile en yüksek değere ulaşmıştır. TUKM giderim yüzdeleri de TKM giderim yüzdelere paralel şekilde gerçekleşmiştir. Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için enzim uygulamasının %TKM giderim açısından kontrol ve diğer reaktörlere oranla olumlu etki gösterdiği saptanmış ancak bu farkın %TUKM gideriminde daha az belirgin olduğu görülmüştür.

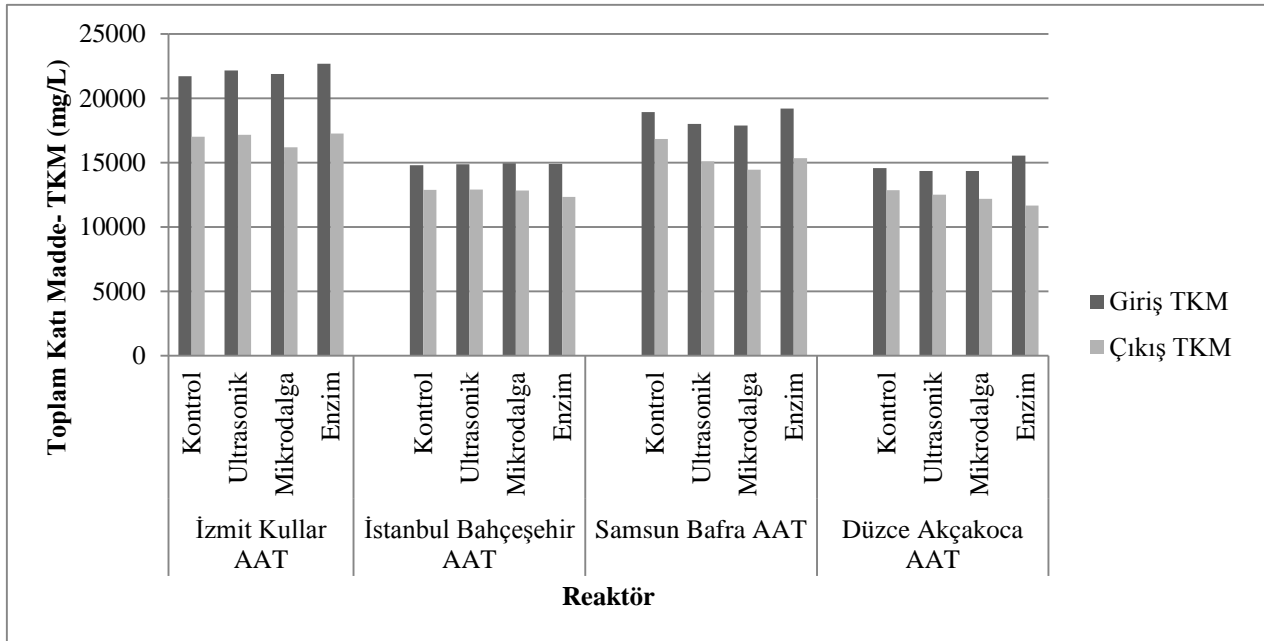
Tüm çamur numunelerinde stabilizasyon sonrasında gözlenen TUKM değerlerindeki değişim TKM değerlerindeki değişime paralel olarak gerçekleşmiştir (Şekil 9.48 ve Şekil 9.50). TKM giderimi de yüksek olan Düzce Akçakoca AAT çamur numunelerinde enzim reaktörü %36 TUKM giderim yüzdesi gösterirken, Samsun Bafra AAT’den alınan örneklerde enzim reaktörü % 37 oranında bir giderim göstermiştir.

Tablo 9.16 : Anaerobik reaktörlerde gözlenen TKM ve TUKM değişimleri

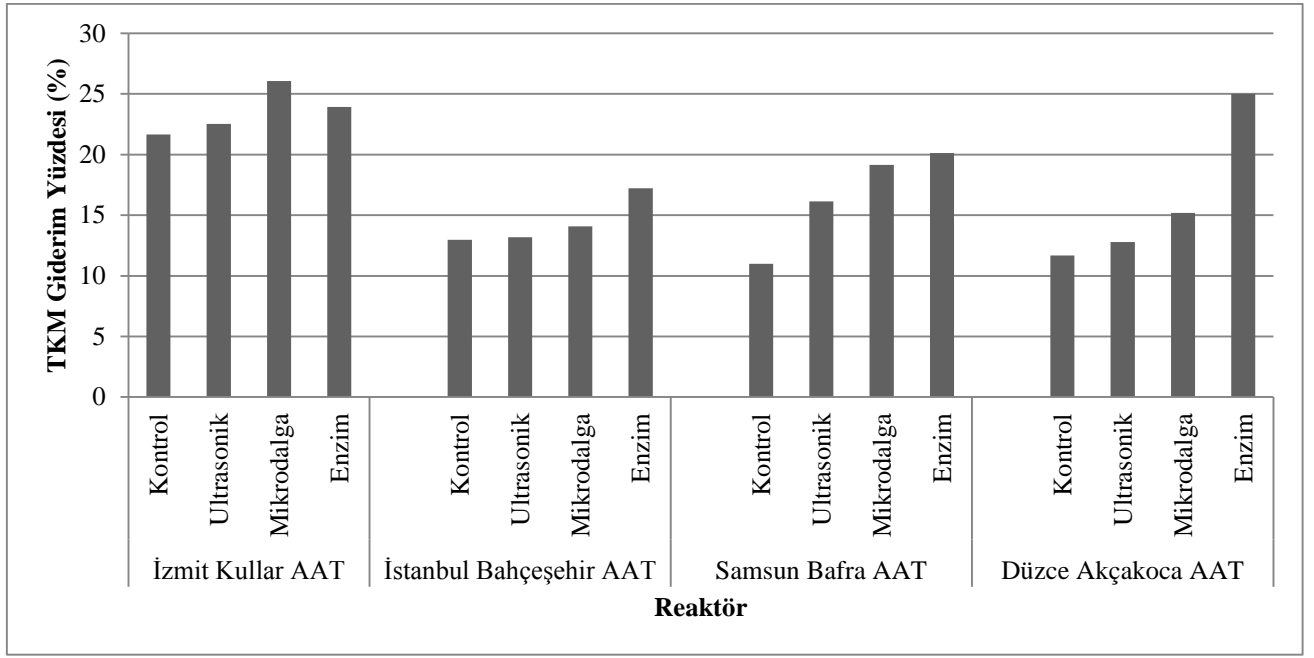
Reaktör		Giriş		Çıkış		Giderim Yüzdesi	
		TKM (mg/L)	TUKM (mg/L)	TKM (mg/L)	TUKM (mg/L)	TKM giderim yüzdesi (%)	TUKM giderim yüzdesi (%)
İzmit Kullar AAT	Kontrol	21717	14005	17014	10316	22	26
	Ultrasonikasyon	22162	14115	17169	10025	23	29
	Mikrodalga	21910	13758	16199	9330	26	32
	Enzim	21717	14346	17273	10117	24	29

Tablo 9.16 (devam): Anaerobik reaktörlerde gözlenen TKM ve TUKM değişimleri

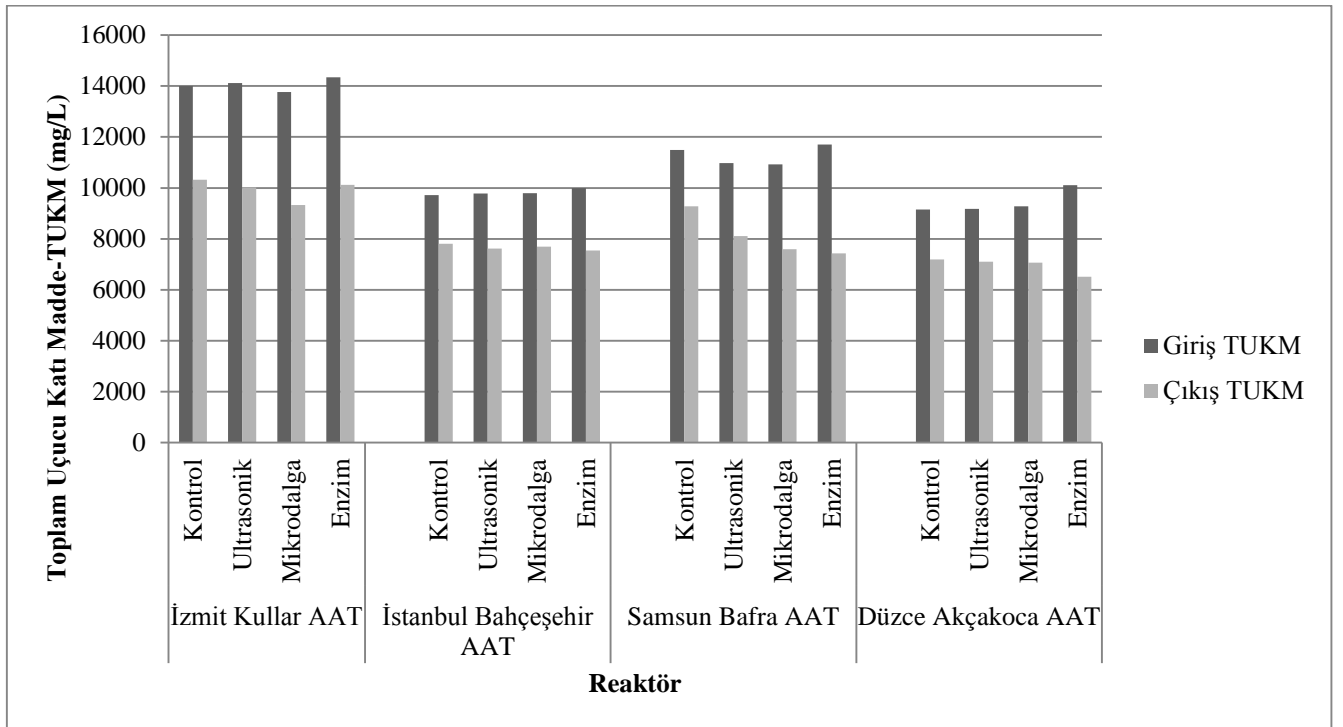
Reaktör	Giriş		Çıkış		Giderim Yüzdesi		
	TKM (mg/L)	TUKM (mg/L)	TKM (mg/L)	TUKM (mg/L)	TKM giderim yüzdesi (%)	TUKM giderim yüzdesi (%)	
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	14805	9813	12883	7709	13	20
	Ultrasonikasyon	14877	9782	12916	7614	13	22
	Mikrodalga	14958	9794	12851	7696	14	21
	Enzim	14900	7998	12333	7547	17	25
Samsun Bafra AAT	Kontrol	18932	11485	16850	9271	11	19
	Ultrasonikasyon	18010	10970	15101	8113	16	26
	Mikrodalga	17884	10929	14461	7588	19	31
	Enzim	19224	11708	15353	7434	20	37
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	14579	9452	12877	7197	12	21
	Ultrasonikasyon	14357	9183	12022	7207	16	23
	Mikrodalga	14366	9212	12185	7167	15	24
	Enzim	15550	10112	11662	6509	25	36



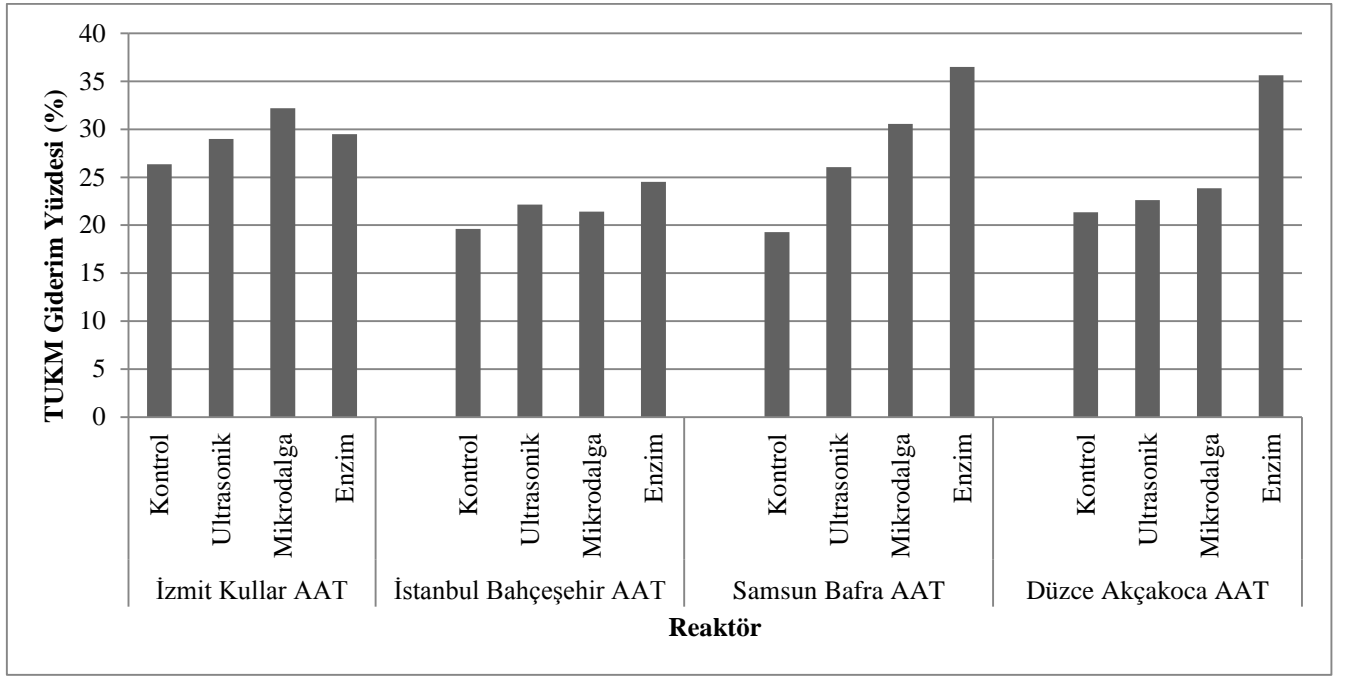
Şekil 9.47 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki TKM değişimleri



Şekil 9.48: Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki TKM giderim yüzdeleri



Şekil 9.49 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki TUKM değişimleri



Şekil 9.50 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki TUKM giderim yüzdeleri

9.1.2.5.AKM ve UAKM Analiz Sonuçları

Anaerobik stabilizasyon sonrasında askıda ve uçucu askıda katı madde parametrelerindeki giderim profili Tablo 9.17’de, AKM değişim ve giderim verimleri ve TUAKM değişim ve giderim verimleri sırası ile Şekil 9.51, Şekil 9.52, Şekil 9.53 ve Şekil 9.54’da gösterilmektedir. Şekil 9.53’de verilen AKM yüzde giderimleri değerlendirildiğinde, İzmit Kullar AAT çamur numuneleri’ndeki giderim verimlerinin diğer üç tesise oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. % AKM giderimleri bu tesis için % 19 ile % 26 arasında değişmekte ve en yüksek değer mikrodalga uygulaması ile elde edildiği gözlemlenmektedir. UAKM giderim verimlerinde de %AKM giderimlerine benzer şekilde mikrodalga uygulaması ile en yüksek verim elde edilmiştir (Şekil 9.54).

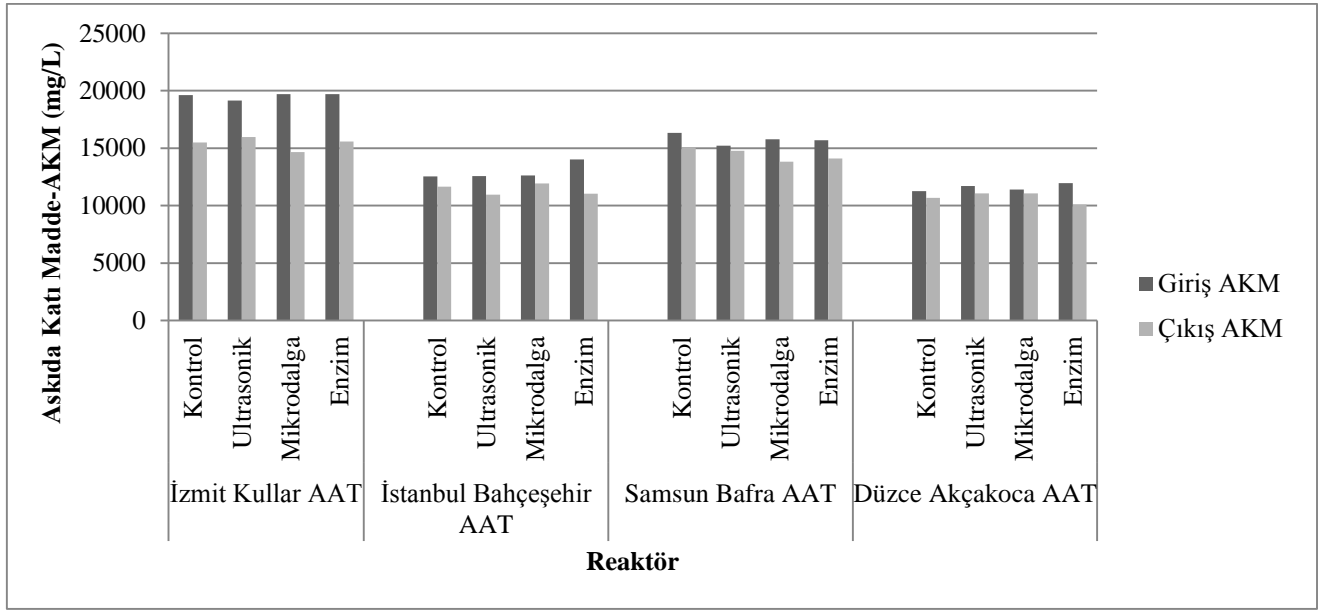
İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numuneleri için AKM parametresi dikkate alındığında, enzim uygulanmış reaktördeki verimin belirgin bir artış gösterdiği görülmüştür. Bu tesis için, özellikle kontrol reaktörüyle karşılaştırıldığında, enzim ön arıtımın çamur kütlesinin azaltılmasında oldukça olumlu bir etki gösterdiği söylenebilmektedir.

Samsun Bafra AAT çamur numuneleri, % AKM ve % UAKM giderimleri açısından incelendiğinde toplam çamur kütlesi gideriminde mikrodalga uygulaması ile daha yüksek verim elde edildiği görülürken, % UAKM gideriminde en yüksek değere (% 41) enzim ön arıtımıyla ulaşıldığı söylenebilmektedir.

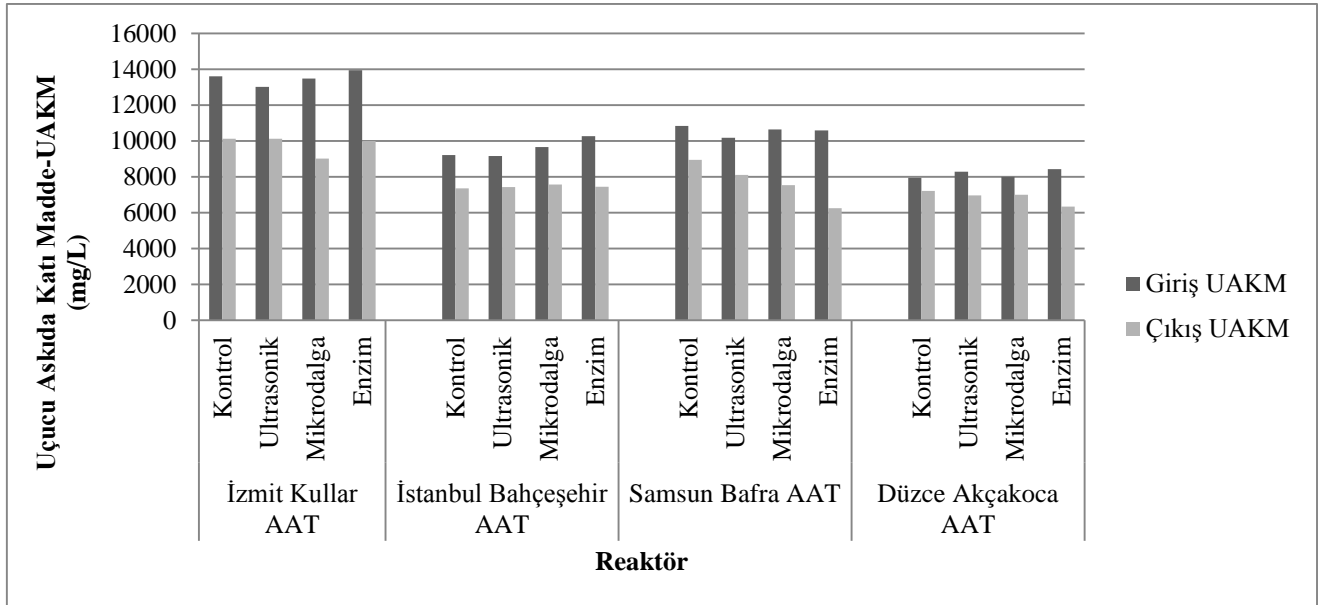
Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri, %AKM ve % UAKM giderimleri açısından İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numunelerine benzer niteliktedir. Bu tesis çamurları için, enzim ön arıtımı her iki parametre için sırasıyla % 16 ve % 25 ile en yüksek verimi sağlamıştır.

Tablo 9.17: Anaerobik reaktörlerde gözlenen AKM ve UAKM değişimleri

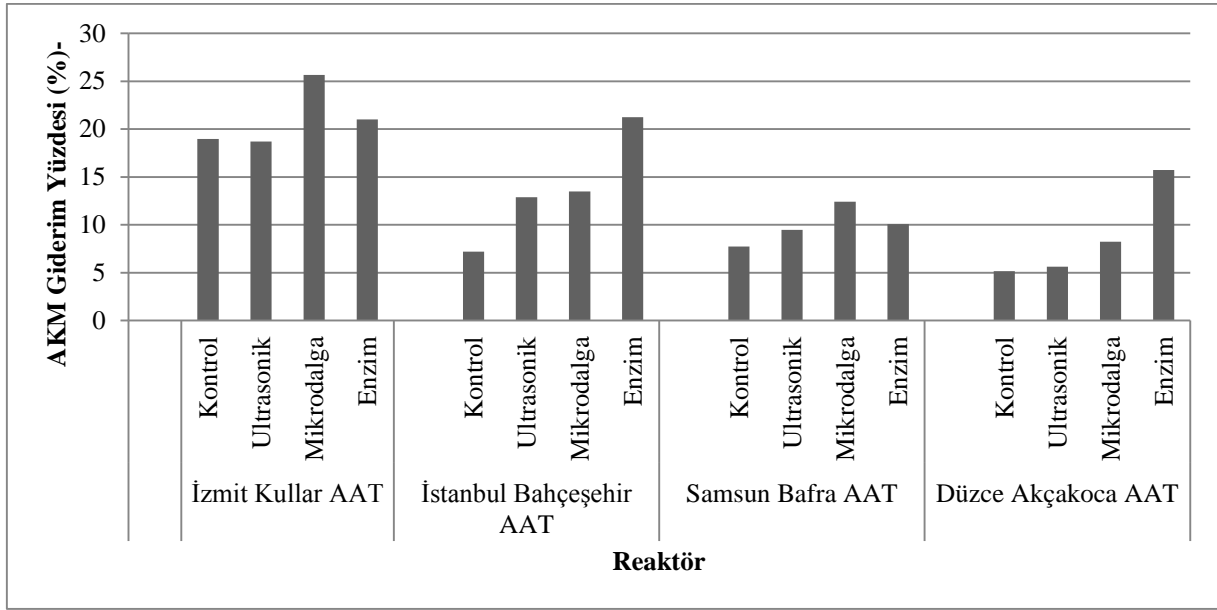
	Reaktör	Toplam-Uçucu Askıda Katı Madde-Giriş		Toplam-Uçucu Askıda Katı Madde-Çıkış		Giderim Yüzdesi	
		AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM Giderim Yüzdesi (%)	UAKM Giderim Yüzdesi (%)
İzmit Kullar AAT	Kontrol	19620	13600	15900	10120	19	26
	Ultrasonikasyon	19160	13020	15580	10120	19	22
	Mikrodalga	19720	13480	14660	9026	26	33
	Enzim	19720	13940	15580	10000	21	28
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	12540	9220	11640	7350	7	20
	Ultrasonikasyon	12580	9160	10960	7430	13	19
	Mikrodalga	12620	9660	10920	7575	13	22
	Enzim	14020	10260	11040	7455	21	27
Samsun Bafra AAT	Kontrol	16340	10840	15080	8950	8	17
	Ultrasonikasyon	15220	10180	13780	8106	9	20
	Mikrodalga	15780	10640	13820	7540	12	29
	Enzim	15680	10580	14100	6250	10	41
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	11260	7940	10680	7215	5	9
	Ultrasonikasyon	11720	8280	11060	6960	6	16
	Mikrodalga	11400	8000	10460	7000	8	13
	Enzim	11960	8420	10080	6340	16	25



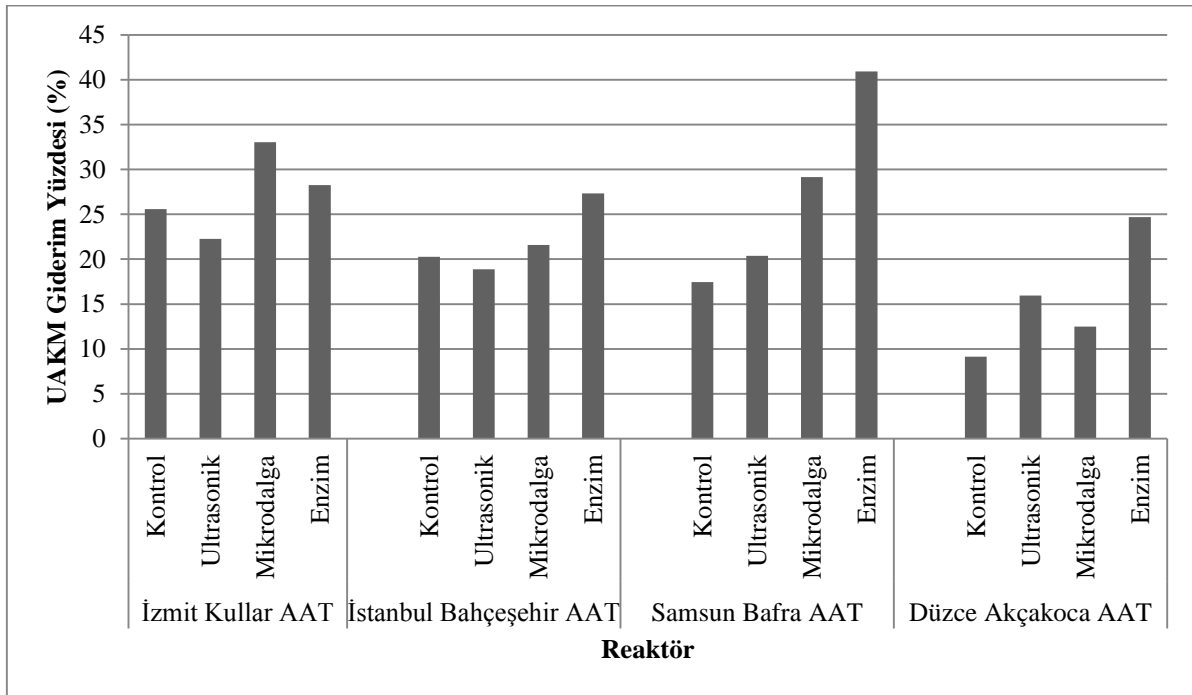
Şekil 9.51 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki AKM değişimleri



Şekil 9.52 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM değişimleri



Şekil 9.53 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki AKM giderim yüzdeleri



Şekil 9.54 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki UAKM giderim yüzdeleri

9.1.2.6.KOİ ve ÇKOİ Analiz Sonuçları

Anaerobik stabilizasyon öncesi ve sonrasında ölçülen KOİ ve ÇKOİ değerleri Tablo 9.18'de verilmektedir. Anaerobik reaktörlerdeki KOİ değişim ve yüzde giderimleri ve aynı şekilde analizlenen ÇKOİ değişim ve yüzde giderimleri sırası ile Şekil 9.55, Şekil 9.56, Şekil 9.57 ve Şekil 9.58'de gösterilmektedir.

Tablo ve grafikler incelendiğinde, İzmit Kullar AAT çamur örneklerinde, KOİ giderim verimi açısından mikrodalga ve enzim uygulamalarının, ultrasonikasyon uygulamasına göre giderimde daha yüksek bir etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir.

İstanbul Bahçeşehir AAT'den alınan arıtma çamurları için KOİ parametresi dikkate alındığında herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmamış kontrol reaktöründe, stabilizasyon süresi sonunda %32 oranında giderim verimi elde edilmiştir. Ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim dezentegrasyonu uygulanmış reaktörlerde ise sırası ile %34, %35 ve %44 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyon yöntemlerinin üçünün de çamurdaki KOİ'yi gidermede etkili olduğu söylenebilmektedir.

Şekil 9.56'de de gösterildiği gibi KOİ giderimleri Samsun Bafra AAT çamur numuneleri için de enzim ön arıtımıyla en yüksek değere ulaşmıştır. Bunu sırasıyla mikrodalga ve ultrasonikasyon uygulamaları takip etmiştir.

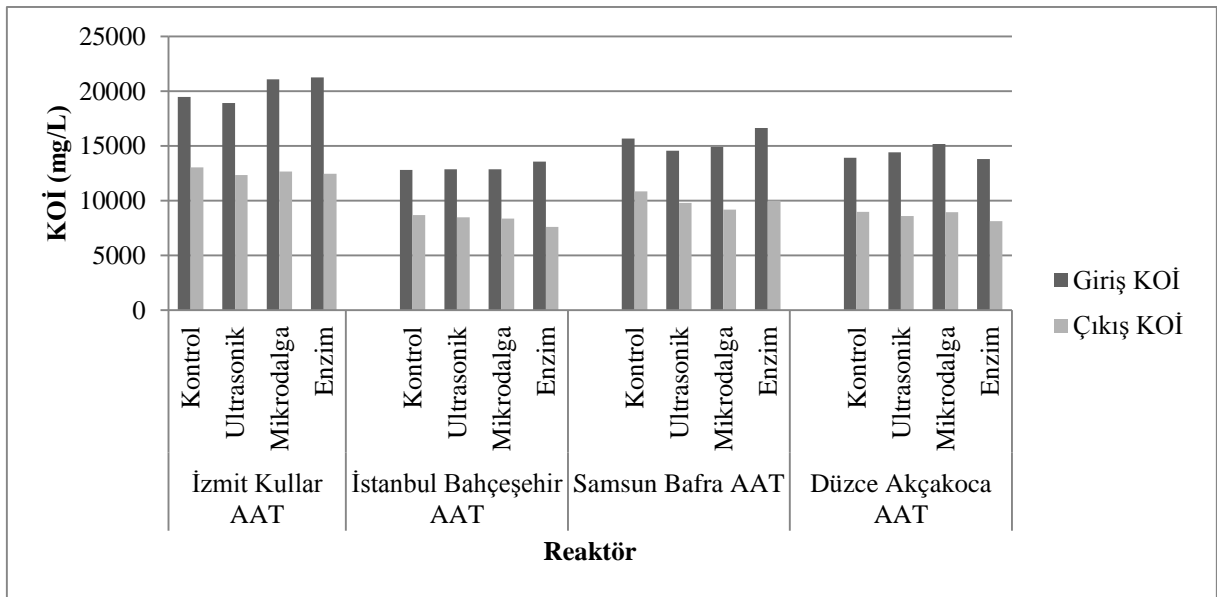
Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için KOİ giderim verimleri değerlendirildiğinde, uygulanan dezentegrasyon yöntemlerinin tümünün kontrol reaktörüne oranla daha yüksek verimler elde ettiği ancak dezentegrasyon yöntemleri arasında belli bir tanesi için belirgin bir farklılık görülmediği tespit edilmiştir.

Tablo 9.18 : Anaerobik reaktörlerde gözlenen KOİ ve ÇKOİ değişimleri

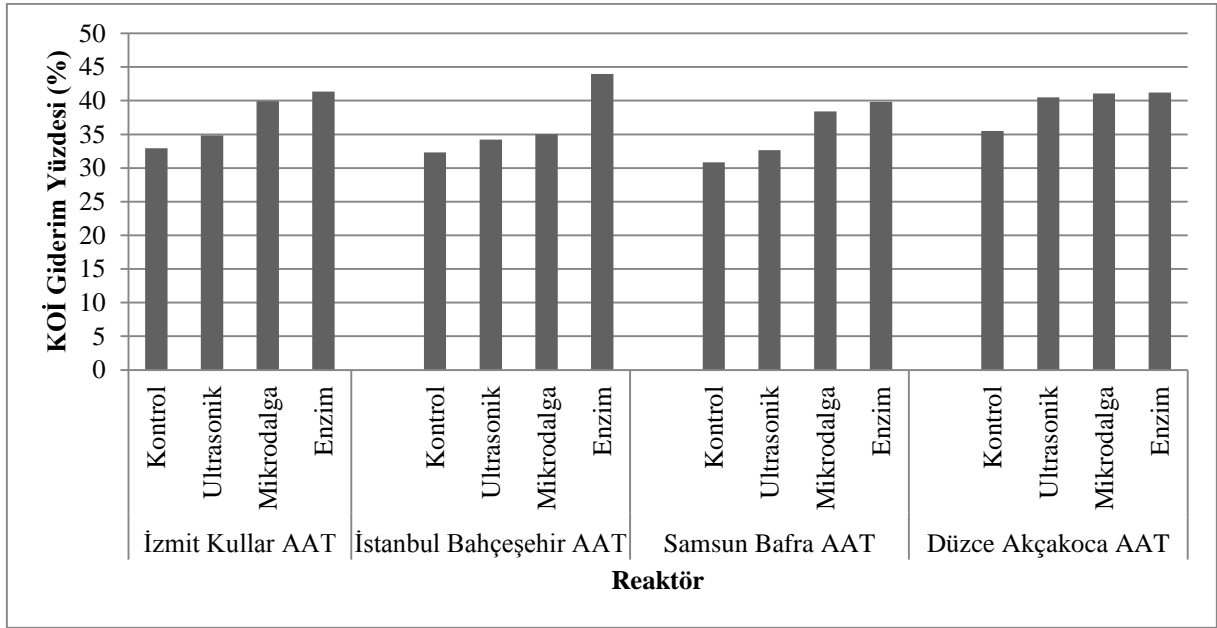
Reaktör	Kimyasal Oksijen İhtiyacı-giriş		Kimyasal Oksijen İhtiyacı-çıkış		Giderim Yüzdesi		
	KOİ (mg/L)	ÇKOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	ÇKOİ (mg/L)	KOİ Giderim Yüzdesi (%)	ÇKOİ Giderim Yüzdesi (%)	
İzmit Kullar AAT	Kontrol	19459	993	13046	781	33	21
	Ultrasonikasyon	18927	1167	12336	801	35	31
	Mikrodalga	21088	1328	12665	892	40	33
	Enzim	21260	3602	12464	961	41	73
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	12817	1005	8676	832	32	17
	Ultrasonikasyon	12873	1143	8471	868	34	24
	Mikrodalga	12868	1292	8359	897	35	31
	Enzim	13556	3702	7597	955	44	74

Tablo 9.18 (devam): Anaerobik reaktörlerde gözlenen KOİ ve ÇKOİ değişimleri

Reaktör		Kimyasal Oksijen İhtiyacı-giriş		Kimyasal Oksijen İhtiyacı-çıkış		Giderim Yüzdesi	
		KOİ (mg/L)	ÇKOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	ÇKOİ (mg/L)	KOİ Giderim Yüzdesi (%)	ÇKOİ Giderim Yüzdesi (%)
Samsun Bafra AAT	Kontrol	15663	894	10836	764	31	15
	Ultrasonikasyon	14550	1043	9803	767	33	26
	Mikrodalga	14923	1156	9191	798	38	31
	Enzim	16645	2981	10013	927	40	69
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	13929	1105	8986	772	35	30
	Ultrasonikasyon	14426	1278	8588	849	40	34
	Mikrodalga	15172	1305	8939	892	41	32
	Enzim	13805	3093	8119	923	41	70



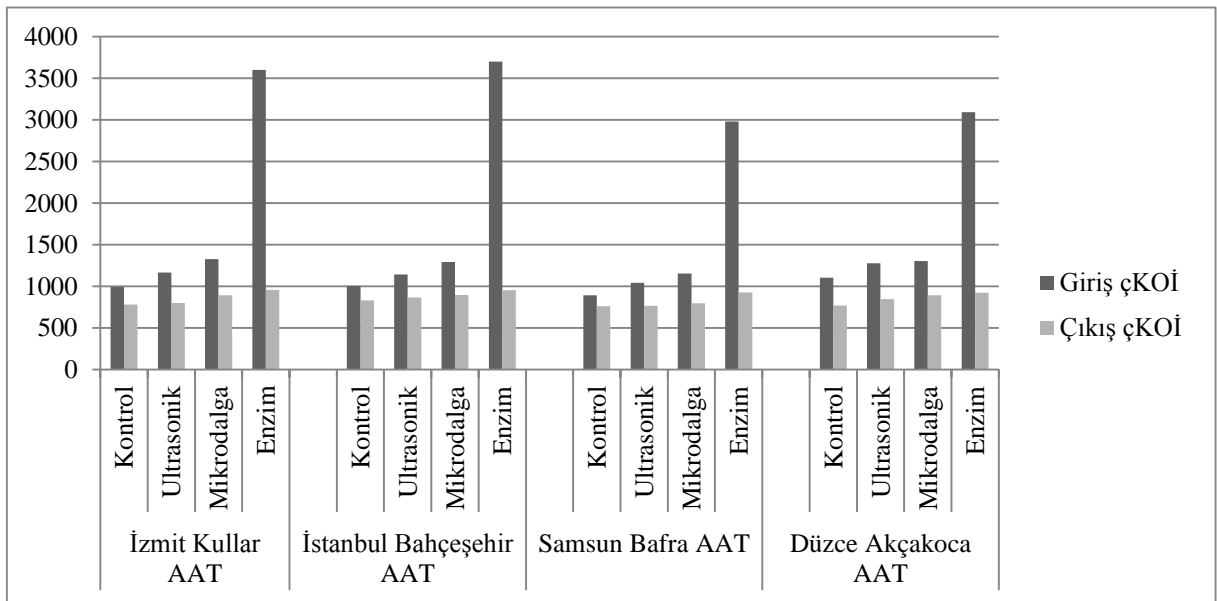
Şekil 9.55 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki KOİ değişimleri



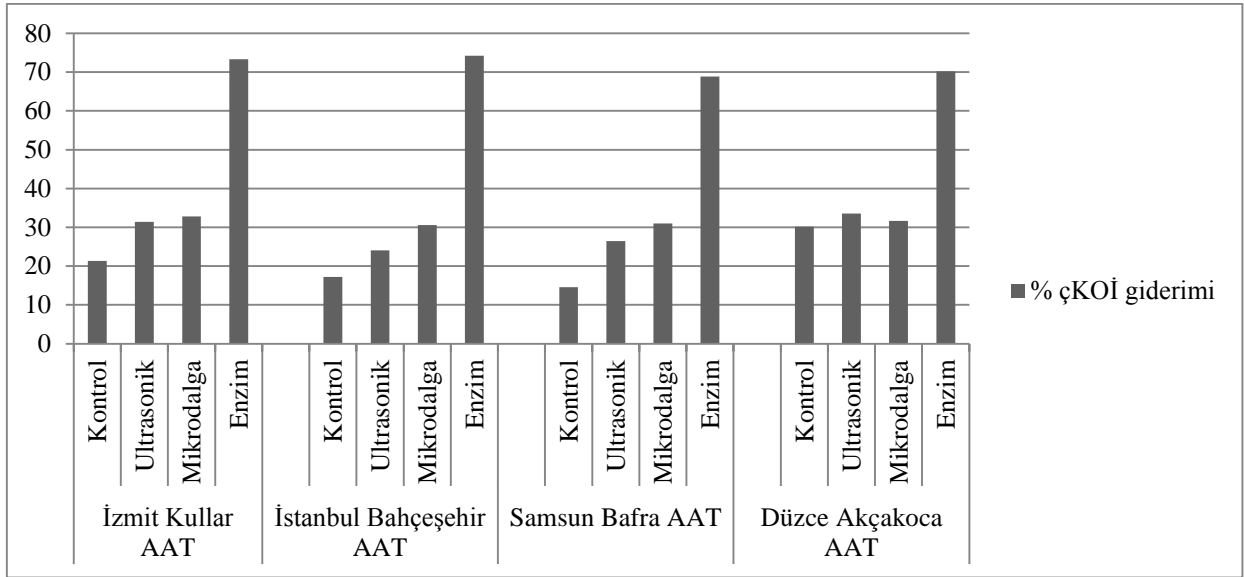
Şekil 9.56 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki KOİ giderim yüzdeleri

KOİ değerlerinin çözünebilir forma geçmesinde uygulanan dezntegrasyon metodlarından enzim ön arıtımının en etkili yöntem olduğu ve dolayısıyla en yüksek ÇKOİ giriş değerlerinin tüm tesisler için bu yöntemle elde edildiği Şekil 9.57'de görülmektedir.

Tüm reaktörlerde çıkış ÇKOİ verileri benzer değerlerdedir. Buna göre, enzim ön arıtımının, bu parametrenin gideriminde diğer tüm dezntegrasyon uygulamaları ve kontrol reaktörlerine kıyasla ÇKOİ giderim veriminde belirgin şekilde olumlu etkide bulunduğu söylenebilmektedir (Şekil 9.58).



Şekil 9.57 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki ÇKOİ değişimleri



Şekil 9.58 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki ÇKOİ giderim yüzdeleri

9.1.2.7.Çözünmüş Organik Karbon Analizi Sonuçları

Aerobik stabilizasyon çalışmalarında reaktörlerde gerçekleştirilen çözünmüş organik karbon analiz sonuçları Tablo 9.19'da gösterilmektedir.

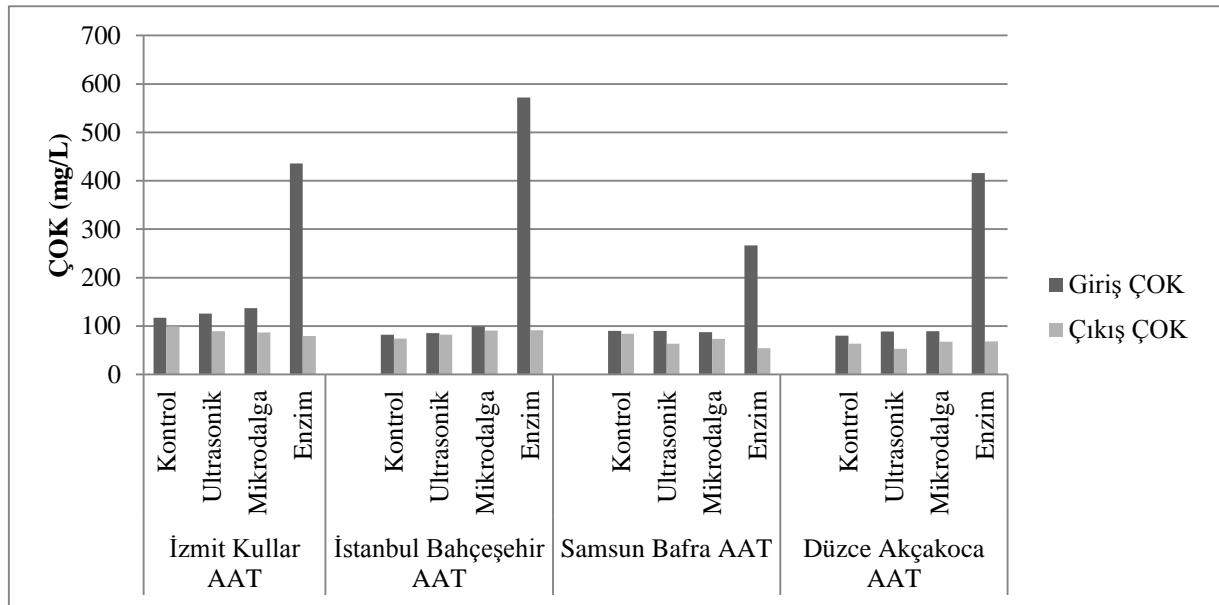
ÇOK giriş değerlerinin enzimatik stabilizasyon sonucu kontrol reaktörlerinin yaklaşık dört katına kadar çıktığı görülürken diğer stabilizasyon uygulamalarının stabilizasyon öncesi ÇOK değerinde belirgin bir artışa sebep olduğu tespit edilmemiştir. Buna göre Şekil 9.59'da görüldüğü gibi, tüm reaktörler için çıkış ÇOK değerleri azalmış olup en yüksek giderimler enzim reaktörlerinde görülmüştür.

Tablo 9.19 : Anaerobik reaktörlerde ölçülen ÇOK değişimleri

Reaktör		Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK)- Giriş (mg/L)	Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK)- Çıkış (mg/L)
İzmit Kullar AAT	Kontrol	116,8	99,2
	Ultrasonikasyon	125,5	89,3
	Mikrodalga	136,9	87,0
	Enzim	435,9	79,4
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	81,9	94,2
	Ultrasonikasyon	85,6	87,0
	Mikrodalga	99,1	90,7
	Enzim	572,3	91,6

Tablo 9.19 (devam): anaerobik reaktörlerde ölçülen ÇOK değişimleri

Reaktör		Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK)- Giriş (mg/L)	Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK)- Çıkış (mg/L)
Samsun Bafra AAT	Kontrol	90,2	84,3
	Ultrasonikasyon	90,3	63,8
	Mikrodalga	87,1	73,6
	Enzim	266,8	54,2
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	80,1	63,7
	Ultrasonikasyon	88,8	53,1
	Mikrodalga	89,2	67,3
	Enzim	415,8	68,4



Şekil 9.59 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki ÇOK değişimleri

9.1.2.8.Amonyak ve Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) Analiz Sonuçları

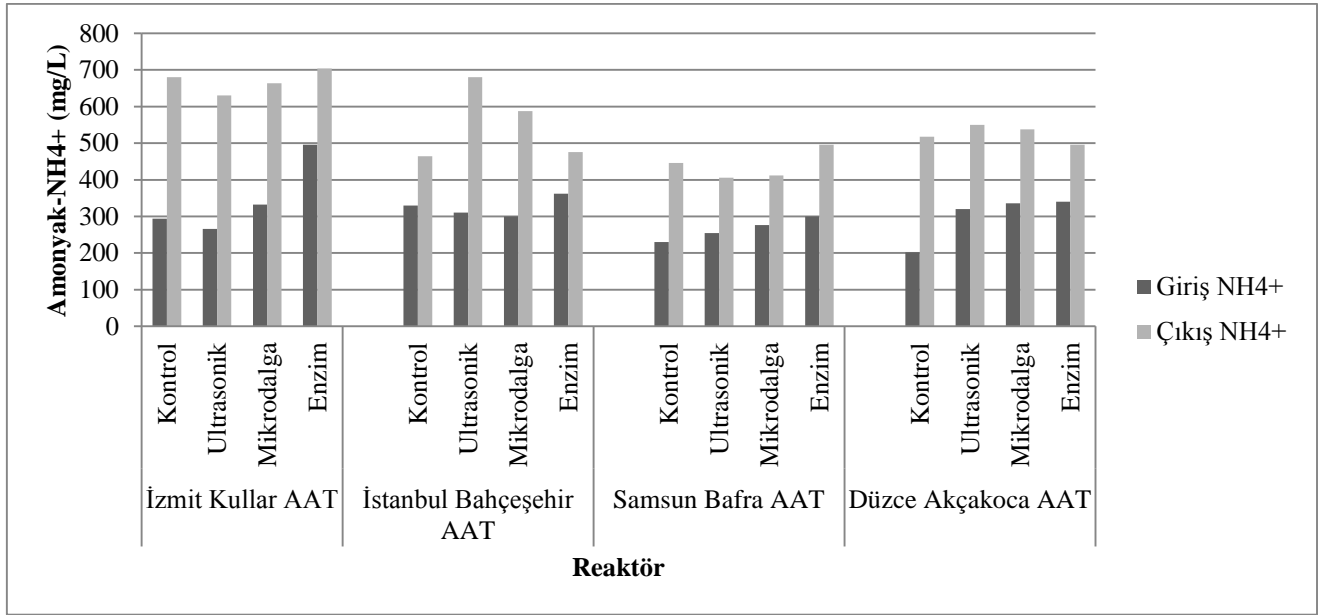
Anaerobik işletim giriş ve çıkışlarında ölçülen NH_4^+ ve TKN değerleri Tablo 9.20'de verilmiştir. İşletim süresi boyunca TKN değerinin azalmış, NH_4^+ değerinin ise anaerobik işletimin sonucu olan, asit üretimine paralel olarak, proteCn ve amino asitlerin ayrışmasından açığa çıkan NH_4^+ iyonu sonucu arttığı görülmüştür. Ancak sistemdeki amonyak konsantrasyonu herhangi bir inhibisyona sebep olacak konsantrasyonlarda ölçülmemiştir (Şekil 9.60).

Giriş TKN değerleri diğer tesislere kıyasla daha yüksek olan İzmit Kullar AAT çamur numunelerinde stabilizasyon sonrası ölçülen TKN değerleri de yüksek bulunmuş ancak giderimler karşılaştırıldığında tesisler bazında benzer oranlar elde edilmiştir.

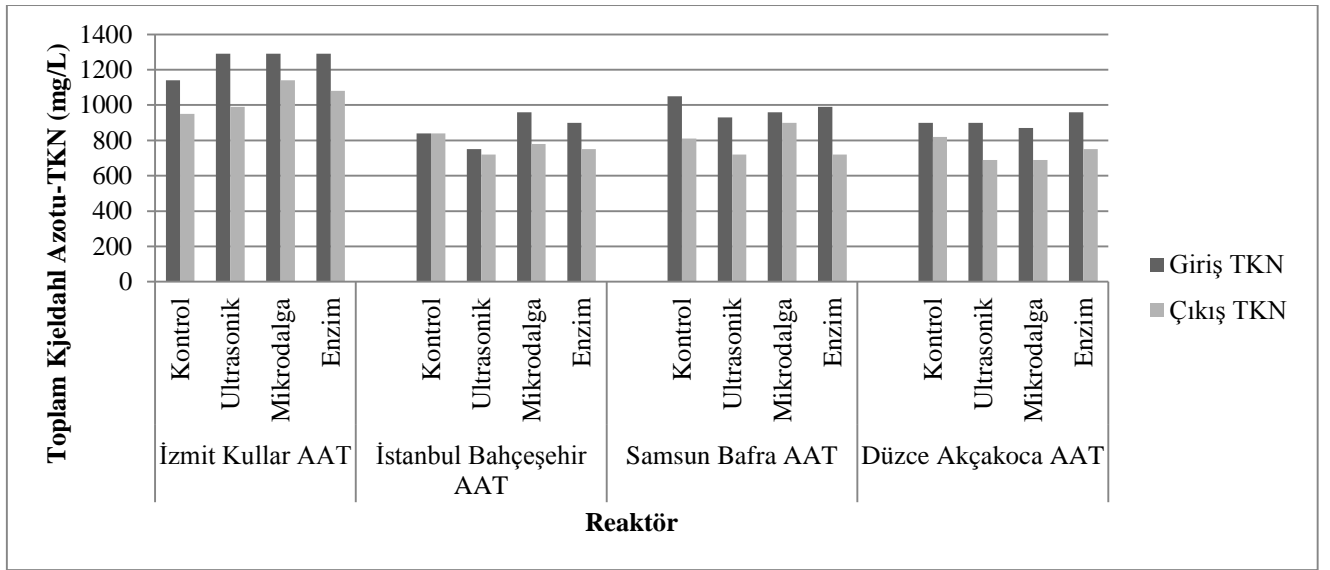
İzmit Kullar AAT ve Samsun Bafra AAT'den alınan çamur numunelerine uygulanan mikrodalga ön arıtımı ile kontrol reaktörlerine oranla daha düşük TKN giderimlerinin elde edildiği görülmüştür. Ancak İstanbul Bahçeşehir AAT çamurlarında aynı uygulamanın toplam azot gideriminde olumlu yönde bir etkisinin bulunduğu saptanmıştır. Buna göre bu parametrenin gideriminde, stabilizasyon öncesinde uygulanan ön arıttan kaynaklanan belirgin bir fark tespit edilememiştir (Şekil 9.61).

Tablo 9.20 : Anaerobik reaktörlerde gözlenen NH_4^+ ve TKN değişimleri

Reaktör	Amonyum Azotu (NH_4^+)		Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)		
	NH_4^+ (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	TKN (mg/L)	TKN (mg/L)	
	giriş	çıkış	giriş	çıkış	
İzmit Kullar AAT	Kontrol	294	680	1140	950
	Ultrasonikasyon	266	630	1290	990
	Mikrodalga	332	664	1290	1140
	Enzim	496	704	1290	1080
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	330	464	840	840
	Ultrasonikasyon	310	680	750	720
	Mikrodalga	300	588	960	780
	Enzim	362	476	900	750
Samsun Bafra AAT	Kontrol	230	446	1050	810
	Ultrasonikasyon	254	406	930	720
	Mikrodalga	276	412	960	900
	Enzim	300	496	990	720
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	202	518	900	820
	Ultrasonikasyon	320	550	900	690
	Mikrodalga	336	538	870	690
	Enzim	340	496	960	750



Şekil 9.60 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki NH_4^+ değişimleri



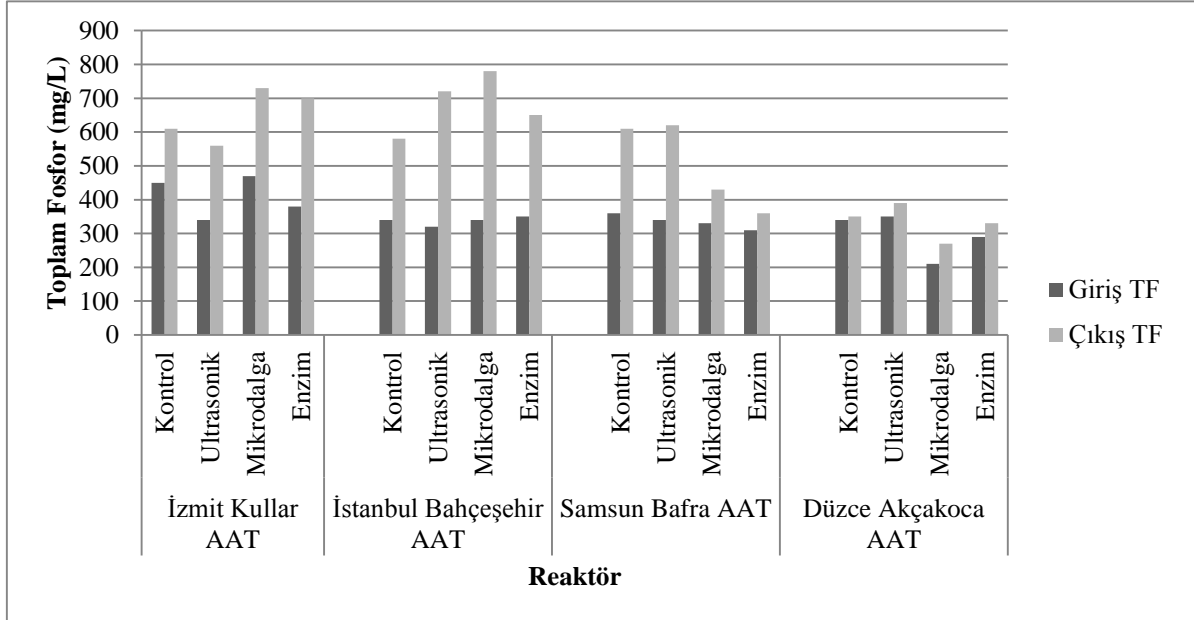
Şekil 9.61 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki TKN değişimleri

9.1.2.9. Toplam Fosfor- Orto Fosfat Analiz Sonuçları

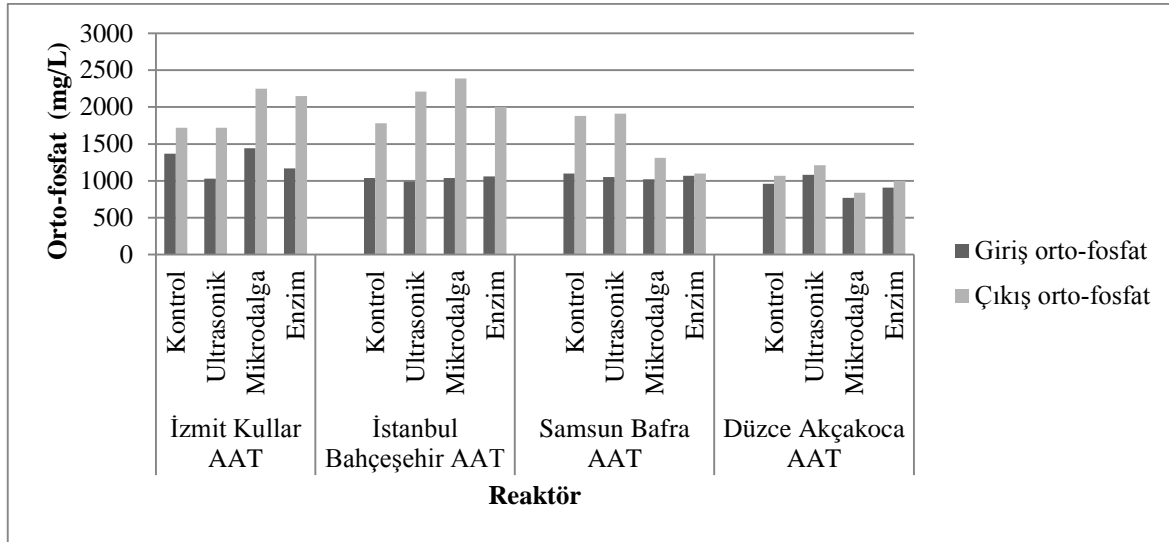
Reaktörlerdeki TP ve PO_4^{3-} değişimleri Tablo 9.21’de verilmiştir. Anaerobik stabilizasyon işlemi süresince, fosfat değerlerinin hidroliz prosesine bağlı olarak serbest kalması sonucu arttığı gözlenmiştir. Şekil 9.62’de, Düzce Akçakoca AAT çamur numunelerindeki artışın diğer tesislere göre daha az olduğu görülmekte, bu farkın atıksu niteliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 9.21 : Anaerobik reaktörlerde gözlenen TP ve PO₄³⁻ değişimleri

Reaktör	Toplam- Orto Fosfor giriş		Toplam- Orto Fosfat çıkış		
	TP (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	TP (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	
İzmit Kullar AAT	Kontrol	450	1370	610	1720
	Ultrasonikasyon	340	1030	560	1720
	Mikrodalga	470	1440	730	2250
	Enzim	380	1170	700	2150
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	340	1040	580	1780
	Ultrasonikasyon	320	990	720	2210
	Mikrodalga	340	1040	780	2390
	Enzim	350	1060	650	2000
Samsun Bafra AAT	Kontrol	360	1100	610	1880
	Ultrasonikasyon	340	1050	620	1910
	Mikrodalga	330	1020	430	1310
	Enzim	310	1070	360	1100
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	340	960	350	1070
	Ultrasonikasyon	350	1080	390	1210
	Mikrodalga	210	770	270	840
	Enzim	450	910	330	1000



Şekil 9.62 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki TP değişimleri

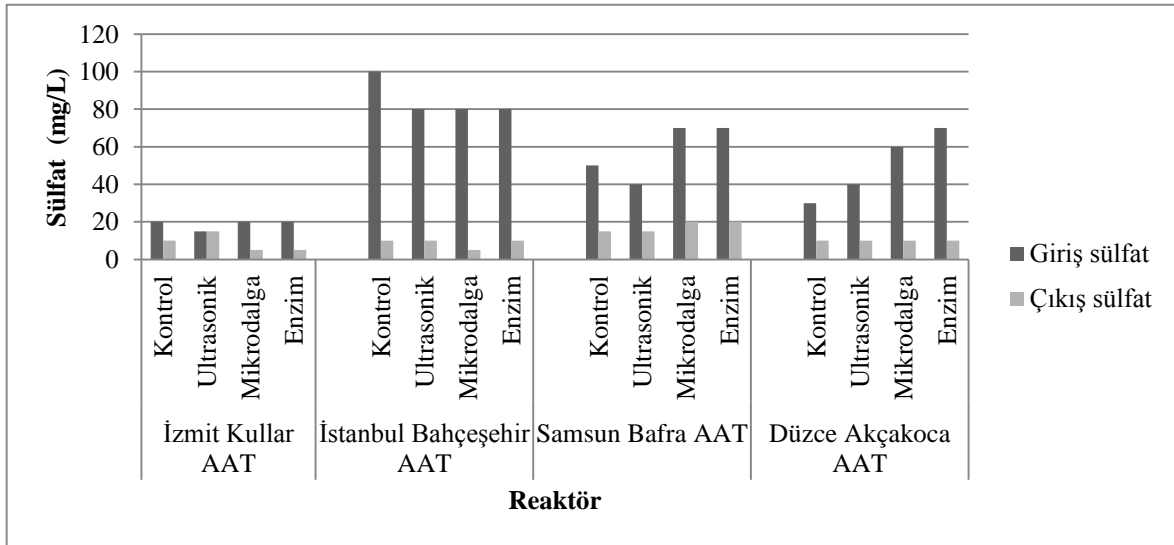


Şekil 9.63 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki PO_4^{3-} değişimleri

9.1.2.10.Sülfat Analiz Sonuçları

Reaktörlerdeki sülfat analiz sonuçları Tablo 9.22’de gösterilmektedir. Ölçülen sülfat giriş değerleri, İzmit Kullar AAT çamur numunelerinde, diğer tesislerle kıyaslandığında düşük değerlerdedir. Bu farkın, atıksu karakteristiğinden kaynaklandığı söylenebilmektedir. Ancak stabilizasyon sonrası ölçülen sülfat değerlerinin tüm tesislerde benzer değerlerde olduğu görülmüş ve tüm reaktörlerde giriş değerlerinin altında SO_4^{2-} çıkış değerleri ölçülmüştür.

Şekil 9.64’da da görüldüğü gibi, stabilizasyon öncesi sülfat değerlerinde herhangi bir dezentegrasyon uygulamasının belirgin bir fark yaratmadığı saptanmıştır.



Şekil 9.64 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki SO_4^{2-} değişimleri

Tablo 9.22 : Anaerobik reaktörlerde ölçülen SO₄²⁻ değişimleri

Reaktör		Sülfat (SO ₄ ²⁻) giriş (mg/L)	Sülfat (SO ₄ ²⁻) çıkış (mg/L)
İzmit	Kontrol	20	10
Kullar AAT	Ultrasonikasyon	15	5
	Mikrodalga	20	5
	Enzim	20	5
İstanbul	Kontrol	100	10
Bahçeşehir AAT	Ultrasonikasyon	80	10
	Mikrodalga	80	5
	Enzim	80	10
Samsun	Kontrol	50	15
Bafra AAT	Ultrasonikasyon	40	15
	Mikrodalga	70	20
	Enzim	70	20
Düzce	Kontrol	30	10
Akçakoca AAT	Ultrasonikasyon	40	10
	Mikrodalga	60	10
	Enzim	70	10

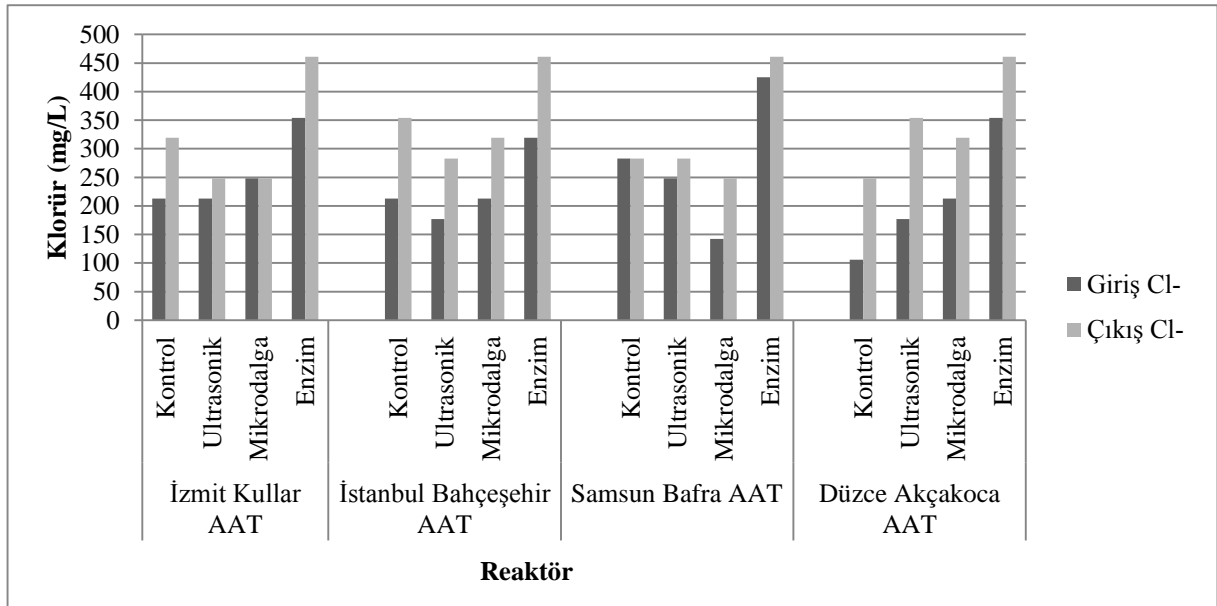
9.1.2.11.Klorür Analizi Sonuçları

Anaerobik giriş ve çıkış Cl⁻ değerleri Tablo 9.23’de verilmektedir. Enzim reaktörlerindeki giriş ve buna paralel olarak çıkış Cl⁻ değerlerinin kontrol ve diğer dezenteegrasyon metodlarına oranla yüksek olduğu gözlenmiştir.

Şekil 9.65 incelendiğinde, uygulanan enzim ön arıtımının tüm tesisler için stabilizasyon öncesi klorür konsantrasyonunu artırıcı bir etkisi olduğu görülebilmektedir. Dolayısıyla çıkış Cl⁻ değerlerinin de enzimatik stabilizasyon reaktörlerinde en yüksek değerlerde olduğu saptanmıştır.

Tablo 9.23 : Anaerobik reaktörlerde ölçülen Cl⁻ değişimleri

Reaktör		Klorür (Cl ⁻) giriş (mg/L)	Klorür (Cl ⁻) çıkış (mg/L)
İzmit Kullar AAT	Kontrol	213	319
	Ultrasonikasyon	213	248
	Mikrodalga	248	248
	Enzim	354	461
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	213	354
	Ultrasonikasyon	177	283
	Mikrodalga	213	319
	Enzim	319	461
Samsun Bafra AAT	Kontrol	283	283
	Ultrasonikasyon	248	283
	Mikrodalga	142	248
	Enzim	425	461
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	106	248
	Ultrasonikasyon	177	354
	Mikrodalga	213	319
	Enzim	354	461



Şekil 9.65 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki Cl⁻ değişimleri

9.1.2.12. Viskozite Analizi Sonuçları

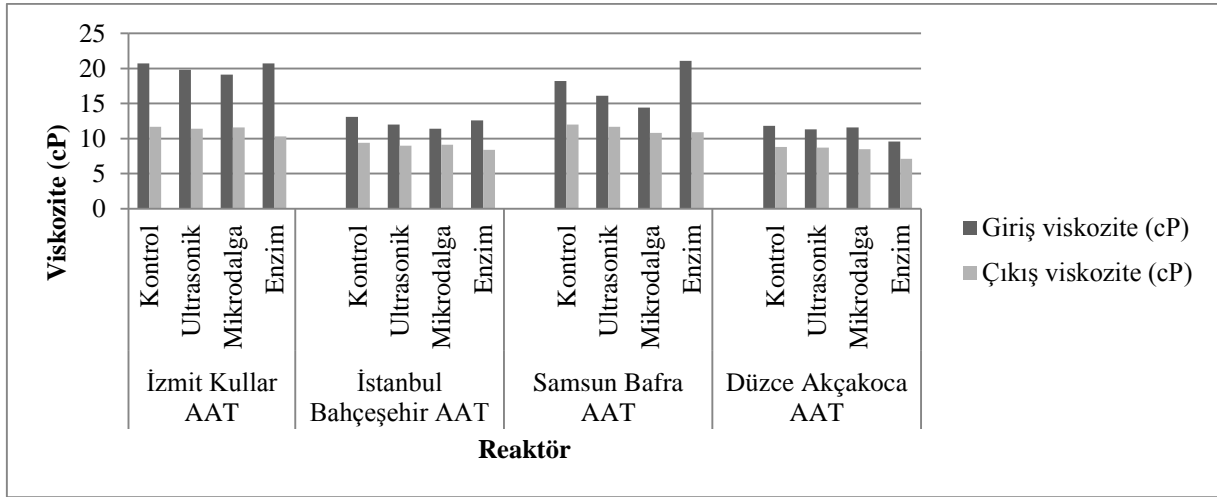
Tüm reaktörlerde anaerobik işletim öncesi ve sonrasına ölçülen viskozite değerleri Tablo 9.24'teki gibidir. İzmit Kullar AAT çamur numunelerindeki giriş viskozite değerlerinin diğer

tesislere oranla yüksek olduğu görülmüş ancak çıkış değerlerinin tüm tesisler için benzer olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 9.66'de de görüldüğü gibi, tüm reaktörler için, stabilizasyon ile azalmış olan katı madde miktarına paralel olarak viskozite değerleri düşmüş, çamurun akışkanlığını anaerobik stabilizasyon ile artmıştır. Bununla beraber, belli bir dezentegrasyon yönteminin viskozite üzerinde belirgin bir etki yaratmadığı görülmüştür.

Tablo 9.24 : Anaerobik reaktörlerde ölçülen viskozite değişimleri

	Reaktör	Viskozite giriş (cP)	Viskozite çıkış (cP)
İzmit Kullar AAT	Kontrol	21	12
	Ultrasonikasyon	20	11
	Mikrodalga	19	12
	Enzim	21	10
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	13	9
	Ultrasonikasyon	12	9
	Mikrodalga	11	9
	Enzim	13	8
Samsun Bafra AAT	Kontrol	18	12
	Ultrasonikasyon	16	12
	Mikrodalga	14	11
	Enzim	21	11
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	12	9
	Ultrasonikasyon	11	9
	Mikrodalga	12	9
	Enzim	10	7



Şekil 9.66 : Anaerobik Stabilizasyonda Çamurlardaki Viskozite Değişimleri

9.1.2.13.Uçucu Yağ Asitleri (VFA) Analizi

Anaerobik stabilizasyon öncesi ve sonrasında yapılan uçucu yağ asitlerine ilişkin analiz sonuçları Tablo 9.25'teki verilmektedir.

Ölçülen VFA değerlerine göre tüm tesisler için stabilizasyon öncesi asetik asit saptanmış ve tüm reaktörler için bu değerlerin stabilizasyon sonrası düştüğü görülmüştür. Bunun yanında, hemen hemen tüm reaktörlerde stabilizasyon öncesi propionik asit ölçülebilmiş, zaten düşük konsantrasyonlarda olan bu maddenin anaerobik stabilizasyon ile tamamen giderildiği görülmüştür.

Giriş VFA değerlerine bakılarak, enzim ön arıtımının dört tesis için de düşük konsantrasyonlarda asit oluşumuna yol açtığı ve oluşan bu asitlerin stabilizasyon ile giderildiği söylenebilmektedir.

Tablo 9.25 : Anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde izlenen toplam VFA değişimleri

Reaktör		Uçucu Yağ Asitleri													
		Asetik Asit		Propionik Asit		İsobütirik Asit		Bütirik Asit		İsovalerik Asit		Valerik Asit		İsokaproik Asit	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
İzmit Kullar AAT	Kontrol	0,4039	0,2532	0,1461	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ultrasonik	0,4061	0,1658	0,1466	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mikrodalga	0,4478	0,2083	0,3651	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Enzim	2,2728	0,2155	8,4992	-	0,2114	-	0,1190	-	0,4353	-	0,0832	-	0,013	-
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	0,3512	0,2083	0,0429	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ultrasonik	0,3904	0,3194	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mikrodalga	0,4025	0,2149	0,0297	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Enzim	5,6563	0,2283	5,7813	-	0,2965	-	0,2827	-	0,5703	-	0,1100	-	-	-
Samsun Bafra AAT	Kontrol	0,4280	0,3047	-	0,0128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ultrasonik	0,3968	0,3226	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mikrodalga	0,4415	0,1043	-	0,0221	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Enzim	2,4354	0,4197	3,3672	-	0,1757	-	0,0726	-	0,3438	-	0,0629	-	-	-
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	0,4469	0,2031	-	0,0239	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ultrasonik	0,2991	0,2670	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mikrodalga	0,4154	0,2361	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Enzim	3,5161	0,2794	4,6346	-	0,2397	-	0,2045	-	0,4459	-	0,0766	-	0,0409	-

9.1.2.14.Mikrobiyolojik Analizler

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarında patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler yapılmış olup, bu amaçla anaerobik reaktörlerde başlangıçta ve reaktör işletiminin son gününde alınan örneklerde toplam koliform, Fekal Koliform, Fekal Streptokok ve *Salmonella* parametreleri analiz edilmiştir. Reaktörlerde elde edilen mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 9.26’te verilmektedir. Kontrol reaktörleri de dahil olmak üzere anaerobik işletim prosesinde mikroorganizma miktarında belirgin bir azalma görülmüştür. Bu azalma stabilizasyonun en önemli göstergelerinden biridir.

İzmit Kullar AAT çamur numuneleri için Toplam Koliform parametresi incelendiğinde, sırasıyla kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim uygulamaları için 10^3 , 10^2 , 10^4 ve 10^3 koloni/100 mL mertebesinde giderim gözlenmektedir. Fekal Koliform parametresine bakıldığında, sırasıyla kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim uygulanmış numuneler için 10^3 , 10^2 , 10^4 , 10^4 koloni/100 mL giderim gözlenmiştir. Fekal Streptokok parametresinde ise tüm numunelerde 10^5 koloni/100 mL mertebesinden 10 koloni/100 mL altına düşüş gözlenmiştir. Aynı şekilde, *Salmonella* giderimleri de tüm numuneler için 10^4 , enzim uygulanmış numuneler için ise 10^5 koloni/100 mL mertebesinden 10 koloni/100 mL altına düşmüştür. İzmit Kullar AAT çamur numunelerinde uygulanan mikrobiyolojik analizler, stabilizasyonun başarıyla gerçekleştiğini göstermekle birlikte, en yüksek mikrobiyolojik giderimlerin mikrodalga ön-arıtımı uygulanmış çamur numunelerinde gerçekleştiğini de göstermiştir.

Toplam Koliform parametresi İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numuneleri için incelendiğinde, kontrol, mikrodalga ve enzim numunelerinde 10^2 koloni/100 mL kadar azalma gerçekleşmiş olup, ultrasonik numunelerinde ise bu giderim 10^3 koloni/100 mL mertebesine yükselmiştir. Fekal Koliform miktarındaki azalma kontrol reaktöründe 10^2 koloni/100 mL iken, dezintegrasyon uygulanmış tüm numunelerde stabilizasyon öncesi ile sonrası arasındaki fark 10^3 koloni/100 mL’ye yükselmiştir. Fekal Streptokok ve *Salmonella* değerleri tüm çamur numuneleri için 10 koloni/100 mL’nin altına düşmüştür. İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numunelerinde yapılan mikrobiyolojik giderimler değerlendirildiğinde, tüm numunelerde giderimlerin gerçekleştiği gözlenmekle birlikte, ultrasonik ön-arıtımın toplam koliform gideriminde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Samsun Bafra AAT çamur numunelerinin Toplam Koliform parametresine bakıldığında tüm numunelerde 10^4 koloni/100 mL azalma gerçekleştiği görülmektedir. Fekal Koliform

miktarındaki azalmalar ise sırasıyla kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim çamur numuneleri için 10^4 , 10^4 , 10^3 ve 10^5 koloni/100 mL olarak belirlenmiştir. Fekal Streptokok ve Salmonella parametrelerinde, tüm çamur numunelerinde 10 koloni/100 mL altına düşüş gerçekleşmiştir. Mikrobiyolojik giderim sonuçları incelendiğinde, Fekal Koliform giderimi açısından en etkili yöntemin enzim ön-arıtımı olduğu belirlenmiştir.

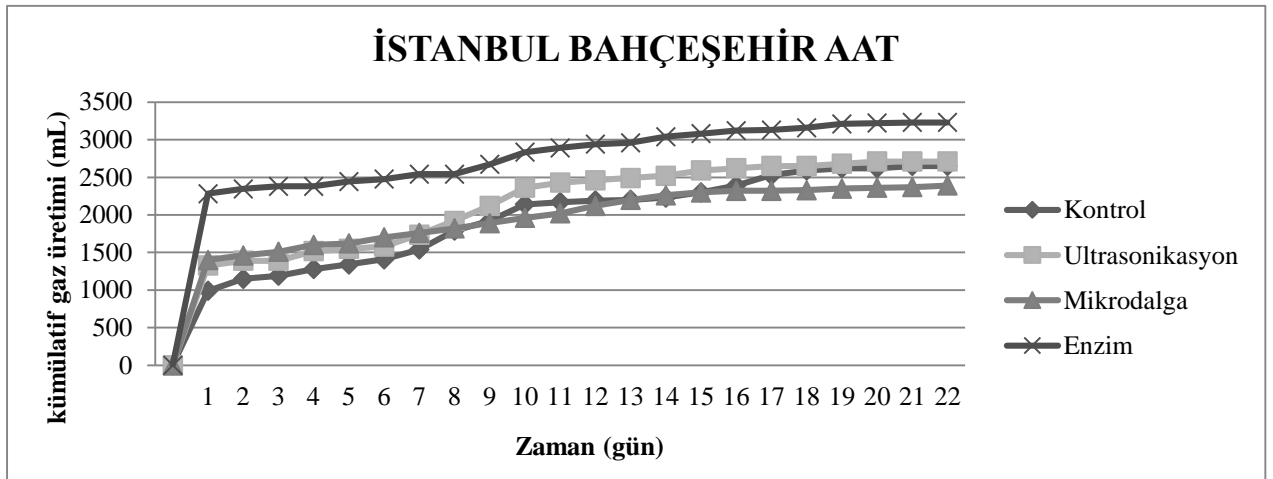
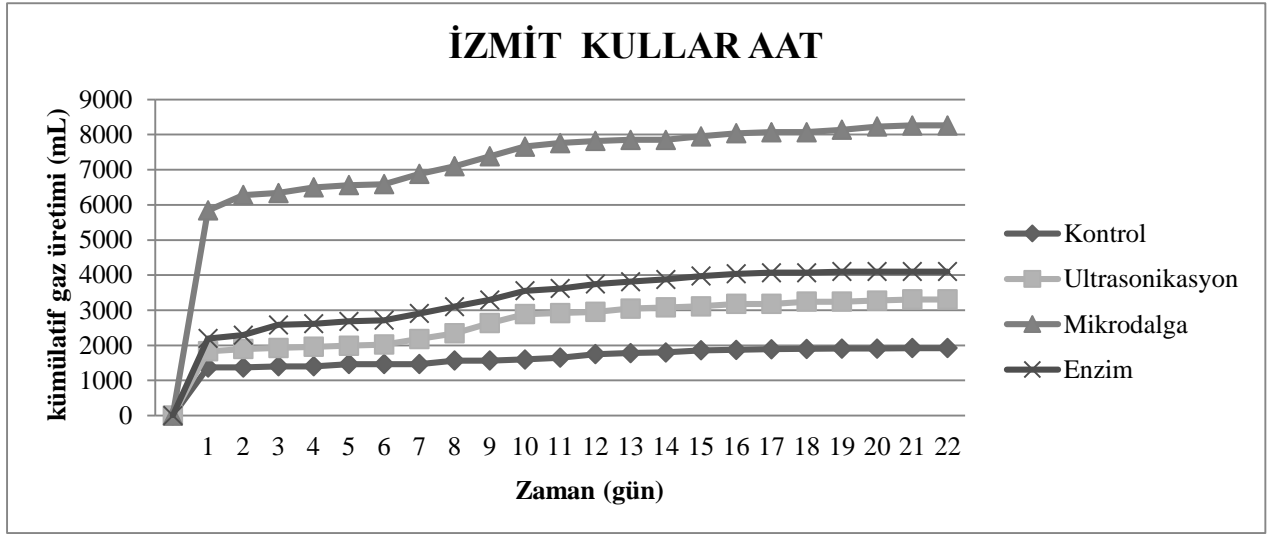
Düzce Akçakoca AAT çamur numuneleri için Toplam Koliform miktarındaki azalmalar kontrol, ultrasonik, mikrodalga ve enzim için sırasıyla 10^4 , 10^3 , 10^4 , ve 10^3 koloni/100 mL olarak gerçekleşmiştir. Fekal Koliform miktarında giderim miktarları tüm çamur numunelerinde 10^4 koloni/100 mL olarak belirlenmiştir. Fekal Streptokok ve Salmonella parametreleri, diğer tüm tesislerden alınan çamur numunelerinde olduğu gibi, 10 koloni/100mL'nin altına düşmüştür. Düzce Akçakoca AAT için Toplam Koliform gideriminde en etkili yöntem mikrodalga olarak belirlenmiştir.

Tablo 9.26: Anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde elde edilen mikrobiyolojik analiz sonuçları

Reaktör		Toplam Mikroorganizma Giriş				Toplam Mikroorganizma Çıkış			
		Toplam Koliform [kob/100mL]	Fekal Koliform [kob/100mL]	Fekal Streptokok [kob/100mL]	Salmonella [kob/100mL]	Toplam Koliform [kob/100mL]	Fekal Koliform [kob/100mL]	Fekal Streptokok [kob/100mL]	Salmonella [kob/100mL]
İzmit Kullar AAT	Kontrol	1,1x10 ⁷	4,9x10 ⁶	1,3x10 ⁵	1,8x10 ⁴	5,4x10 ⁴	2x10 ³	≤10	≤10
	Ultrasonik	1,5x10 ⁷	2,9x10 ⁶	2,1x10 ⁵	2,1x10 ⁴	1x10 ⁵	3x10 ⁴	≤10	≤10
	Mikrodalga	1x10 ⁷	5,3x10 ⁶	4,2x10 ⁵	4,2x10 ⁴	1,6x10 ³	3,2x10 ²	≤10	≤10
	Enzim	1,8x10 ⁷	7x10 ⁶	2,7x10 ⁵	1x10 ⁵	1x10 ⁴	1x10 ²	≤10	≤10
İstanbul Bahçeşehir AAT	Kontrol	4,8x10 ⁶	4,7x10 ⁵	1,7x10 ⁵	1,9x10 ⁴	3x10 ⁴	1,1x10 ³	≤10	≤10
	Ultrasonik	7,3x10 ⁶	8x10 ⁵	1x10 ⁵	1,1x10 ⁴	1x10 ³	1x10 ²	≤10	≤10
	Mikrodalga	5,5x10 ⁶	7x10 ⁵	1x10 ⁵	3,1x10 ⁴	3x10 ⁴	1,3x10 ²	≤10	≤10
	Enzim	5,8x10 ⁷	4,6x10 ⁶	9x10 ⁵	1x10 ⁵	8x10 ⁴	3x10 ³	≤10	≤10
Samsun Bafra AAT	Kontrol	5,3x10 ⁷	4,2x10 ⁶	3,2x10 ⁵	3x10 ⁴	5,5x10 ³	1x10 ²	≤10	≤10
	Ultrasonik	4,7x10 ⁷	2,9x10 ⁶	7,3x10 ⁵	7,3x10 ⁵	9x10 ³	1x10 ²	≤10	≤10
	Mikrodalga	3,6x10 ⁷	6,9x10 ⁶	1,1x10 ⁶	1,7x10 ⁵	3,1x10 ⁵	7x10 ³	≤10	≤10
	Enzim	1,3x10 ⁸	5,5x10 ⁷	8x10 ⁶	9x10 ⁵	3x10 ⁴	1x10 ²	≤10	≤10
Düzce Akçakoca AAT	Kontrol	6,3x10 ⁷	3,8x10 ⁶	7,1x10 ⁶	4,4x10 ⁵	1x10 ³	1,4x10 ²	≤10	≤10
	Ultrasonik	7,7x10 ⁷	4,1x10 ⁶	3,7x10 ⁵	1x10 ⁴	7x10 ⁴	2,3x10 ²	≤10	≤10
	Mikrodalga	6,1x10 ⁷	3,9x10 ⁶	2,9x10 ⁶	2,5x10 ⁵	8x10 ³	1x10 ²	≤10	≤10
	Enzim	1,5x10 ⁸	7,3x10 ⁷	1,1x10 ⁷	8x10 ⁶	1,7x10 ⁵	5x10 ³	≤10	≤10

9.1.2.15.Biyogaz Analizi Sonuçları

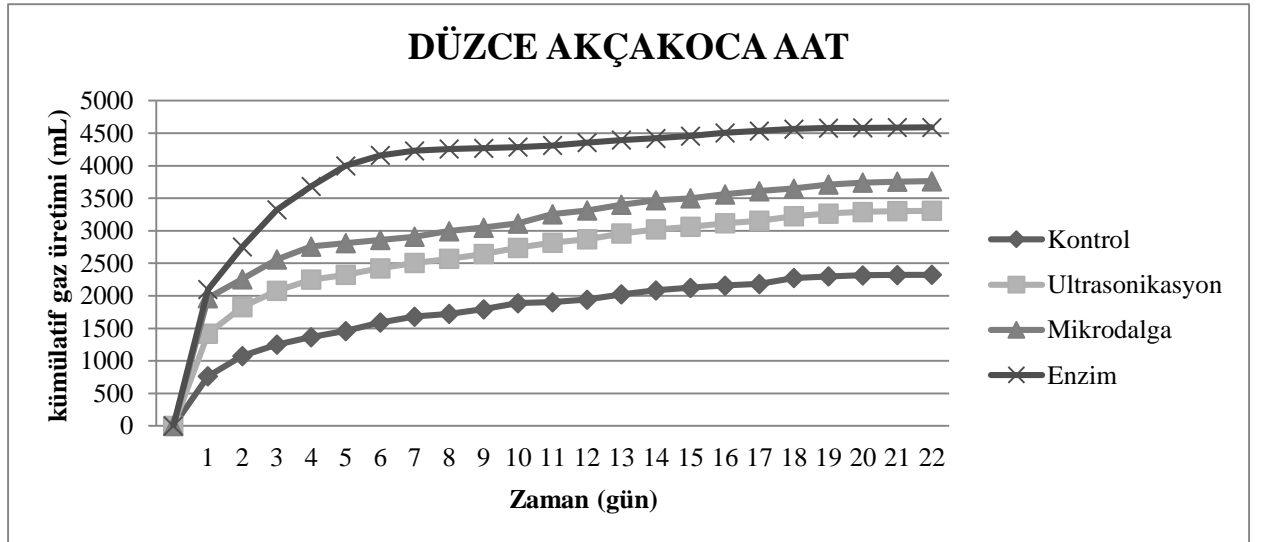
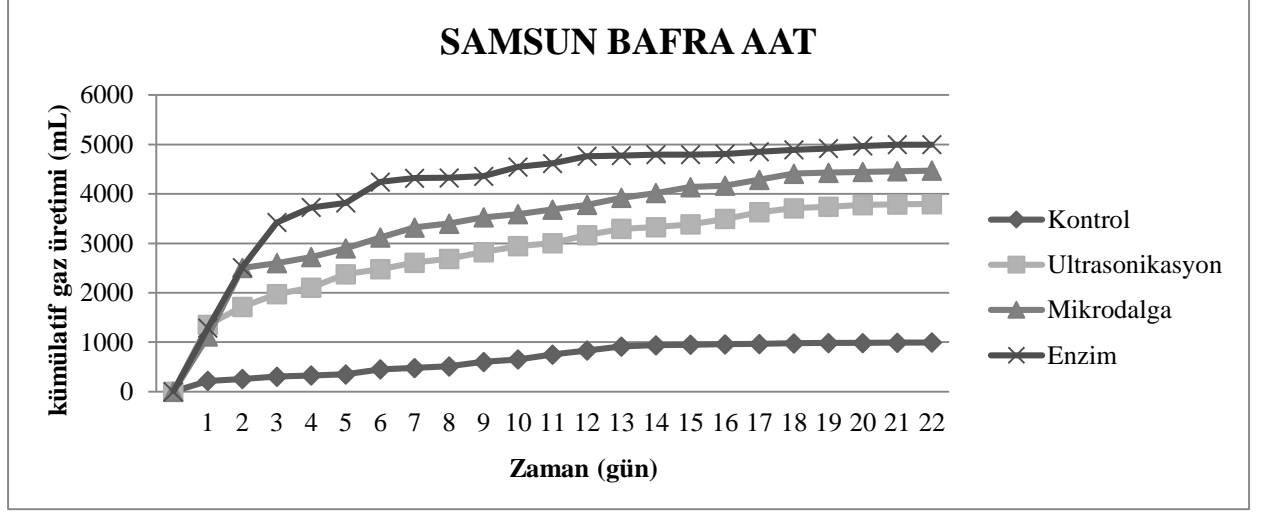
Arıtma çamurlarına mikrodalga, ultrasonikasyon, enzim ilavesi gibi işlemleri uygulamanın temel amaçlarından birisi anaerobik stabilizasyonda üretilecek metan miktarının arttırılmasıdır. Bu nedenle metan üretimi anaerobik stabilizasyon çalışmalarındaki en önemli parametredir. Laboratuvar ölçekli anaerobik stabilizasyon çalışması süresince biyogaz miktarı günlük olarak izlenmiştir. Reaktörlerdeki ölçülmüş olan kümülatif biyogaz değerleri Şekil 9.67 ve Şekil 9.68’de gösterilmektedir.



Şekil 9.67 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki kümülatif gaz çıkışları (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi, biyogaz çıkışlarının 20. gün itibari ile yavaşladığı görülmüş ve stabilizasyon süresinin tamamlandığına karar verilmiştir. Dezentegrasyon tekniklerinin biyogaz üretiminde artışa etkileri olduğu görülmüş ve İzmit Kullar AAT

dışındaki üç tesis numuneleri için de en etkili yöntemin enzim ilavesi olduğu gözlenmiştir. İzmit Kullar AAT'den alınan arıtma çamurunda ise en yüksek biyogaz üretimine mikrodalga ön arıtımı ile ulaşılmıştır.



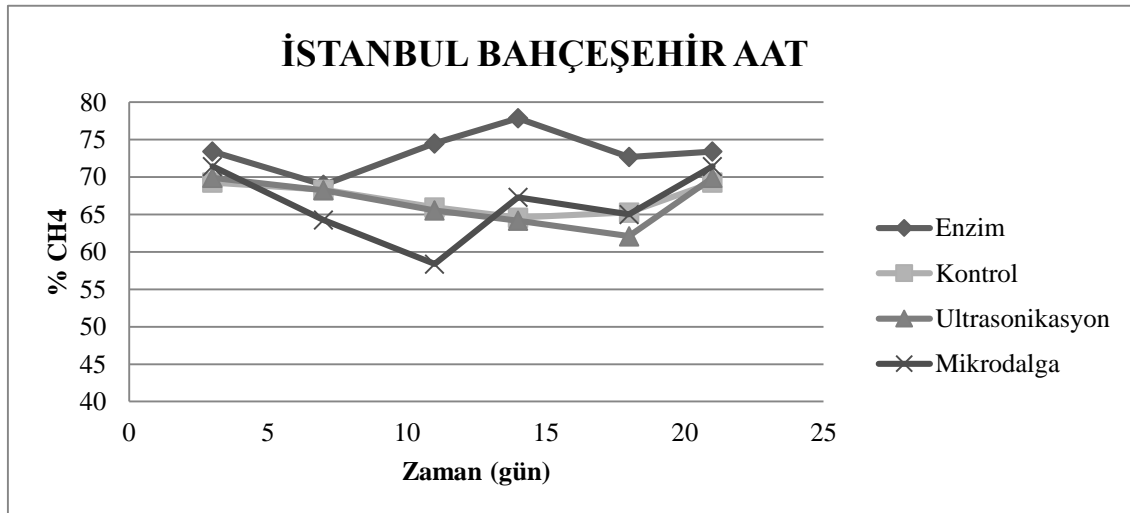
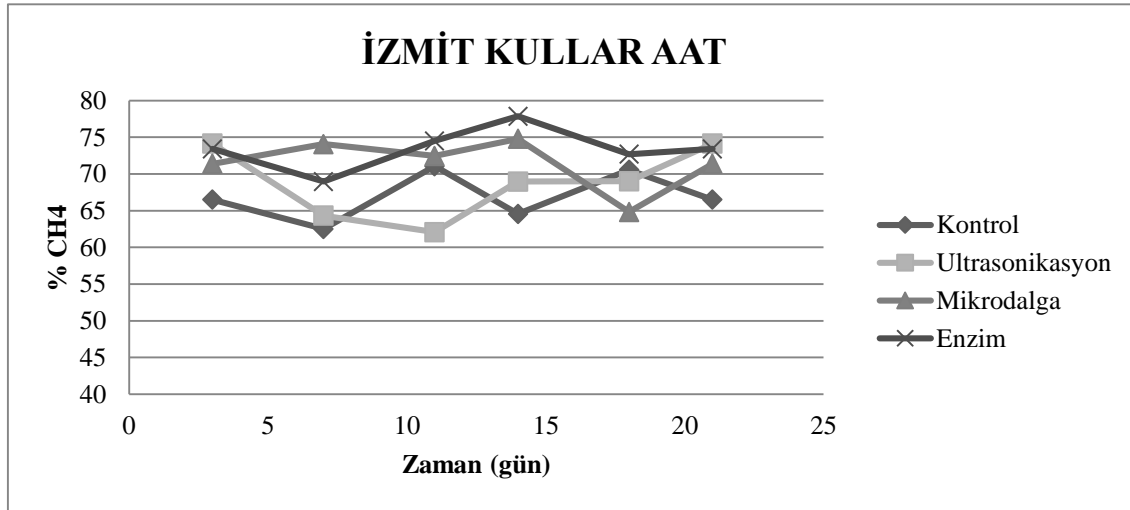
Şekil 9.68 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki kümülatif gaz çıkışları (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)

Reaktörlerde ayrıca gaz kompozisyonu da haftada iki defa ölçülerek belirlenmiştir. Metan üretimi, biyogaz miktarı ile yüzde metan içeriğinin çarpımıyla elde edilmiştir. Çalışma süresince reaktörlerdeki metan yüzdesi %60-70 arasında değişmiştir. Şekil 9.69 ve Şekil 9.70'de stabilizasyon boyunca yapılan gaz kompozisyonu analizi değerleri verilmiştir.

Anaerobik stabilizasyonda reaktörlerdeki metan üretimi m^3 biyogaz/g TUKM_{giderilen} (Şekil 9.71), $m^3CH_4/gTUKM_{giderilen}$ (Şekil 9.72) ve $m^3 CH_4/g KOİ_{giderilen}$ (Şekil 9.73) olarak gösterilmiştir.

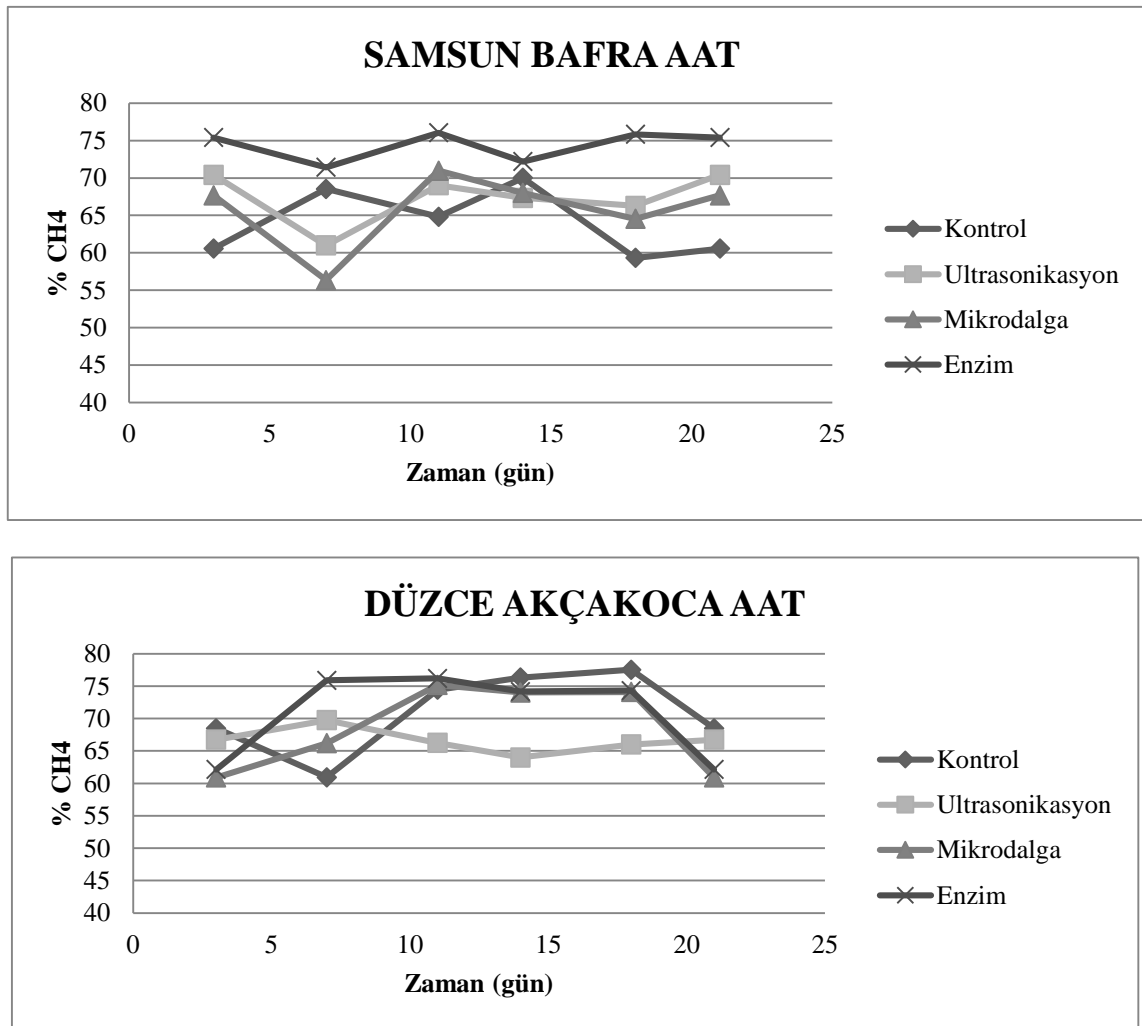
Şekil 9.71’de, biyogaz verimleri m^3 biyogaz/g $TUKM_{giderilen}$ cinsinden ifade edilmiştir. Ölçülen toplam biyogaz, organik madde giderimiyle ilişkilendirilerek gaz ölçümlerinde daha sağlıklı karşılaştırma yapılabilmesi amaçlanmıştır. Buna göre, İzmit Kullar AAT ve Düzce Akçakoca AAT çamur numunelerine uygulanan dezntegrasyonlardan mikrodalga ön arıtımının en yüksek verimi sağladığı görülmüştür.

TUKM giderimi kontrol reaktörüne göre yüksek değerlerde olan İstanbul Bahçeşehir AAT enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga uygulamalarında ise gaz üretimi aynı paralellikte olmadığından, giderilen TUKM başına üretilen biyogaz veriminin kontrol reaktörüne göre daha düşük olduğu görülmektedir.

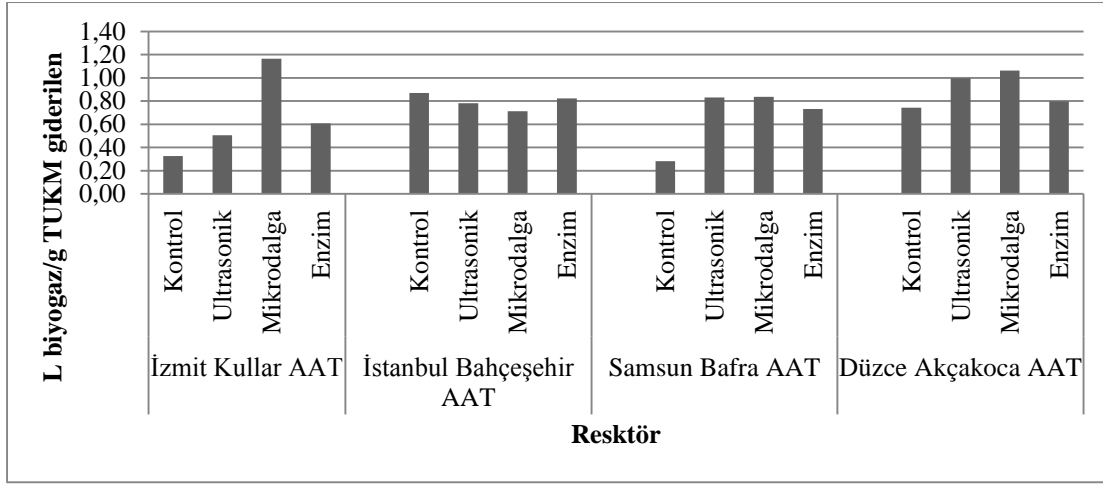


Şekil 9.69: Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki CH_4 yüzdeleri (İzmit Kullar-İstanbul Bahçeşehir ATT)

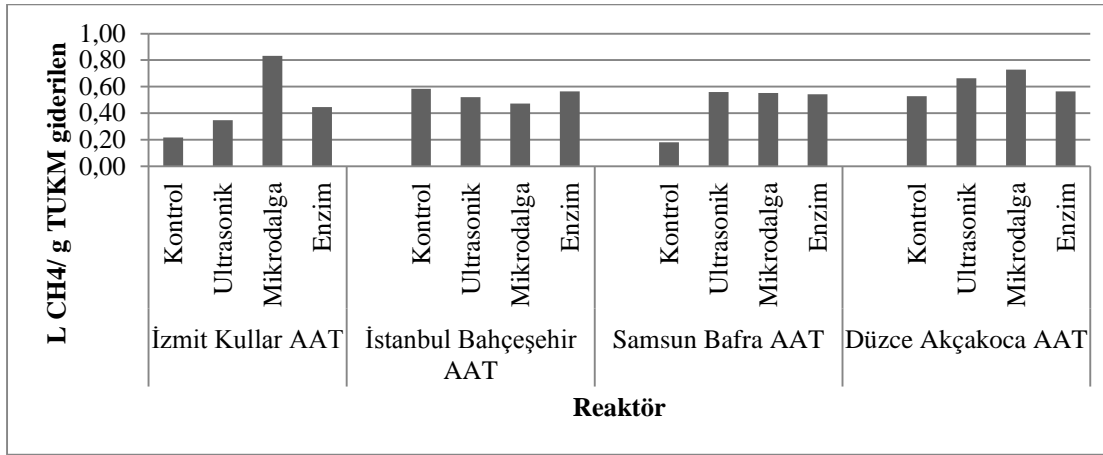
Yapılan gaz analizi sonuçlarına göre CH₄ gazı oranları, uygulanan dezentegrasyondan bağımsız olarak, tüm tesislerde % 60 ile % 70 arasında değişim göstermiş ve bu nedenle Şekil 9.72’de verilen metan verimleri, Şekil 9.71’deki giderilen TUKM’ye karşılık üretilen biyogaz ile benzerlik göstermektedir. Şekil 9.72, anaerobik stabilizasyon süresince üretilen metan gazının giderilen KOİ cinsinden verimini göstermektedir. Buna göre İstanbul Bahçeşehir AAT dışındaki tüm tesislerde uygulanan dezentegrasyon işlemlerinin metan gazının KOİ giderimi cinsinden veriminde olumlu bir etki gösterdiği saptanmıştır.



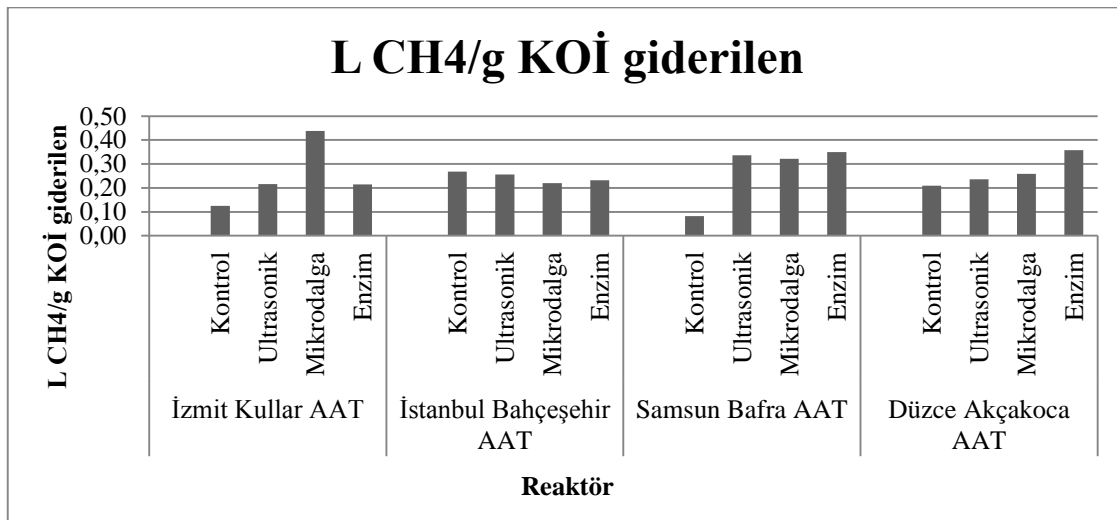
Şekil 9.70 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki CH₄ yüzdeleri (Samsun Bafra-Düzce Akçakoca ATT)



Şekil 9.71 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki giderilen TUKM cinsinden gaz verimleri



Şekil 9.72 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki giderilen TUKM cinsinden CH₄ verimleri

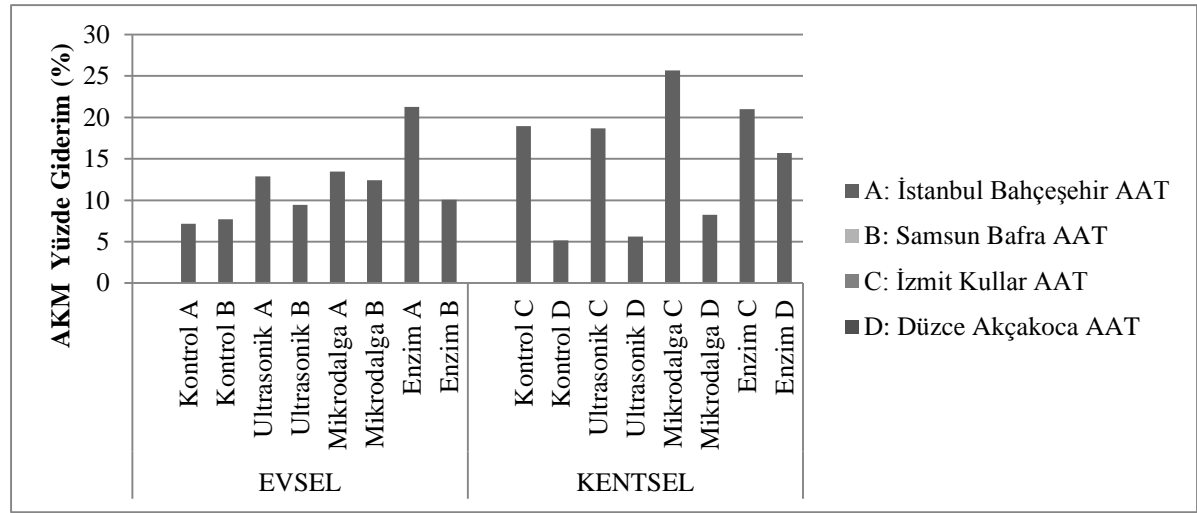


Şekil 9.73 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki giderilen KOİ cinsinden CH₄ verimleri

9.1.2.16. Anaerobik Stabilizasyon Uygulamalarının Atıksu Niteliği Açısından Değerlendirmesi

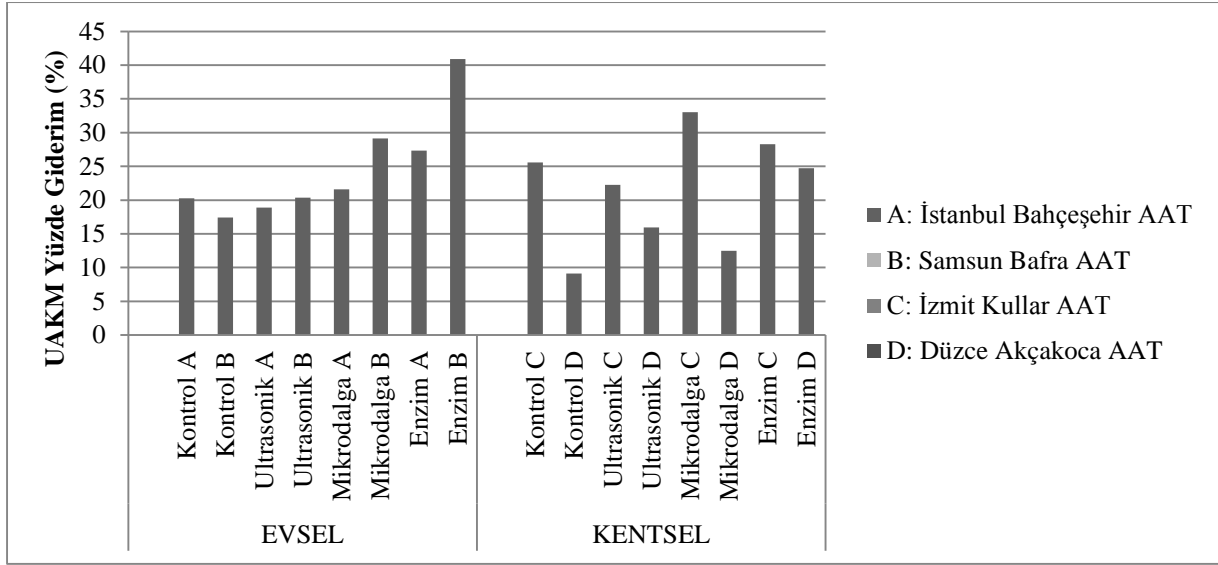
Evsel ve kentsel tesislerden alınan atıksu artıma çamuru numunelerine uygulanan anaerobik stabilizasyon sonucu elde edilen veriler Şekil 9.74'te gösterilmektedir.

Buna göre tesisler AKM giderimleri açısından incelendiğinde atıksu niteliğinden çok bölgesel olarak farklılık göze çarpmaktadır (Şekil 9.74). Marmara Bölgesi'ne ait İzmit Kullar ve İstanbul Bahçeşehir AAT çamur numunelerinde AKM giderimlerinin aynı nitelikli Karadeniz Bölgesi tesislerinden alınan numunelerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



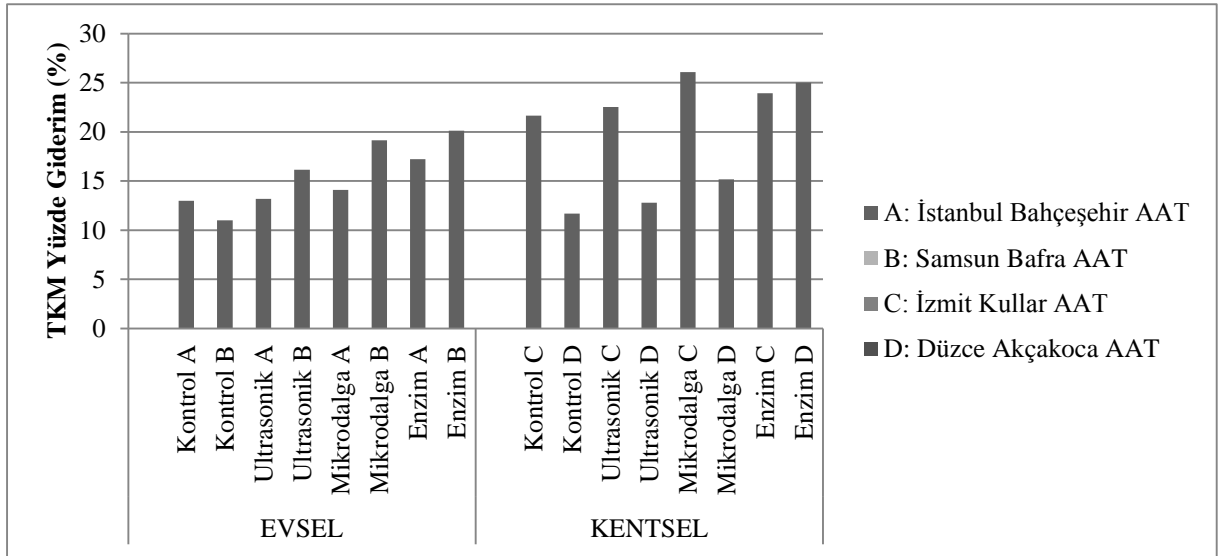
Şekil 9.74 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için AKM giderim yüzdeleri

Tesislerden alınan çamur örnekleri, UAKM giderimi açısından incelendiğinde atıksu niteliği açısından belirgin bir farklılık görülmemektedir. Ancak atıksu niteliğinden bağımsız olarak enzim ve mikrodalga ön arıtımlarının UAKM yüzde giderimlerinde olumlu şekilde etkisi olduğu söylenebilmektedir (Şekil 9.75).



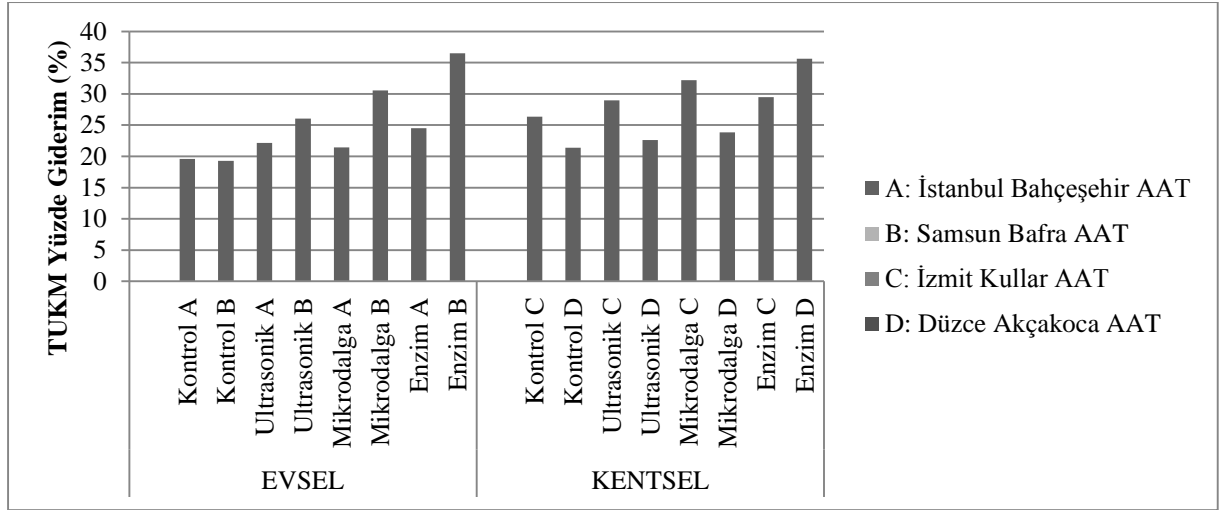
Şekil 9.75 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için UAKM giderim yüzdeleri

Uygulanan anaerobik stabilizasyonun TKM giderimleri açısından etkileri Şekil 9.76'daki gibi değerlendirildiğinde bölgesel ya da atıksu niteliği açısından belirgin bir eğilim görülmemiş, dezentegrasyon uygulamalarının tüm reaktörlerde çamur kütlesi azaltımında etkili olduğu görülmüştür.



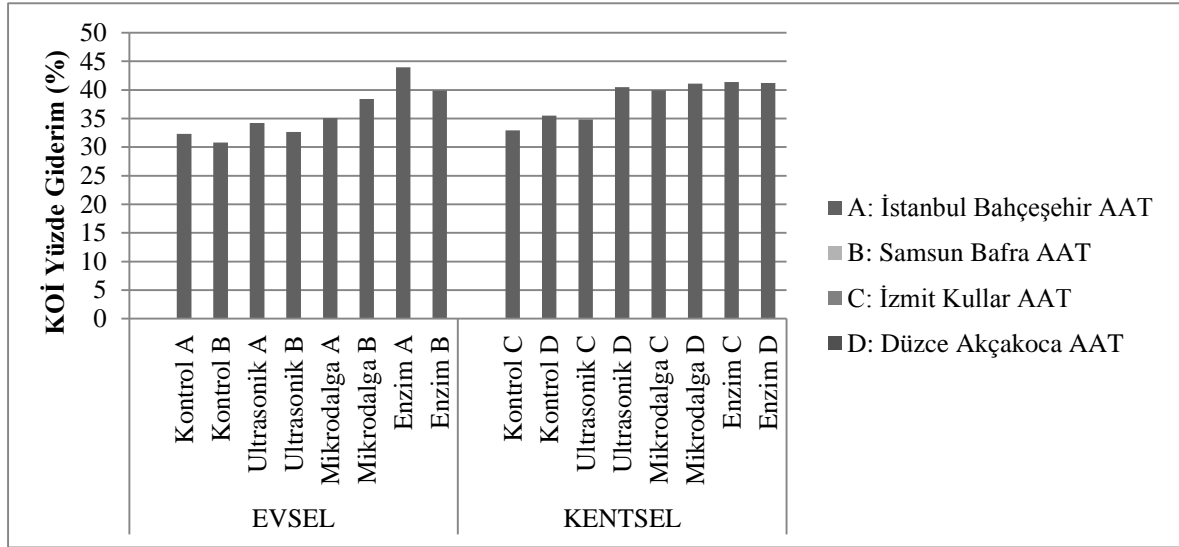
Şekil 9.76 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için TKM giderim yüzdeleri

Anaerobik stabilizasyon uygulamalarının TUKM giderimleri açısından etkileri değerlendirildiğinde de bölgesel ya da atıksu niteliği açısından belirgin bir eğilim görülmemiş, dezentegrasyon uygulamalarının tüm reaktörlerde organik madde gideriminde etkili olduğu görülmüştür (Şekil 9.77).



Şekil 9.77 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için TUKM giderim yüzdeleri

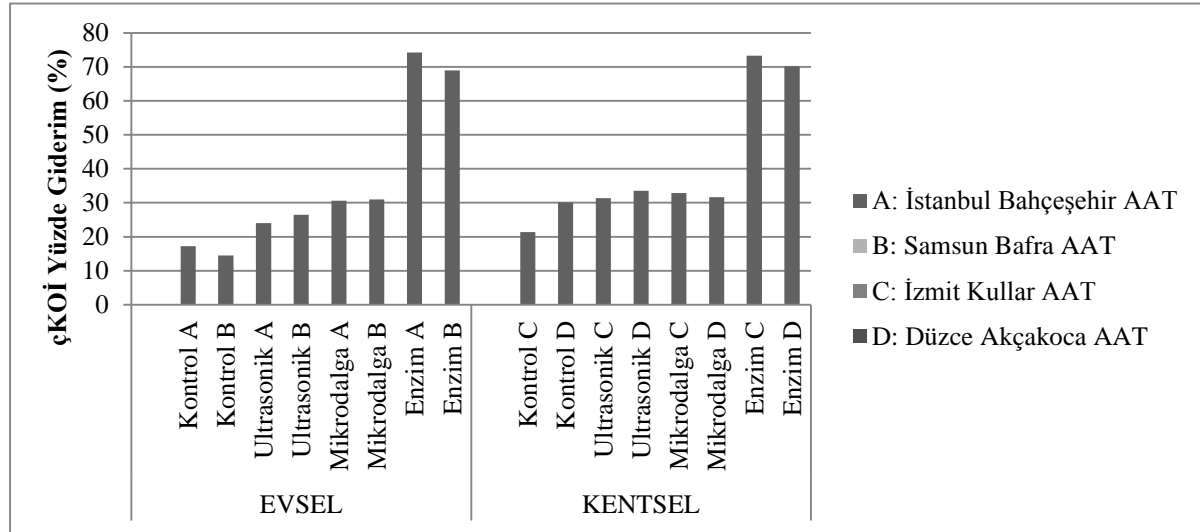
Anaerobik stabilizasyon uygulamaları, KOİ giderim verimleri açısından incelendiğinde (Şekil 9.78) kentsel nitelikli tesislerden alınan çamur örneklerinde, evsel tesislerden alınan örneklere oranla daha yüksek değerlere ulaşıldığı görülmüştür. İstanbul Bahçeşehir AAT için ise enzim uygulamasının diğer evsel tesislerden farklı olarak oldukça yüksek değere ulaştığı görülmüştür.



Şekil 9.78 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için KOİ giderim yüzdeleri

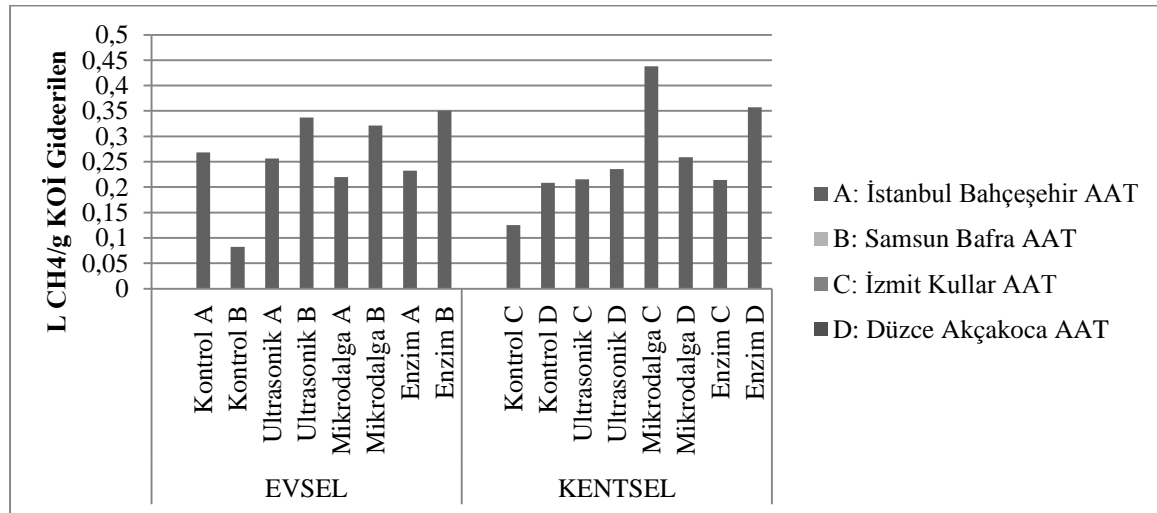
Tesislerden alınan çamur örnekleri, ÇKOİ giderimi açısından incelendiğinde atıksu niteliği açısından belirgin bir farklılık görülmemekle birlikte kentsel nitelikli tesislerden alınan çamur örneklerinden verimlerin az bir farkla olsa da yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak

atıksu niteliğinden bağımsız olarak enzim ve mikrodalga ön arıtımlarının UAKM yüzde giderimlerinde olumlu şekilde etkisi olduğu söylenebilmektedir (Şekil 9.79).



Şekil 9.79 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için ÇKOİ giderim yüzdeleri

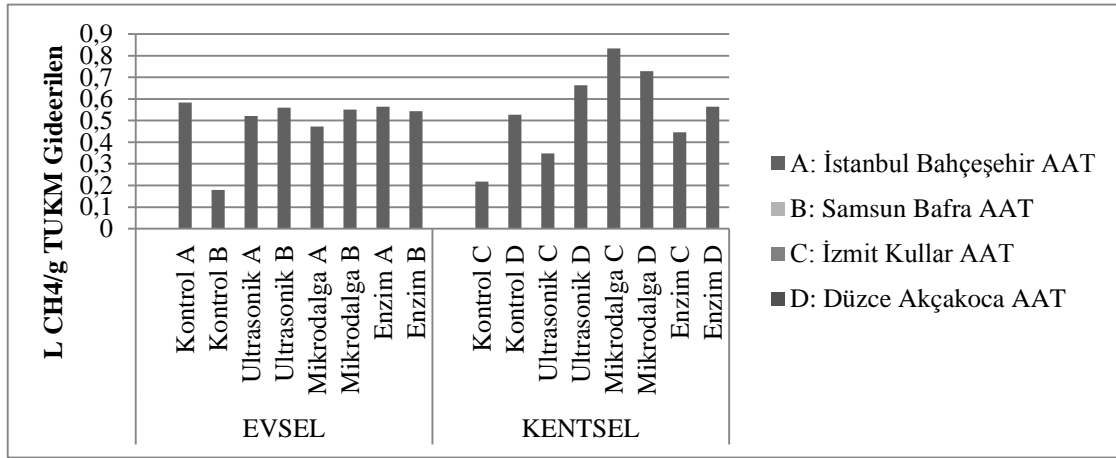
Şekil 9.80’de KOİ cinsinden biyogaz verimleri gösterilmektedir. Anaerobik stabilizasyon uygulamalarının giderilen KOİ cinsinden üretilen metan gazı açısından etkileri değerlendirildiğinde de bölgesel ya da atıksu niteliği açısından belirgin bir yönelim görülmemiştir. Uygulanan dezentegrasyon yöntemlerinin verimi artırdığı söylenebilmektedir.



Şekil 9.80 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için Giderilen KOİ cinsinden biyogaz verimleri

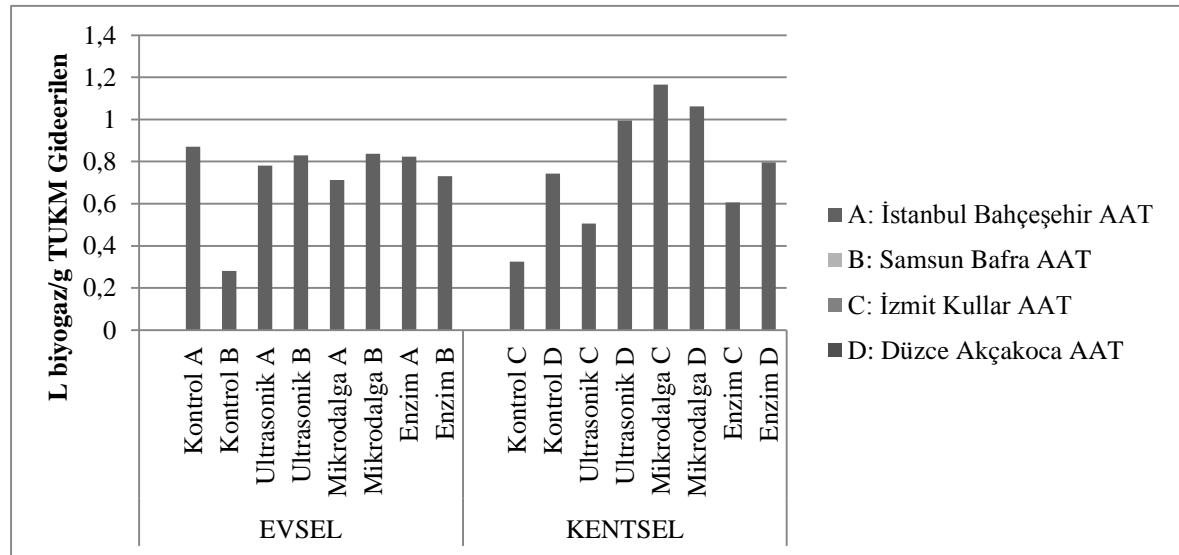
Üretilen metan gazının TUKM giderimi cinsinden verimi Şekil 9.81’de gösterilmektedir. Buna göre evsel nitelikli tesislerden alınan çamur numunelerinde bu parametrenin benzer değerlerde olduğu, kentsel nitelikli tesislerden alınan örnekler içinse farklı değerlerde

olduğu görülmüştür. Genel olarak dezentegrasyon uygulamalarının metan veriminin giderilen organik madde açısından verimi değerlendirildiğinde olumlu şekilde katkısı olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 9.81 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için giderilen TUKM cinsinden metan verimleri

Üretilen toplam biyogazın TUKM giderimi cinsinden verimi ise Şekil 9.82’de gösterilmektedir. Tesislerden alınan çamur örnekleri bu parametre açısından incelendiğinde TUKM cinsinden metan verimlerine çok benzer değerlerle karşılaşılmıştır. Bu da gazların metan içeriklerinin birbirine çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9.82 : Anaerobik stabilizasyonda çamurlardaki evsel ve kentsel tesisler için Giderilen TUKM cinsinden biyogaz verimleri

9.1.3. Alkali Stabilizasyon Uygulamaları

Arıtma çamurundaki patojenlerin giderimi için mikrobiyal büyümei önleyecek bir ortamın yaratılmasını hedefleyen farklı yaklaşımlara sahip pek çok arıtma prosesi mevcuttur. Günümüzde, çamur uygulamalarının çevre ve insan sağlığına olan potansiyel olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla biyolojik arıtma, ısıtma işlemi, kurutma, kompostlama ve uzun süreli depolama gibi çeşitli stabilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden alkali stabilizasyon uygulaması da patojen gideriminde kısa sürede etkili olabilen seçeneklerden biridir.

V. Gelişme Raporu Döneminde, bu amaçla, laboratuvar ölçeğinde alkali stabilizasyon deneyleri gerçekleştirilmiş ve uygulanan bu yöntemde çamura, pH değerini 12 veya daha yukarı çıkaracak miktarda kireç ilave edilerek mikroorganizmalar için uygun olmayan bir ortam oluşturulmuştur.

BU Proje Grubu tarafından, alkali stabilizasyon uygulanacak arıtma çamurları için seçilen tesisler; Marmara Bölgesi'nde İzmit Kullar Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) ve İstanbul Bahçeşehir Atıksu Arıtma Tesisi (evsel), Karadeniz Bölgesi'nde ise Samsun Bafra Atıksu Arıtma Tesisi (evsel) ve Düzce Akçakoca Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel)'dir. Bu dört tesisten alınan çamur numunelerine sönmemiş kireç (CaO) ilavesi ile gerçekleştirilen alkali stabilizasyon deneylerinde karşılaştırma amaçlı beşinci bir numune olarak, kireç yerine sodyum hidroksit (NaOH) eklenen İstanbul Bahçeşehir AAT numunesi alınmış, toplam numune sayısı beşe çıkartılmıştır.

IP 9 kapsamında gerçekleştirilen alkali stabilizasyon uygulamaları sırasında arıtma çamurlarına eklenen CaO - NaOH miktarları ve elde edilen pH değerleri Tablo 9.27'de verilmiştir. Kireç ilavesi ile pH'ı 12'nin üstüne çıkarılan çamur numuneleri, bu işlemi takiben jar-test cihazında, 600 rpm'de, 24 saat süreyle karışıma tabi tutulmuştur. Kireç eklendikten sonra her iki saatte bir yapılan kontroller ile reaktör pH'larının 11'in altına düşmediği kontrol edilmiş ve stabilizasyonun sağlandığına karar verilmiştir.

Tablo 9.27 : Alkali stabilizasyon uygulama koşulları

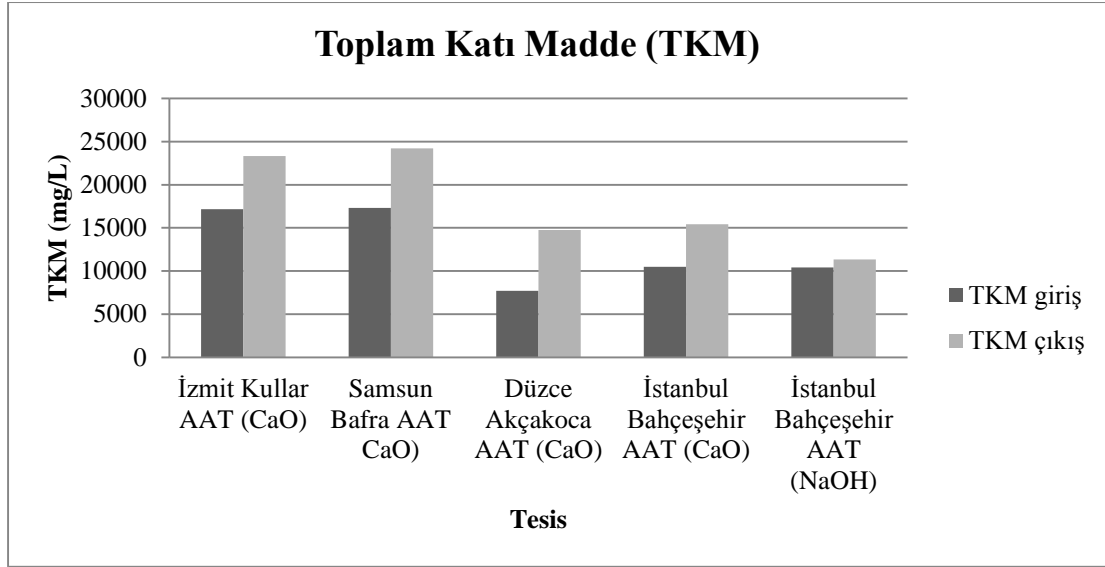
Tesis	ilk	eklenen CaO (g)	son	Uygulama Süresi
İzmit Kullar AAT	6,867	2,075	12,407	24
İstanbul Bahçeşehir	7,274	2,1527	12,328	24
Samsun Bafra AAT	7,031	2,5986	12,438	24
Düzce Akçakoca AAT	7,75	2,5711	12,548	24
	ilk	eklenen NaOH	son	
İstanbul Bahçeşehir	7,284	4,5	12,102	24

9.1.3.1. Toplam/Uçucu Katı Madde

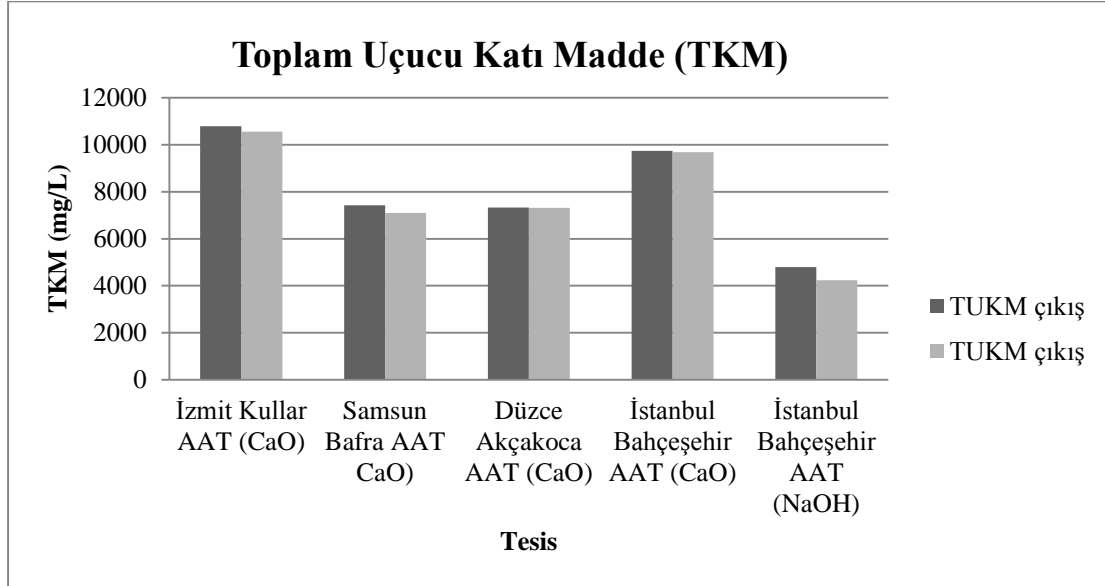
Toplam ve Uçucu Katı Madde analiz sonuçları Tablo 9.28’de sunulmakta ve Şekil 9.83 ve Şekil.9.84’de ayrıca belirtilmektedir. Beklendiği gibi, arıtma çamurlarına kireç ilavesi ile TKM değerlerinde bir artış gözlenirken, TUKM değerleri giriş oranla sabit kalmış ya da düşmüş, paralel olarak TUKM/TKM değerlerinde azalma gözlenmiştir. Benzer etki NaOH uygulanan İstanbul Bahçeşehir AAT numunesinde de gözlenmiş, fakat NaOH ilavesi ile TKM konsantrasyonunda kireç uygulamasına oranla daha yüksek bir artış elde edilmiştir. Buna bağlı olarak en yüksek TUKM/TKM oranı NaOH ilavesi ile yapılan çamurda elde edilmiştir.

Tablo 9.28 : Alkali Stabilizasyon için TKM Ve TUKM Analizi

Tesis	Giriş Değerleri			Çıkış Değerleri		
	TKM (mg/L)	TUKM (mg/L)	TUKM/TKM giriş	TKM (mg/L)	TUKM (mg/L)	TUKM/TKM çıkış
İzmit Kullar AAT (CaO)	17153	10785	0,63	23309	10563	0,47
Samsun Bafra AAT (CaO)	17328	9743	0,56	24195	9687	0,4
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	7713	4790	0,62	14755	4240	0,29
İstanbul Bahçeşehir AAT (CaO)	10501	7431	0,71	15426	7095	0,46
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	10414	7329	0,70	11359	7314	0,64



Şekil 9.83: Alkali Stabilizasyon için Gözlenen TKM Analizi Sonuçları



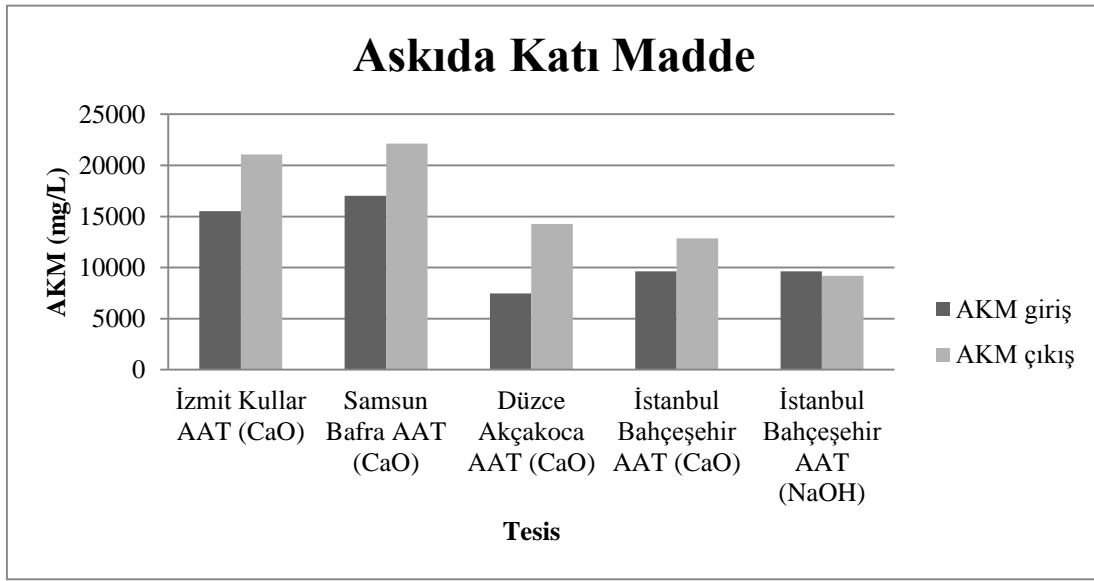
Şekil.9.84: Alkali Stabilizasyon için Gözlenen TUKM Analizi Sonuçları

9.1.3.2. Toplam/Uçucu Askıda Katı Madde

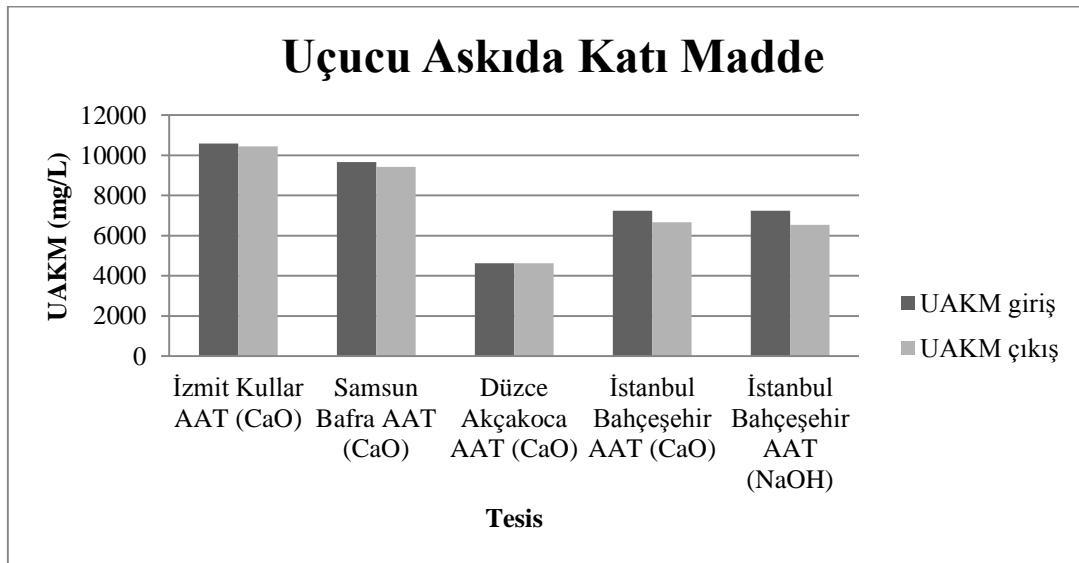
Toplam ve Uçucu Askıda Katı Madde analiz sonuçları Tablo 9.29’da sunulmaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde çamurlarda ölçülen TAKM ve UAKM değerlerinde TKM ve TUKM değerlerine paralel sonuçlar elde edilmiştir. TAKM değerleri uygulanan alkali stabilizasyon ile artarken UAKM değerlerinde düşüşler görülmektedir. TKM değerlerinden farklı olarak burada kireç ilavesi NaOH ilavesine oranla AKM değerlerinde daha yüksek bir artışa neden olmuştur. İlgili figürler Şekil 9.85 ve Şekil 9.86’da sunulmaktadır.

Tablo 9.29: Alkali Stabilizasyon için AKM ve UAKM Analizi

Tesis	Toplam/Uçucu Askıda Katı Madde-giriş		Toplam/Uçucu Askıda Katı Madde-çıkış	
	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	AKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
İzmit Kullar AAT (CaO)	15520	10594	21060	10447
Samsun Bafra AAT (CaO)	17020	9670	22120	9417
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	7480	4620	14260	4621
İstanbul Bahçeşehir AAT (CaO)	9620	7243	12860	6660
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	9620	7243	9180	6544



Şekil 9.85: Alkali stabilizasyonda gözlenen AKM Analizi Sonuçları



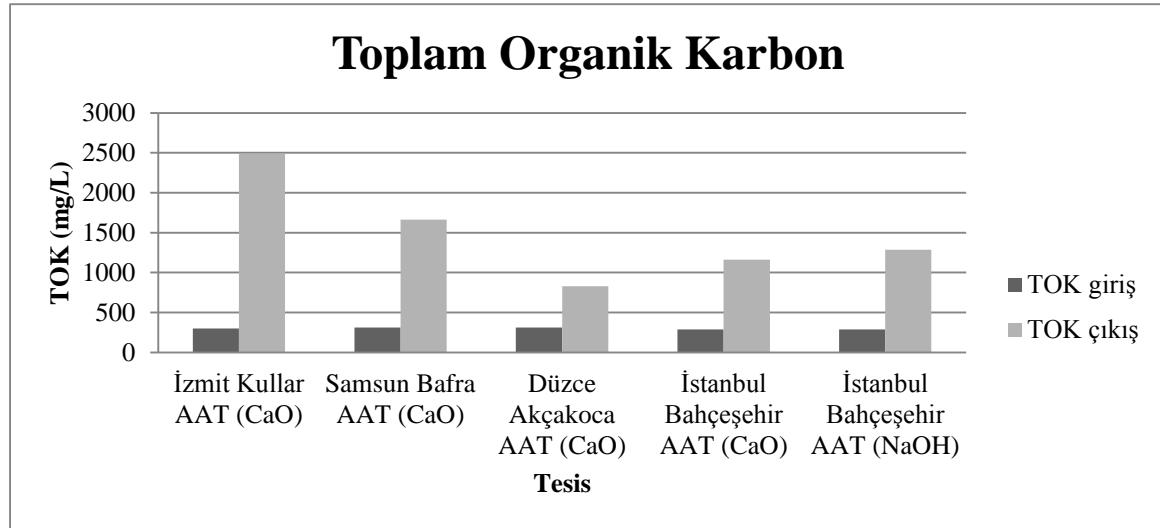
Şekil 9.86: Alkali Stabilizasyon için Gözlenen UAKM Analizi Sonuçları

9.1.3.3. Toplam/Çözünmüş Karbon

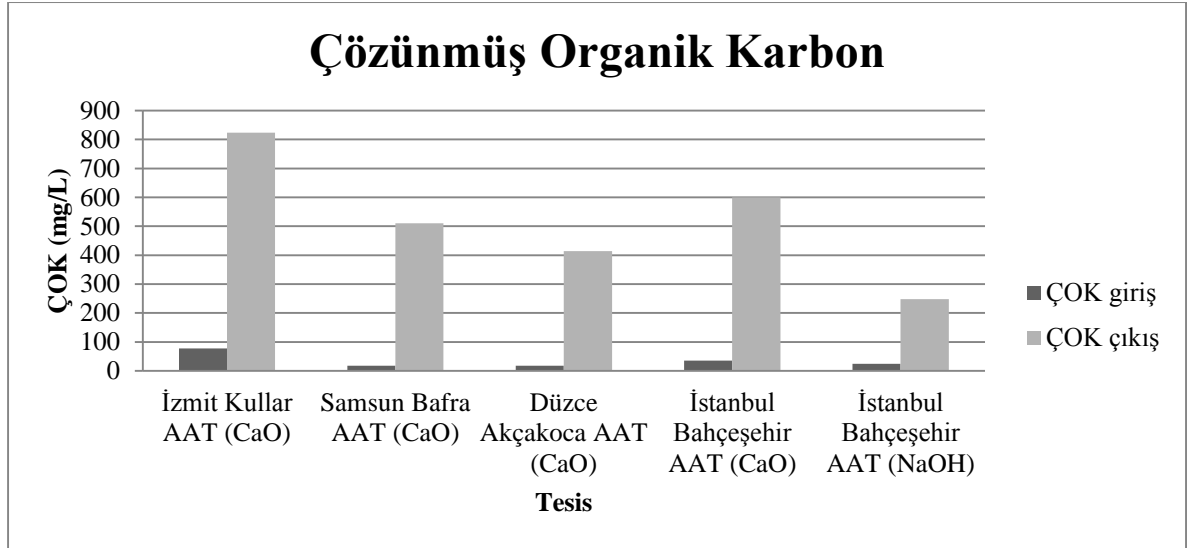
Alkali stabilizasyon öncesi ve sonrasında arıtma çamurlarında analizlenen Toplam ve Çözünmüş Karbon analizler sonuçları Tablo 9.30'da, giriş çıkış değerlerinin yer aldığı grafikler Şekil 9.87 ve Şekil 9.88'de gösterilmektedir. Yapılan analizlerde tüm reaktörler için gerek toplam ve gerekse çözünmüş organik karbon konsantrasyonlarının belirgin bir artış gösterdiği gözlenmiştir.

Tablo 9.30: Alkali Stabilizasyon için TOK ve ÇOK Analizi

Tesis	Toplam-Çözünmüş Organik Karbon-giriş		Toplam-Çözünmüş Organik Karbon-çıkış	
	TOK (mg/L)	ÇOK (mg/L)	TOK (mg/L)	ÇOK (mg/L)
İzmit Kullar AAT (CaO)	301	78	2489	824
Samsun Bafra AAT (CaO)	311	35	1662	600
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	314	24	828	248
İstanbul Bahçeşehir AAT(CaO)	287	18	1164	510
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	287	18	1287	414



Şekil 9.87: Alkali Stabilizasyonda Gerçekleştirilen TOK Analizi Sonuçları



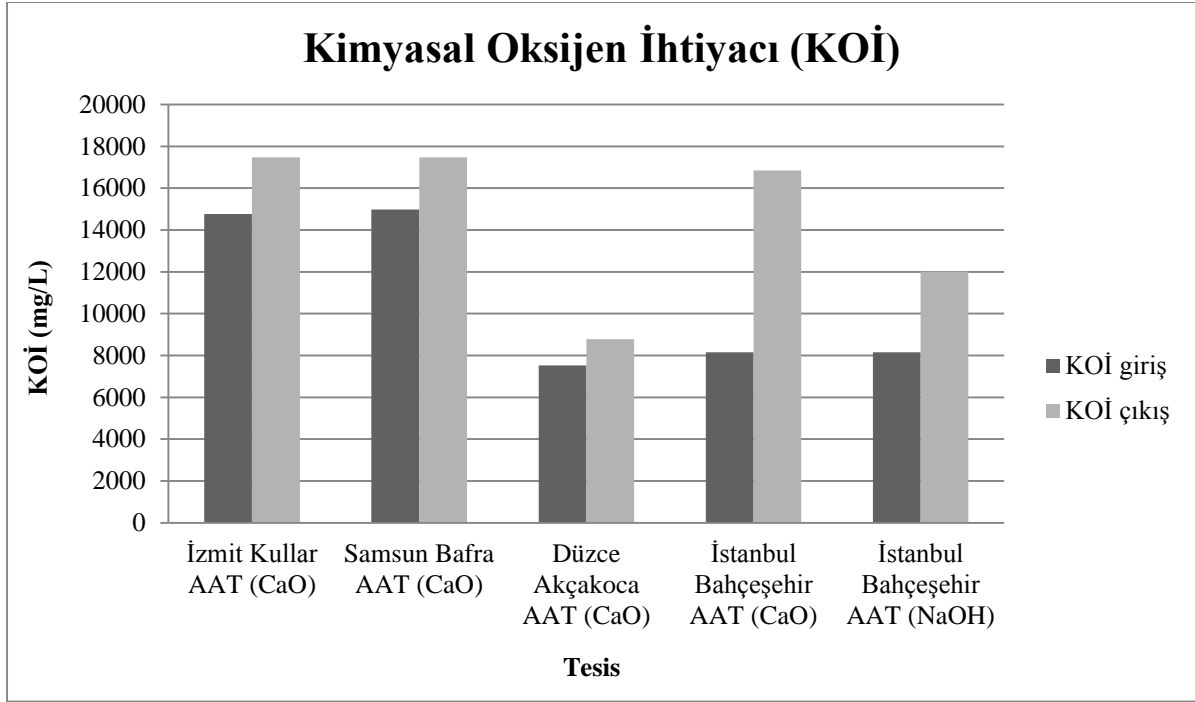
Şekil 9.88: Alkali Stabilizasyonda Gerçekleştirilen ÇOK Analizi Sonuçları

9.1.3.4.KOİ ve ÇKOİ Analiz Sonuçları

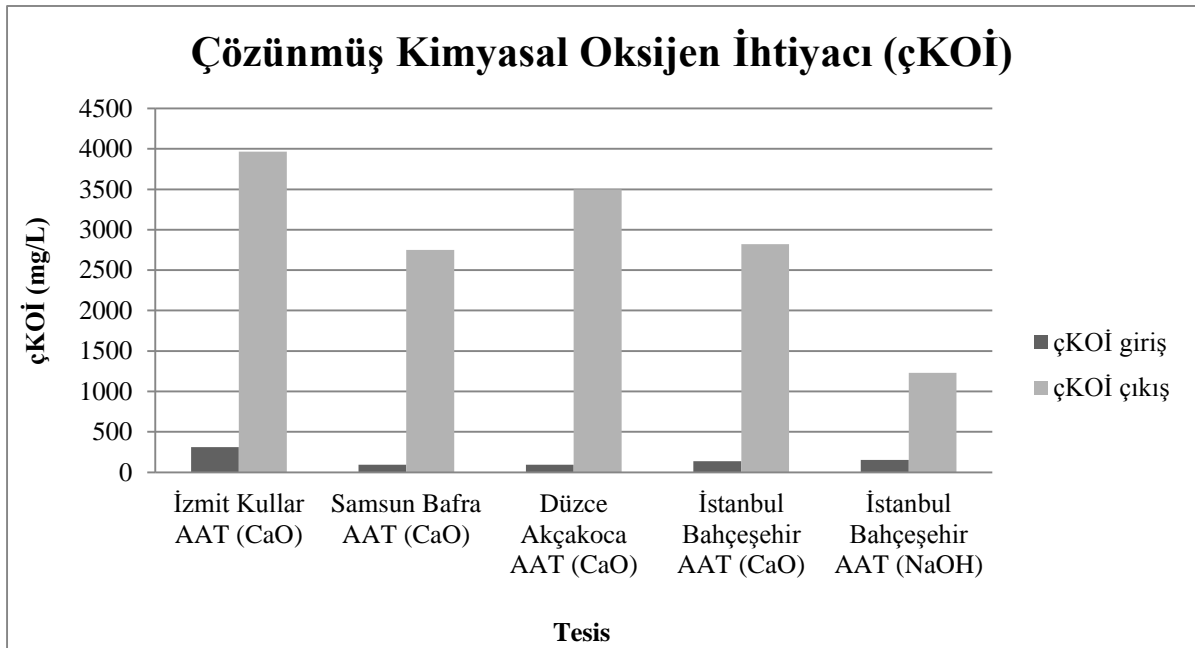
Stabilizasyon öncesi ve sonrasında arıtma çamurlarında analizlenen KOİ ve ÇKOİ deney sonuçları Tablo 9.31’de sunulmaktadır. Elde edilen veriler incelendiğinde çamurlarda ölçülen KOİ ve ÇKOİ değerlerinin tümünde belirgin bir artış gözlenmiştir. KOİ değerlerinde kireç ilavesi ile NaOH ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir artış gözlenirken, ÇKOİ değerlerinde ise NaOH ilavesi ile daha fazla bir artışa neden olmuştur. Çamurlarda elde edilen KOİ ve ÇKOİ konsantrasyonlarındaki değişim Şekil 9.89 ve Şekil 9.90’de sunulmaktadır.

Tablo 9.31: Alkali Stabilizasyon için KOİ ve ÇKOİ Analiz Sonuçları

Reaktör	Giriş Değerleri		Çıkış Değerleri	
	KOİ (mg/L)	ÇKOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	ÇKOİ (mg/L)
İzmit Kullar AAT (CaO)	14762	310	17470	3966
Samsun Bafra AAT (CaO)	14985	136	17470	2823
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	7530	151	8773	1230
İstanbul Bahçeşehir AAT (CaO)	8151	93	16849	2749
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	8151	93	12003	3498



Şekil 9.89: Alkali Stabilizasyonda KOİ Konsantrasyonlarında Gözlenen Değişimler



Şekil 9.90: Alkali Stabilizasyonda çKOİ Konsantrasyonlarında Gözlenen Değişimler

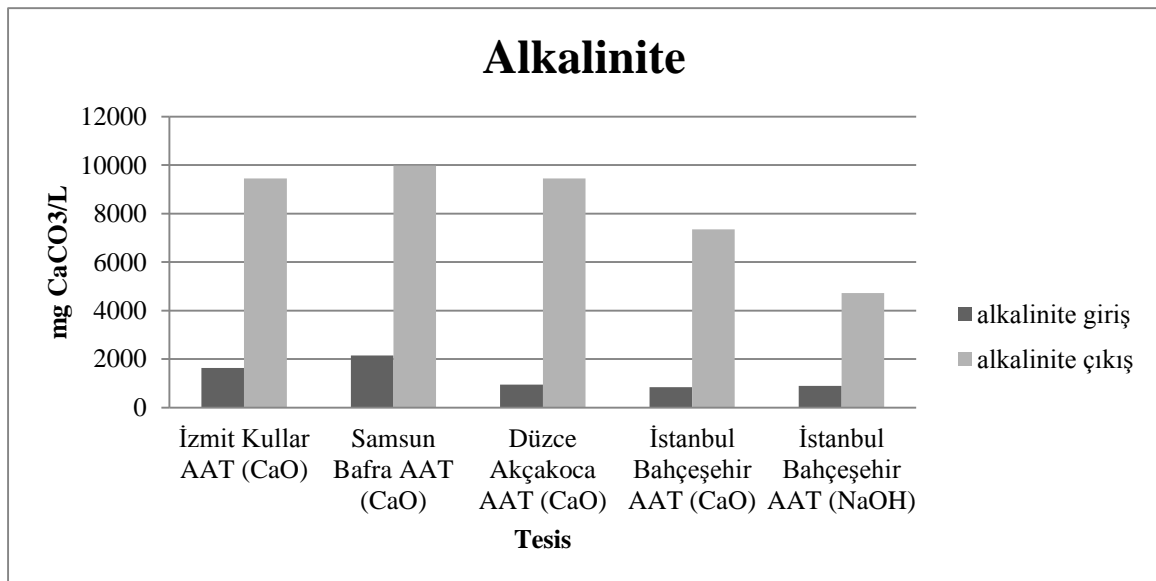
9.1.3.5. Alkalinite Analizi

Alkali stabilizasyon öncesi ve sonrası çamurlarda elde edilen alkalinite değerleri Tablo 9.32’de verilmektedir. Beklendiği gibi çamurlara CaO ve NaOH ilaveleri, tüm numunelerde yüksek alkalinite artışlarına sebep olmuştur. Bahçeşehir AAT numunesinde elde edilen

veriler, kireç uygulamasının NaOH'a oranla alkalinite de daha yüksek bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Alkali stabilizasyon sırasında alkalinite de gözlenen değişimler Şekil 9.91'de verilmektedir.

Tablo 9.32: Alkali Stabilizasyonunda Gerçekleştirilen Alkalinite Analizlerine İlişkin Sonuçlar

Reaktör	Alkalinite	Alkalinite
	(mg CaCO ₃ /L) giriş	(mg CaCO ₃ /L) çıkış
İzmit Kullar AAT (CaO)	1628	9450
Samsun Bafra AAT (CaO)	2153	9975
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	945	9450
İstanbul Bahçeşehir AAT (CaO)	840	7350
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	893	4725



Şekil 9.91: Alkali Stabilizasyonda Alkalinite Değerlerinde Gözlenen Değişimler

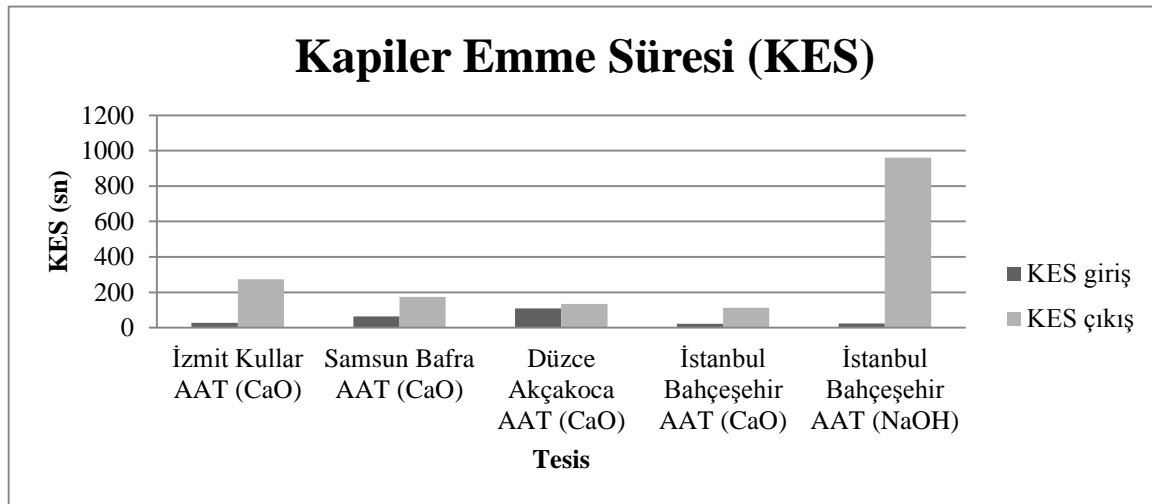
9.1.3.6.Kapiler Emme Süresi Analizi

Çamurlarda kapiler emme süresine ilişkin gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 9.33'de verilmektedir. Tablo 9.33 incelendiğinde, çamurlara uygulanan alkali stabilizasyon işleminin, 24 saat sonunda çamurların susuzlaştırılabilirliğini beklendiği şekilde olumsuz yönde etkilediğini ve çamurun filtrelenebilirliğini yaklaşık 10 kat oranında azalttığını göstermiştir. Bununla birlikte, NaOH ilavesinin susuzlaştırılabilirlik ve filtrelenebilirlik

açısından kireç uygulamasına oranla çok daha olumsuz etkileri olduğu bu analiz sonucunda görülebilmektedir. Alkali stabilizasyonda KES değerlerinde gözlenen değişimler Şekil 9.92’de verilmektedir.

Tablo 9.33: Alkali Stabilizasyon için KES Analizi

Reaktör	KES giriş (sn)	KES çıkış (sn)
İzmit Kullar AAT (CaO)	28	274
Samsun Bafra AAT (CaO)	63	173
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	109	134
İstanbul Bahçeşehir AAT(CaO)	22	112
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	23	960



Şekil 9.92: Alkali Stabilizasyonda KES Değerlerinde Gözlenen Değişimler

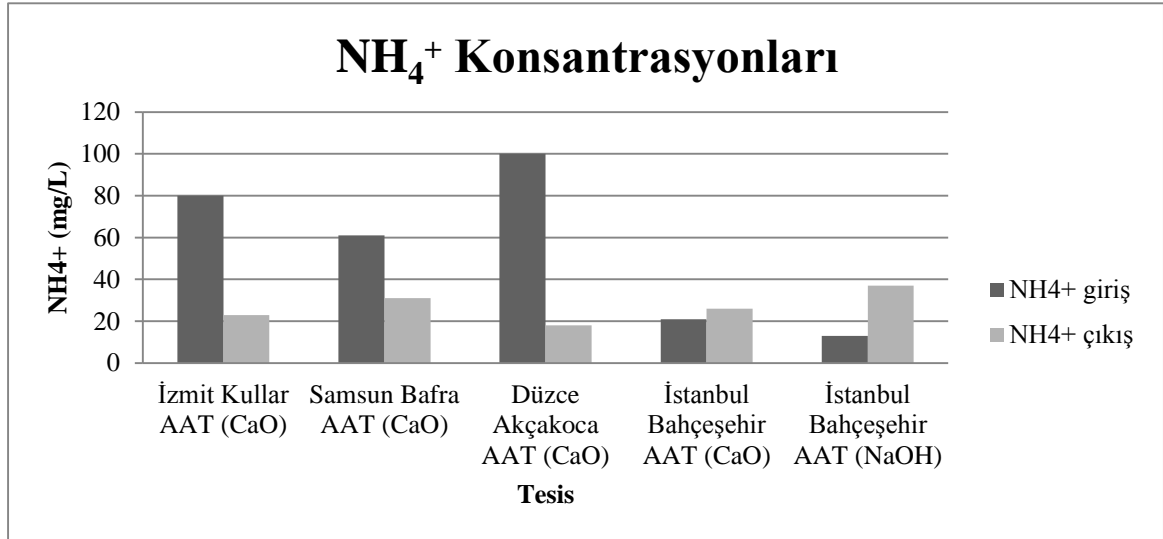
9.1.3.7.Amonyum İyonu (NH₄⁺-N) Analiz Sonuçları

Arıtma çamurlarına uygulanan alkali stabilizasyon süresince elde edilen NH₄⁺ konsantrasyonları Tablo 9.35’de verilmektedir. Kireç ilavesi yapılan tüm reaktörlerde elde edilen çıkış amonyak değerleri alkali arıtım öncesinde elde edilen giriş değerlerine göre genel olarak düşüş göstermiştir. İzmit Kullar, Samsun Bafra ve Düzce Akçakoca AAT’lerinde NH₄⁺ konsantrasyonlarında belirgin bir azalma görülürken, sadece İstanbul Bahçeşehir AAT’de gerek kireç gerekse NaOH ilavesi NH₄⁺ değerlerinde artışa neden olmuştur. Alkali stabilizasyon süresince NH₄⁺ konsantrasyonlarında gözlenen değişimler

Şekil 9.93’de verilmektedir.

Tablo 9.34: Alkali Stabilizasyon Uygulamasında Elde Edilen NH_4^+ Konsantrasyonları

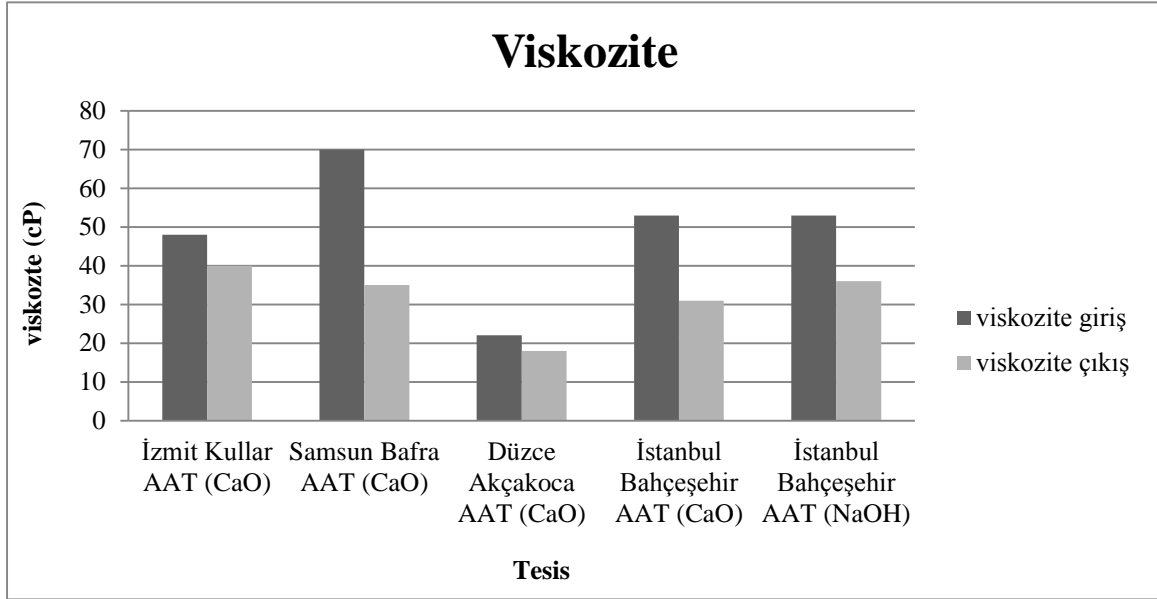
Reaktör	NH_4^+ -N giriş (mg/L)	NH_4^+ -N çıkış (mg/L)
İzmit Kullar AAT (CaO)	80	23
Samsun Bafra AAT (CaO)	61	31
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	100	18
İstanbul Bahçeşehir AAT (CaO)	21	26
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	13	37



Şekil 9.93: Alkali Stabilizasyon Süresince NH_4^+ Konsantrasyonlarında Gözlenen Değişimler

9.1.3.8.Viskozite Analiz Sonuçları

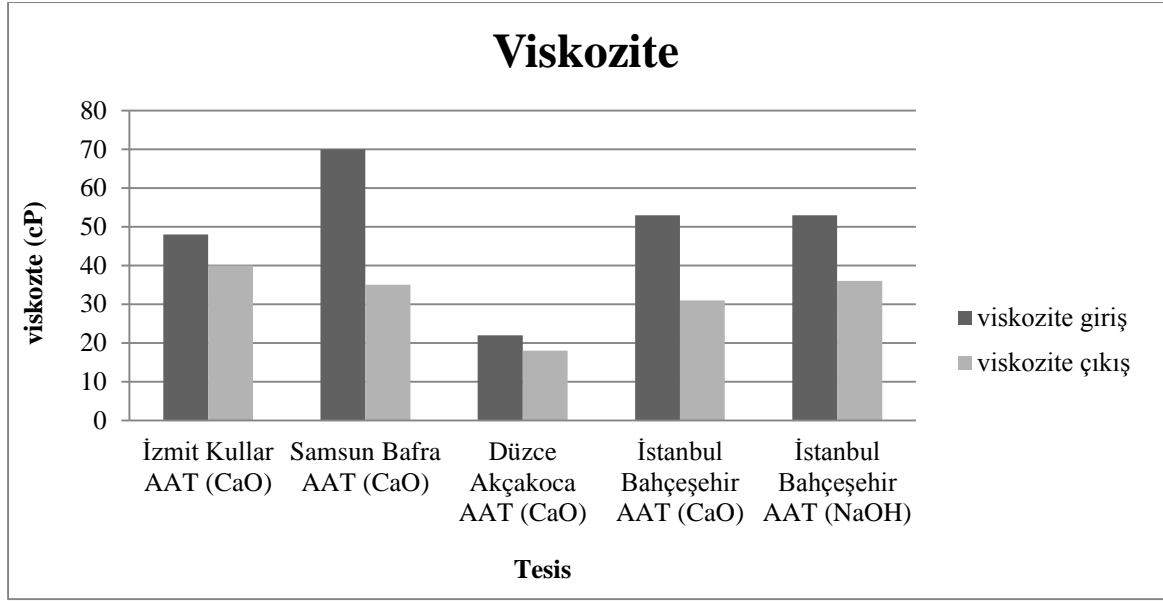
Alkali stabilizasyon öncesince ve sonrasında arıtma çamurlarında elde edilen viskozite analizler sonuçları Tablo 9.35’de sunulmaktadır.



Şekil 9.94’den de görülebileceği gibi uygulanan alkali işlem ile tüm numunelerin viskozite değerleri beklenen bir azalma göstermiştir.

Tablo 9.35: Alkali Stabilizasyon için Vizkozite Analizi Sonuçları

Reaktör	Viskozite giriş (cP)	Viskozite çıkış (cP)
İzmit Kullar AAT (CaO)	48	40
Samsun Bafra AAT (CaO)	70	35
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	22	18
İstanbul Bahçeşehir AAT(CaO)	53	31
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	53	36



Şekil 9.94: Alkali stabilizasyonda çamurlarda gözlenen viskozite değişimleri

9.1.3.9. Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Alkali stabilizasyon öncesinde ve sonrasında çamur numunelerinde gerçekleştirilen mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 9.36'da verilmektedir. Yapılan mikrobiyolojik analizler, alkali stabilizasyon işleminin çamur numunelerinde patojen giderimini başarı ile sağladığını ve stabilizasyon öncesi değerler dikkate alındığında çalışılan çamurlarda mikroorganizmaların tamamına yakınının alkali stabilizasyon ile giderilebildiğini göstermiştir. İki farklı alkali arıtmanın uygulandığı Bahçeşehir AAT numunesi incelendiğinde, patojen gideriminde NaOH ilavesinin kireç ilavesi kadar etkili olmadığı görülmektedir.

Tablo 9.36: Alkali Stabilizasyon Öncesinde ve Sonrasında Çamur Numunelerinde Gerçekleştirilen Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Reaktör	Alkali Stabilizasyon Öncesi			Alkali Stabilizasyon Sonrası		
	Toplam Koliform [kob/100mL]	Fekal Koliform [kob/100mL]	Fekal Streptokok [kob/100mL]	Toplam Koliform [kob/100mL]	Fekal Koliform [kob/100mL]	Fekal Streptokok [kob/100mL]
İzmit Kullar AAT (CaO)	5,9x10 ⁶	2,3x10 ⁶	1,3x10 ⁶	≤10	≤10	≤10
Samsun Bafra AAT (CaO)	3,5x10 ⁶	1,9x10 ⁶	1x10 ⁶	≤10	≤10	≤10
Düzce Akçakoca AAT (CaO)	3,9x10 ⁶	2x10 ⁶	1,5x10 ⁶	≤10	≤10	≤10
İstanbul Bahçeşehir AAT (CaO)	1x10 ⁷	6,8x10 ⁶	6,3x10 ⁶	≤10	≤10	≤10
İstanbul Bahçeşehir AAT (NaOH)	1x10 ⁷	6,8x10 ⁶	6,3x10 ⁶	1,3x10 ⁴	9x10 ³	1x10 ⁵

9.1.3.10. Alkali Stabilizasyon Genel Değerlendirmesi

Arıtma çamurlarına uygulanan alkali stabilizasyon çalışması sonucu elde edilen veriler incelendiğinde, gerek CaO ve gerekse NaOH ilavesi ile seçilen tüm AAT çamurlarında alkali stabilizasyonun başarı ile gerçekleştirildiği görülmektedir. IV. Gelişme Raporu Döneminde gerçekleştirilen alkali dezentegrasyon çalışmaları sonucunda elde edilen dezentegrasyon dereceleri de alkali arıtımın etkisini göz önüne sermektedir. Bir önceki rapor döneminde İP 8 kapsamında gerçekleştirilen alkali ön arıtımında ultrasonikasyon uygulamasından elde edilen dezentegrasyon derecelerine çok yakın değerler bulunmuş, hatta bazı tesislerde daha yüksek dezentegrasyon değerleri hesaplanmıştır.

Fakat gerek bu dönemde gerçekleştirilen ve gerekse bir önceki dönemde İP 8 kapsamında tamamlanan alkali arıtma çalışmaları değerlendirildiğinde ve tam ölçekli uygulamalar ve bu uygulamalar için kullanılacak kimyasal madde miktarları göz önüne alındığında, ultrasonikasyon ve mikrodalga ile dezentegrasyonun özellikle büyük kapasiteli tesisler için daha uygulanabilir yöntemler olacağı düşünülmektedir. Bu düşünceden yola çıkıldığında ve alkali dezentegrasyon ve stabilizasyon uygulamalarının çamurların susuzlaştırılabilirliğini azami ölçülerde kötüleştirdiği de düşünüldüğünde, aerobik ve

anaerobik stabilizasyon çalışmaları öncesinde seçilen AAT arıtma çamurlarına, ultrasonikasyon ve mikrodalga dezentegrasyonları uygulanmasına karar verilmiş, biyolojik dezentegrasyon yöntemi olan enzim ön-arıtımı da üçüncü bir ön arıtma yöntemi olarak stabilizasyon öncesinde arıtma çamurlarına tatbik edilmiştir.

Diğer yandan, ülkemizde, pH açısından genel olarak asidik nitelikte olan topraklarımızda gerçekleştirilecek bir kireç uygulaması, yüksek alkali yapısı gereği toprağın pH seviyesinin artmasına yol açacak ve ağır metallerin çözünürlüğünü düşürerek bu kirleticilerin toprakta hareketini de engellemiş olabilecektir. Bu nedenle, arıtma çamurlarının toprakta kullanımı öncesi gerçekleştirilecek alkali stabilizasyon işlemi, özellikle yüksek patojen giderimi ve toprağın asidik yapısını düzenleyici etkisi nedeni ile tercih edilebilir yöntemlerden biri olmaya devam etmektedir.

9.1.3.11. İstatistiksel Analizler

Bu gelişme raporu döneminde BÜ grubu tarafından gerçekleştirilen aerobik, anaerobik ve alkali stabilizasyon çalışmalarında elde edilmiş tüm verilerin istatistiksel analiz ve değerlendirmeleri tamamlanmış, aerobik stabilizasyon çalışmaları için elde edilen sonuçlar EK F-IV, anaerobik ve alkali stabilizasyon çalışmaları için elde edilen sonuçlar ise EK F-V EK F-VI'de sunulmaktadır.

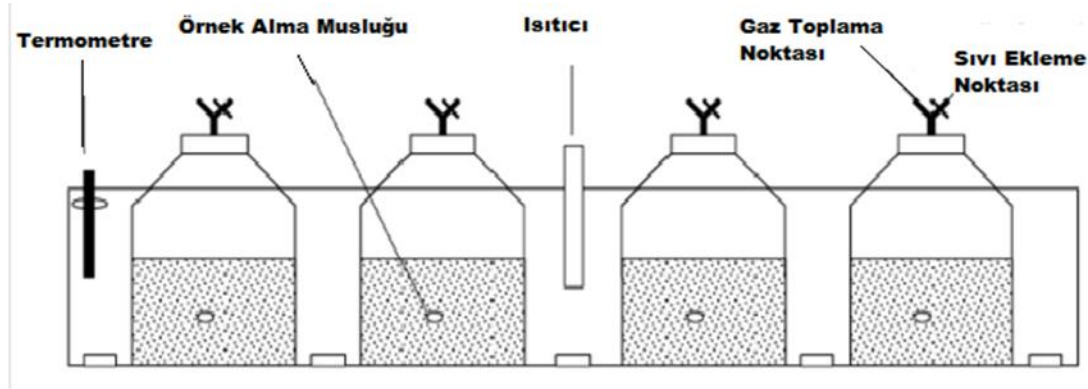
9.1.4. Arıtma Çamurlarının Simüle Biyoreaktörlerde Evsel Çöp İle Beraber Stabilizasyonu

İP 9 kapsamında havalı ve havasız ayrışma proseslerinin katı atık ve arıtma çamurlarının beraber ve kontrollü olarak depolanması üzerindeki etkisini incelemek için laboratuvar ölçekli, düzenli depolama alanlarını simüle eden: bir küçük ölçekli reaktör düzeneği (en uygun katı atık:çamur oranlarının tespiti için) ve bir de pilot ölçekte biyoreaktör düzeneği (optimum ayrışma şartlarının belirlenmesi için) ile olmak üzere iki çalışma gerçekleştirilmiştir.

9.1.4.1. Küçük Ölçekli Reaktör Düzeneği

Biyoreaktörlerde kullanılacak en uygun katı atık:çamur oranının tespitinin yapılabilmesi için 5 adet 30 cm boyunda ve 20 cm çapında 10 litre kapasiteli pleksiglas reaktörler kurulmuştur. Reaktörde oluşan sızıntı suyundan numune alınabilmesi için reaktörün tabanına 1 adet musluk, gaz numunesi almak ve sıvı eklemek için üst kapağa ise 3 adet musluk yerleştirilmiştir. Beş reaktör, sıcaklık kontrollü bir banyoya yerleştirilmiş ve sabit bir sıcaklıkta (32° C) kalması sağlanmıştır. Reaktörler 102 gün boyunca işletilmiştir.

Sistemin anaerobik olarak yürütülebilmesi ve oksijen gazını giderebilmek için, dolum yapıldığı günde reaktörlerden azot gazı geçirilmiştir. Reaktörler toplamda 102 gün çalıştırılmıştır. Reaktörlerin deneysel düzeneneği Şekil 9.95 'te gösterilmektedir:



Şekil 9.95 : Deneysel düzenek

Reaktörlerin nem içeriği %75'e ayarlanmış olup her bir reaktöre 50 gram aşı çamuru ilave edilmiştir. Buna göre reaktörlerin dolum oranları ve yoğunlukları detaylı olarak Tablo 9.37'de verilmektedir.

Tablo 9.37 : Reaktörlerin dolum oranları

Reaktör	Dolum Oranı (Çamur: Katı Atık)	Nem içeriği %	Katı atık ıslak (g)	Aerobik çamur ıslak (g)	Aşı çamuru ıslak (g)	Su (g)	Yoğunluk (kg/m ³)
Kontrol 1	1:0	75	-	1500	25	2291	818
Kontrol 2	0:1	75	1500	-	25	2415	472,8
Reaktör 1	1:7	75	1500	214,3	25	2102	592,35
Reaktör 2	1:4	75	1500	375	25	1867	692,5
Reaktör 3	1:10	75	1500	150	25	2195	516,78

Reaktörlerin dolum oranları aşağıdaki referanslara göre yapılmıştır:

- 1:4 (US-EPA; Gunes, 1999)
- 1:7 (US-EPA; Çınar ve Onay, 2004; Lahdheb Habiba, 2009)
- 1:10 (US-EPA, URL1)

Reaktörlere eklenen aerobik çamur keki Marmara Bölgesinden seçilmiş bir AAT'den (Paşaköy AAT), aşı çamuru olarak eklenen çamur ise Fritolay'den temin edilmiştir. Literatür de yapılan çalışmalara göre sentetik olarak hazırlanan katı atıklar, biyoreaktörlerin biyogaz üretim oranını ve biyo-bozunma hızını arttırdığından dolayı, reaktörlere yüklenen katı atıklar sentetik olarak hazırlanmıştır. Sentetik olarak hazırlanan

katı atıklar İstanbul'un çöp kompozisyonuna göre hazırlanmıştır (Tablo 9.38) (İstaç Raporu; Sezgin ve Özcan, 2003; Çevre ve Orman Bakanlığı Raporu).

Reaktörlerde yapılan tüm deneyler standart metotlara uygun olarak yapılmıştır. Bu deneyler ve sıklıkları Tablo 9.39'de detaylı olarak gösterilmektedir.

Tablo 9.38 : Katı Atık Kompozisyonu (İstaç Raporu; Sezgin ve Özcan, 2003; Çevre ve Orman Bakanlığı Raporu)

Malzeme	%
Organik	54
Kağıt	10,50
Çimen ve ot	5
Plastik	7
Cam	6
Metal	3
Elektronik	0,50
Diğerleri (Bebek bezi vb.)	6
Kül	8
Toplam	100

Tablo 9.39 : Yapılan analizler ve analiz sıklıkları

Parametre	Günlük	Haftalık	Aylık
pH	X		
ORP	X		
KOİ		X	
Alkalinite		X	
Gaz Kompozisyonu (CH ₄ ,CO ₂ ,O ₂ ,N ₂)		X	
Amonyak Azotu (NH ₃ -N)		X	
Ortofosfat (PO ₄ ³⁻)		X	
Uçucu Yağ Asitleri		X	
TKN			X
Günlük Gaz Üretim Miktarı	X		
Sülfat		X	
Ağır Metaller			X

Sızıntı Suyu ve Giriş Analizleri

Reaktörlere konulan katı atık ve çamurun özelliklerini ve uygunluğunu kontrol edebilmek için dolum yapılmadan önce kullanılan katı atık ve çamura giriş deneyleri (Tablo 9.40, Tablo 9.41, Tablo 9.42, Tablo 9.43) yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda kullanılan katı atık ve çamurun uygun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 9.40 : Katı atık ve çamur deney sonuçları

Numune	pH	Nem İçeriği (%)	TKN (mg/L)	KOİ (mg/L)	Yoğunluk (kg/m ³)
Katı Atık	6,05	34,44	50495,049	30223	360,35
Aerobik Çamur	7,96	36,505	60362,17	15544,85	720
Anaerobik Çamur	7,26	93,71	15544,85	23839,45	572,2

Tablo 9.41 : Elemental analiz sonuçları

Numune	C (%)	H (%)	O (%)	C/N
Katı Atık	39,11	5,535	7,65	5,112
Aerobik Çamur	32,54	4,84	3,66	8,89
Anaerobik Çamur	34,65	4,72	3,12	6,17

Tablo 9.42 : Ağır Metal analiz sonuçları

Numune	Cr mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg
Anaerobik Çamur	44,20	175,43	12054	43,78	43,083	824,34	0,5988	9,7874
Aerobik Çamur	388,5	497,21	1263	176,8	326,76	891,91	1,7933	40,716
Katı Atık	10,12	76,437	4843,2	8,897	13,550	30,055	0,3970	4,3781

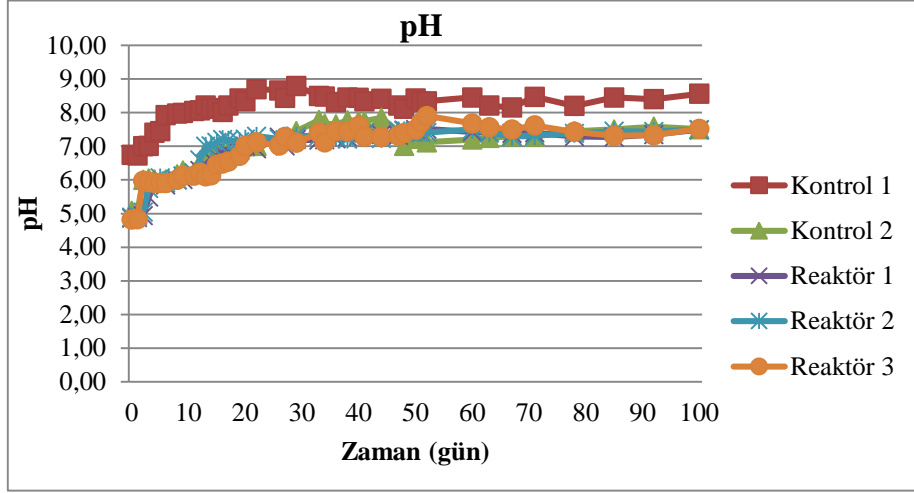
Tablo 9.43 : Alkalik ve Toprak metal analiz sonuçları

Reaktor	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
Anaerobik Çamur	6375	6587,5	8862,5	1068,75
Katı Atık	3387,5	1675	1968,75	231,25
Aerobik Çamur	6525	1781,25	4906,25	800

pH

Atıkların ayrışması sırasında pH değeri, bakterilerin çalışabilmesi için uygun bir ortam hazırlamaktadır. Metan bakterileri en uygun 6-8 pH aralığında çalışmaktadır. Aşırı asidik ve ya bazik ortamlarda bu bakterilerin faaliyetleri azalmaktadır. Metan üretimi en uygun 7-

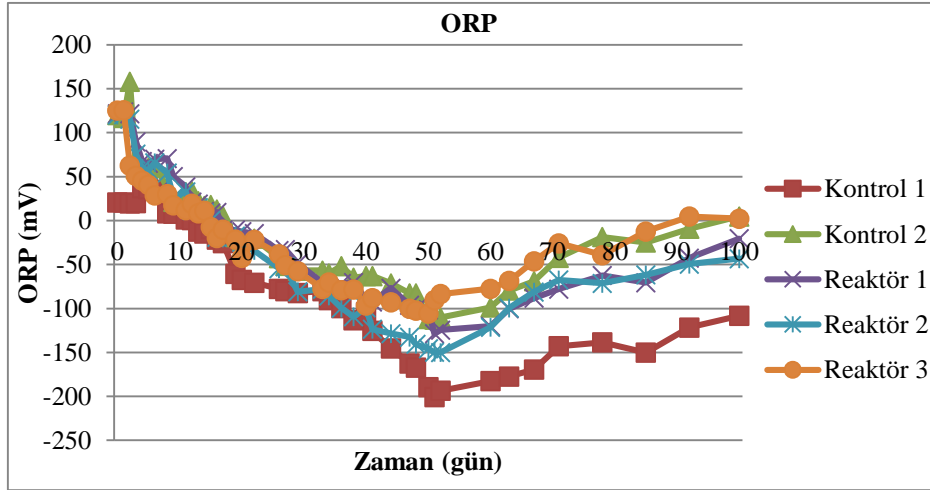
7,2 pH aralığında oluşmaktadır (Emcon Associations 1980). Şekil 9.96’de 5 reaktörün pH değişimleri verilmektedir.



Şekil 9.96 : Reaktörlerdeki pH Değişimleri

ORP

Katı atık depolama sahalarında, ORP (Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli) katı atıkların ayrışma mekanizmalarının belirlemektedir. Düşük ORP değerleri atığın anaerobik olarak ayrıştığının bir göstergesidir. Şekil 9.97’de reaktörlerin ORP’lerinin zamana göre değişimi verilmektedir.

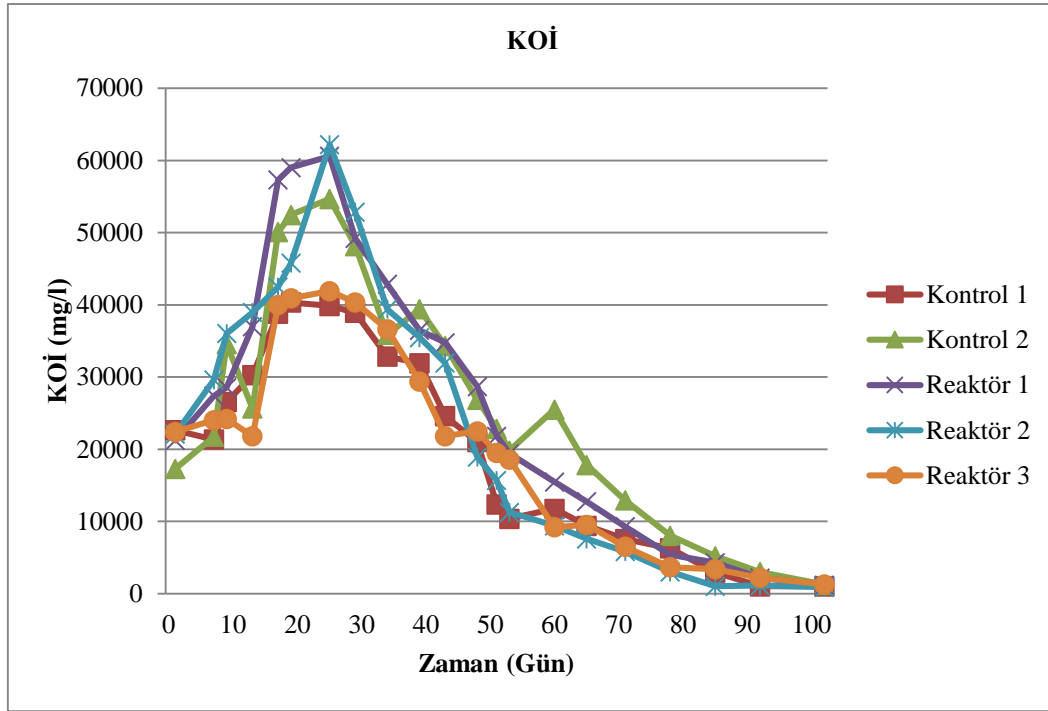


Şekil 9.97 : Reaktörlerdeki ORP Değerlerinin Zamanla Değişimi

KOI

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ise, organik madde muhtevasının oksijen eşdeğerinin bir ölçüsüdür. Depo sahalarında yapılan çalışmalarda, atıkların ayrışmasının ilk safhalarında sızıntı suyunun organik madde muhtevasının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Genç

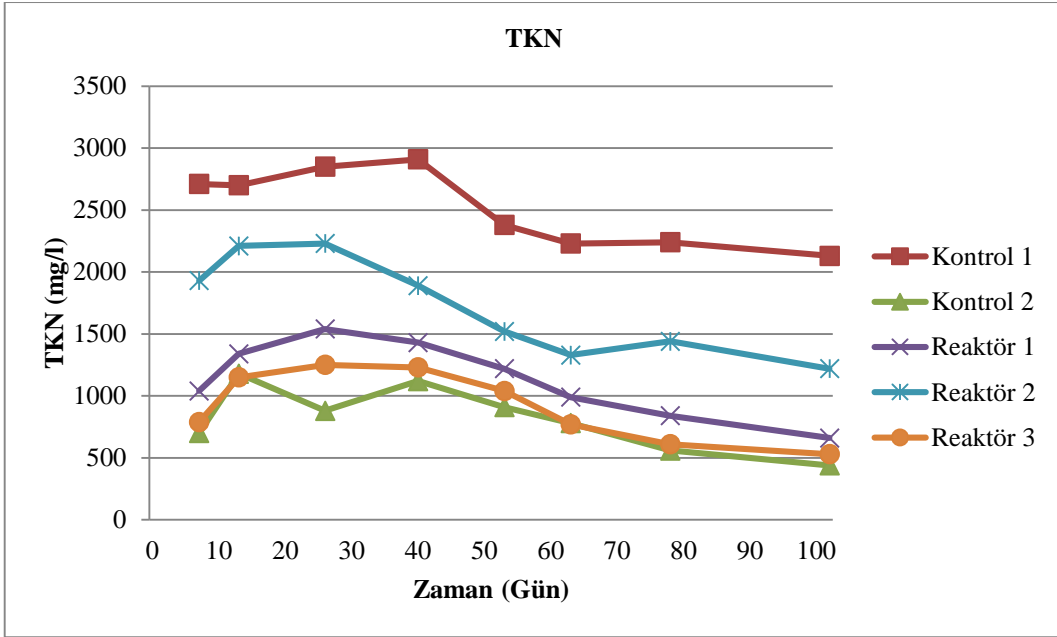
depo sahalarında oluşan sızıntı sularının muhteviyatındaki organik maddelerin önemli bir kısmı (%90) organik asitlerden kaynaklanmakta ve bu organik asitlerin de %90'a varan kısmı asetik, propiyonik ve bütirik asitlerden ileri gelmektedir (Emcon Associations 1980). Şekil 9.98'de reaktörlerdeki kimyasal oksijen ihtiyacının zaman göre değişimi gösterilmektedir.



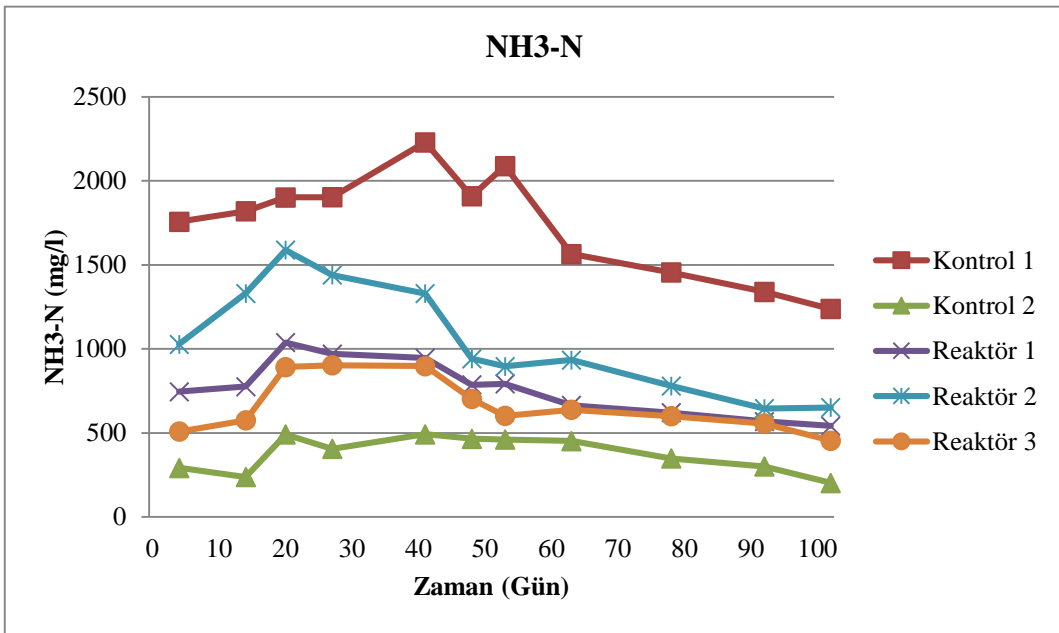
Şekil 9.98 : Reaktörlerdeki KOİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

TKN ve NH_4^+ -N

Amonyak, genellikle proteinlerin ayrışması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Toprak kirliliğinin en önemli sebeplerinden biridir. TKN organik azot ve amonyak azotunun (NH_3 -N) toplamıdır. Amonyak konsantrasyonları depolama sahalarında ki en büyük sorunlardan biridir; uzun sürede katı atık depolama sahalarından giderimi sağlanamamaktadır. Amonyak azotu yüksek değerlerde ve pH'larda metanojen bakterilerinin çalışmasını durdurmaktadır. Şekil 9.99 ve Şekil 9.100 'de reaktörlerdeki TKN ve NH_3 -N konsantrasyonlarının zamanla değişimini göstermektedir.



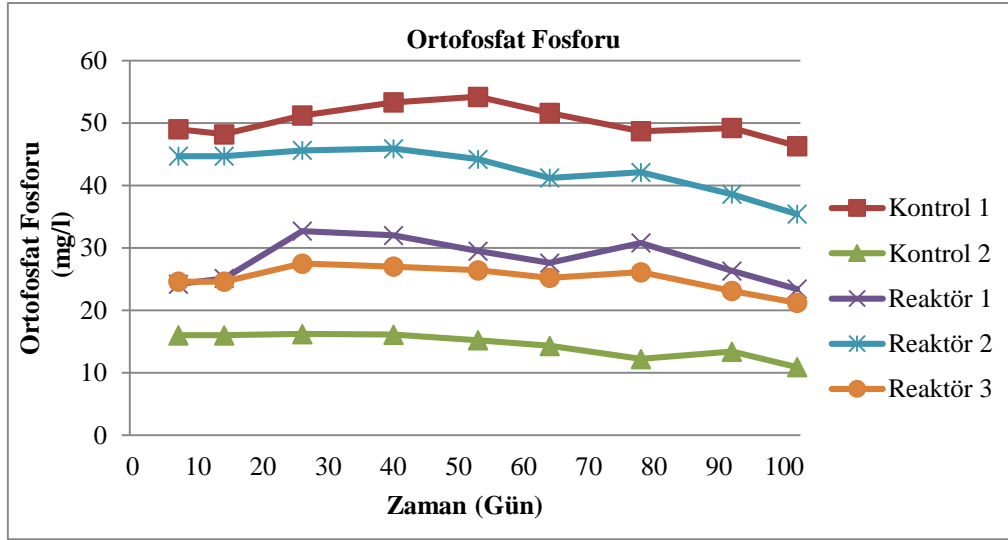
Şekil 9.99 : Reaktörlerdeki TKN Değerlerinin Zamanla Değişimi



Şekil 9.100 : Reaktörlerdeki amonyak azotunu değerlerinin zamanla değişimi

Ortofosfat fosforu

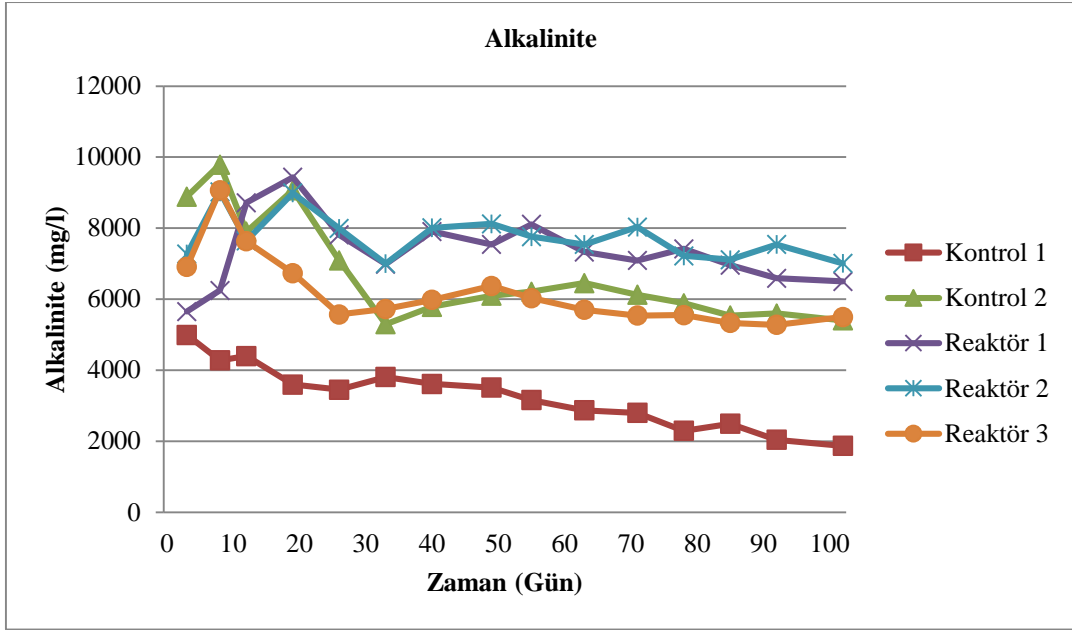
Ortofosfat, fosfat seviyesinin kontrolünün en önemli göstergelerinden biridir. Bunun yanı sıra, anaerobik çürütme için ana besin maddelerinden biridir. Şekil 9.101’de reaktörlerdeki ortofosfat fosforunun zamanla değişimi gösterilmektedir



Şekil 9.101 : Reaktörlerdeki Ortofosfat Fosforu Değerlerinin Zamanla Değişimi

Alkalinite

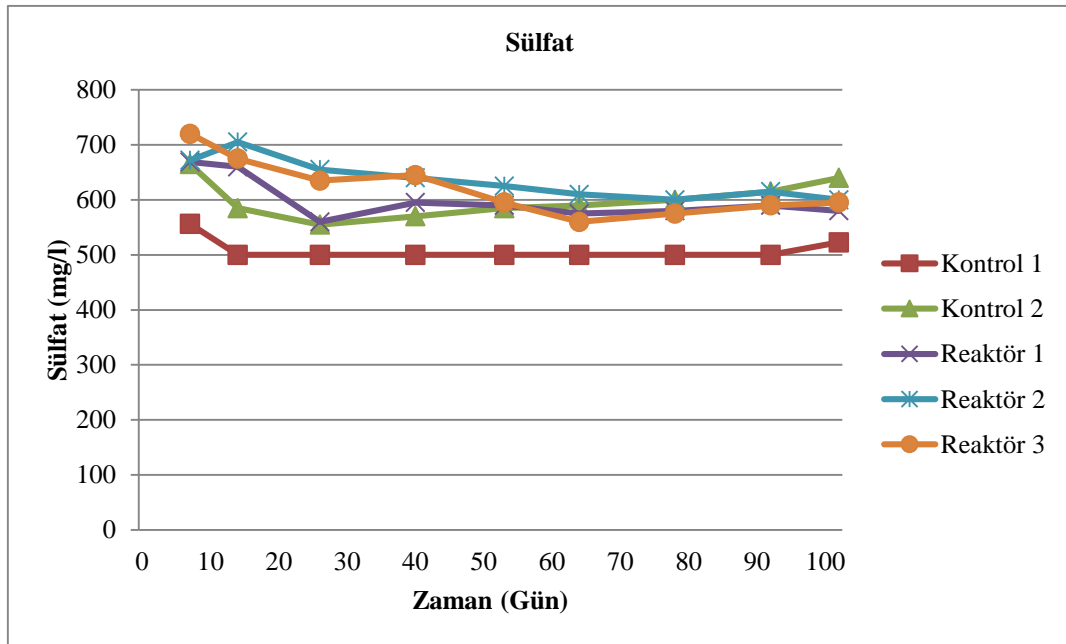
Alkalinite, biyolojik aktivitenin gerekli düzeyde tutulması için optimum pH'nın düşmesine neden olan uçucu ve diğer asitlerin tamponlanma kapasitesini ifade etmektedir (Gunes, 1999). Düşük miktarlardaki alkalinite biyolojik aktivitenin durmasına sebep olmaktadır. Katı atık depolama sahalarında, metan oluşumu için en uygun alkalinite değeri 2000 mg/L'den daha yüksek olan değerlerdir (Bilgili, 2006). Alkalinitenin temel bileşenleri bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^-) ve hidroksil (OH^-) dir. Şekil 9.102'de alkalinite konsantrasyonlarının reaktörlerde zamanla değişimi gösterilmektedir.



Şekil 9.102 : Reaktörlerdeki Alkalinite Değerlerinin Zamanla Değişimi

Sülfat

Sülfat, anaerobik depolama sahalarında indirgenme koşullarının varlığının bir göstergesidir. Anaerobik sistemlerde asit safhasından metan oluşum safhasına geçişte sülfat konsantrasyonları sülfite indirgenerek azalmaya başlamaktadır. Şekil 9.103'te sülfat konsantrasyonlarının zamanla değişimi gösterilmektedir.



Şekil 9.103 : Reaktörlerdeki Sülfat Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi.

Ağır Metal

Ağır metaller sızıntı suyundaki en önemli kirleticilerdir. Reaktörlerin depolanması sırasında evsel katı atık kullanıldığından dolayı seyrek ölçümler yapılmıştır. Tablo 9.44, Tablo 9.45 ve Tablo 9.46'da değişik zaman dilimlerindeki ağır metal konsantrasyonları gösterilmektedir.

Tablo 9.44 : Reaktörlerdeki 40. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 2	1,36	11,3	238,58	3,1	1,97	5,16
Reaktör 1	0,84	14,35	192,29	2,05	1,38	4,13
Reaktör 3	0,57	8,69	185,12	1,09	0,88	4,22
Kontrol 2	0,13	10,47	167,17	1,16	1,25	3,51
Kontrol 1	5,06	6,24	163,02	2,83	15,27	12,32

Tablo 9.45 : Reaktörlerdeki 70. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

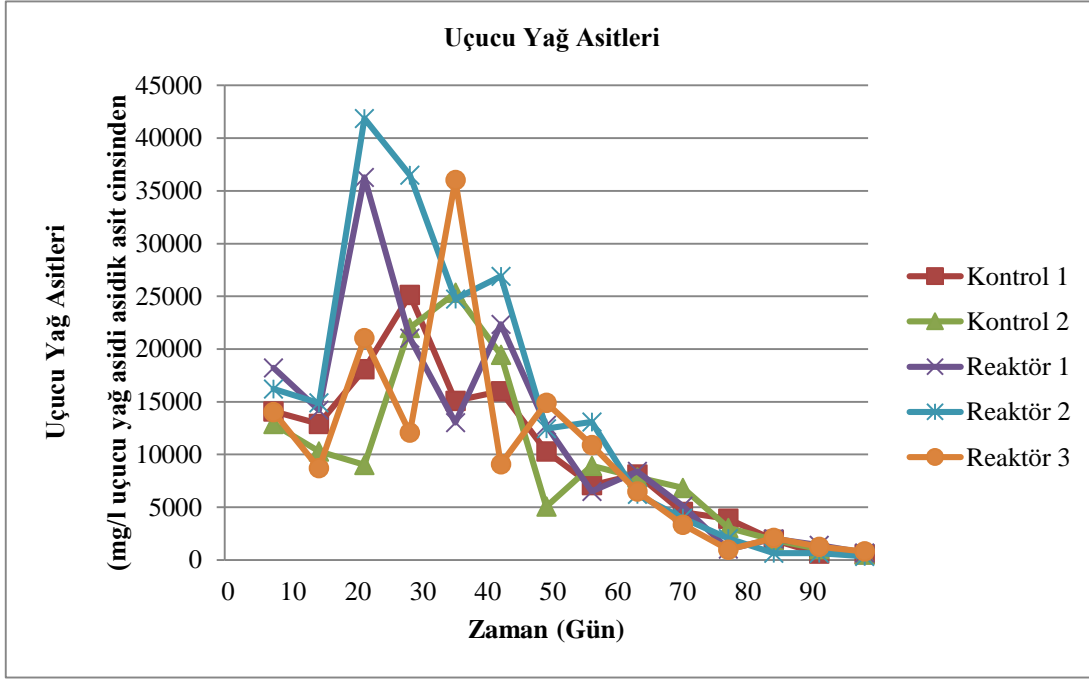
Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 2	1,12	10,8	236,28	2,8	1,67	4,96
Reaktör 1	0,77	13,99	190,14	1,98	1,08	4,01
Reaktör 3	0,58	8,54	182,1	1	0,81	3,98
Kontrol 2	0,09	10,12	166,8	1,11	1,21	3,46
Kontrol 1	4,92	6,02	161,01	2,03	12,36	12,12

Tablo 9.46 : Reaktörlerdeki 100. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 2	0,8	9,98	231,5	2,5	1,01	4,12
Reaktör 1	0,71	13,86	187,9	1,67	0,98	3,94
Reaktör 3	0,49	8,41	180,4	0,91	0,82	3,67
Kontrol 2	0,1	10,01	164,6	1,11	1,1	3,01
Kontrol 1	4,86	5,87	158,5	1,97	11,96	11,98

Uçucu Yağ Asitleri

Uçucu yağ asitleri anaerobik çürütme ve metan eldesi için en önemli parametrelerden biridir. Bu asitler anaerobik çürütmenin asetogenesis evresinde oluşup; metanogenesis evresinde ise karbondioksite çevrilmektedirler. Uçucu yağ asitlerinin ortamda artışı, eğer sistemde gerekli tamponlama kapasitesi yoksa pH düşmesine bundan dolayı anaerobik prosesin durmasına sebep olmaktadır (Şekil 9.104).



Şekil 9.104 : Uçucu Yağ Asitleri Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi

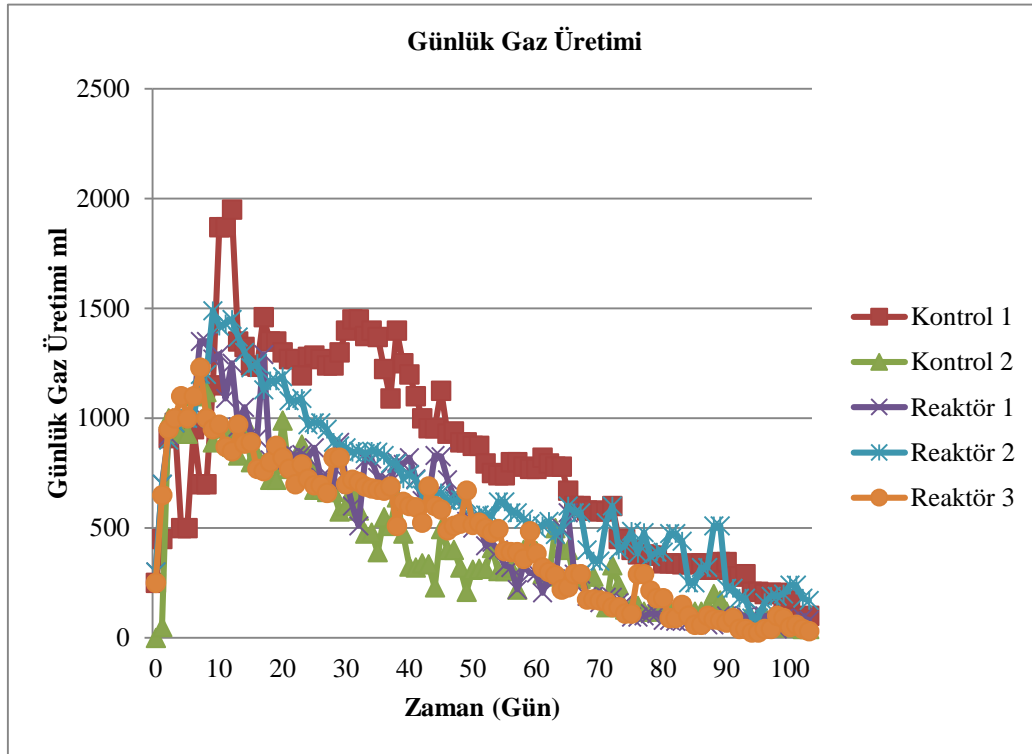
Gaz Analizleri

Gaz hacmi ve bileşimi, atık sahası stabilizasyon süreçlerinin anaerobik şekilde ilerlediğini gösteren unsurlardan en önemlisidir. Atığın anaerobik dönüşümünün ana ürünleri metan ve karbondioksittir. Diğer yandan aerobik katı atık bozunmasının ana ürünleri de su ve karbondioksittir.

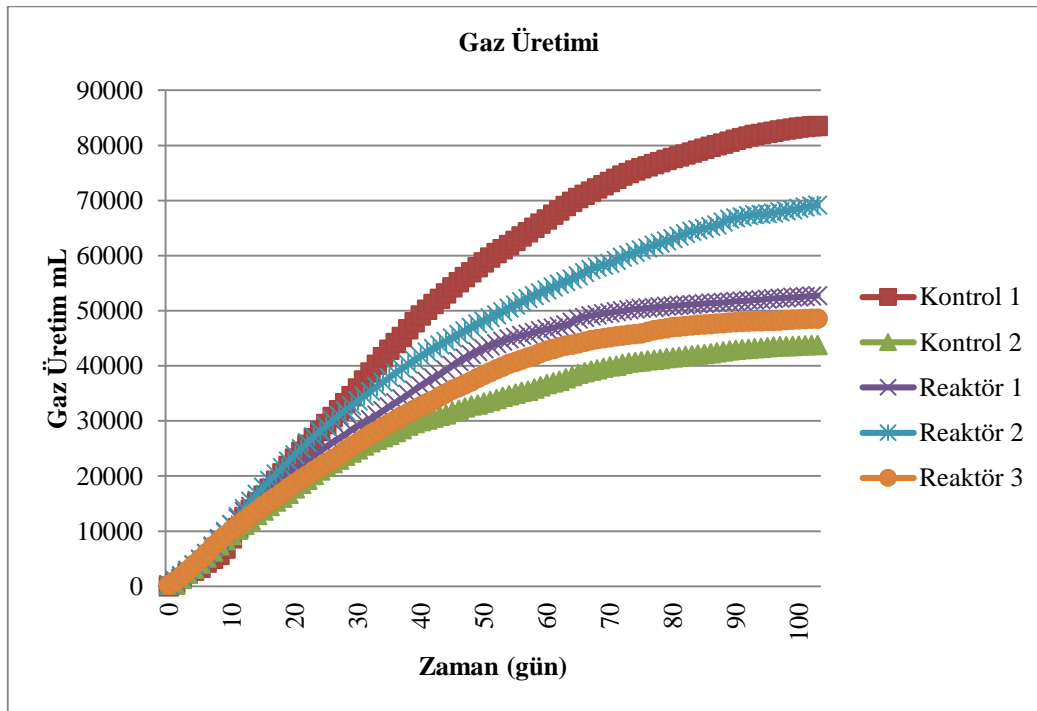
Anaerobik reaktörlerde günlük gaz üretimi, 24 saat içinde üretilen gazın toplam miktarını kaydetme yoluyla ölçülmüştür. Sonuçlar, reaktörlerin içindeki mikrobiyal faaliyetle ilgili olan reaktör performansının kantitatif nitelendirmesi için kullanılabilir.

Anaerobik indirgeme aşaması esnasında, metanojenik bakteriler ortaya çıkmaya başlamaktadır ve gaz üretim hızı bu nedenle yükselmektedir. Anaerobik koşullar altında, atığın organik kısmının bozunması esnasında ortaya çıkan başlıca gazlar metan ve

karbondioksittir ve kararlı metanojenik faz sırasında sırasıyla %55-65 ve %35-45 oranında bulunmaktadır (Çınar ve Onay, 2004). Reaktörlerin günlük ve kümülatif gaz ölçümleri Şekil 9.105 ve Şekil 9.106'da verilmektedir.

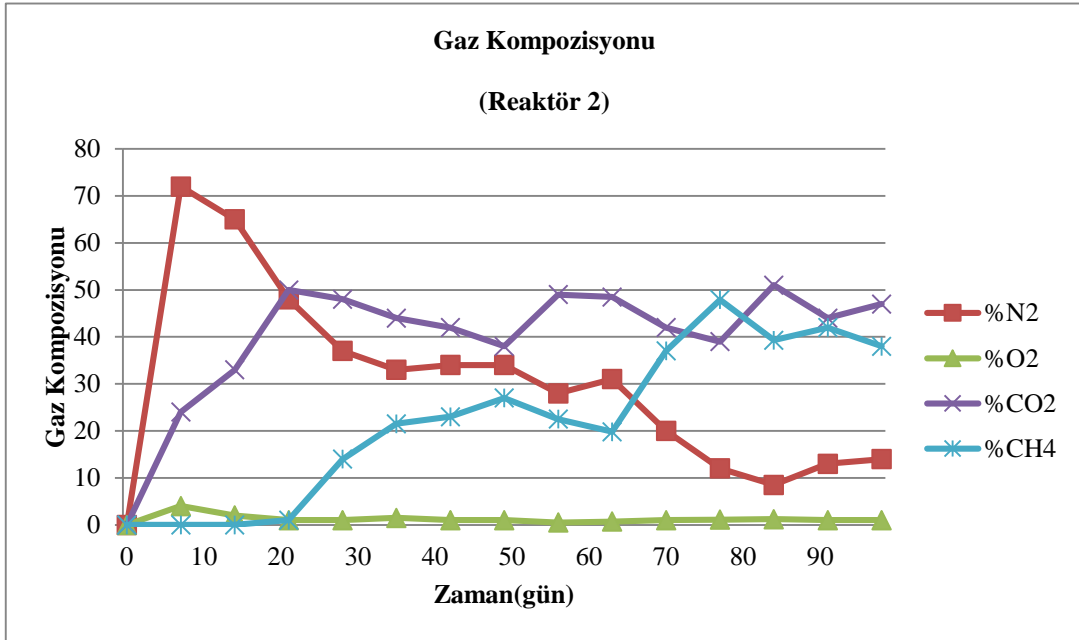


Şekil 9.105 : Reaktörlerin Günlük Gaz Üretim Miktarları

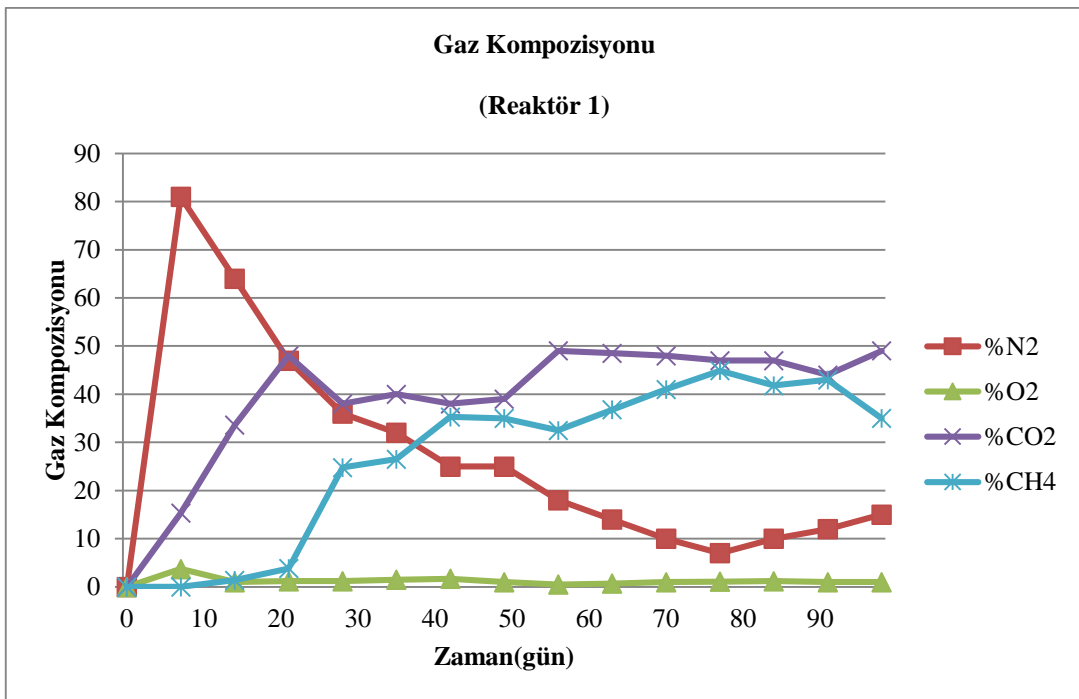


Şekil 9.106 : Reaktörlerin Kümülatif Gaz Üretim Miktarları

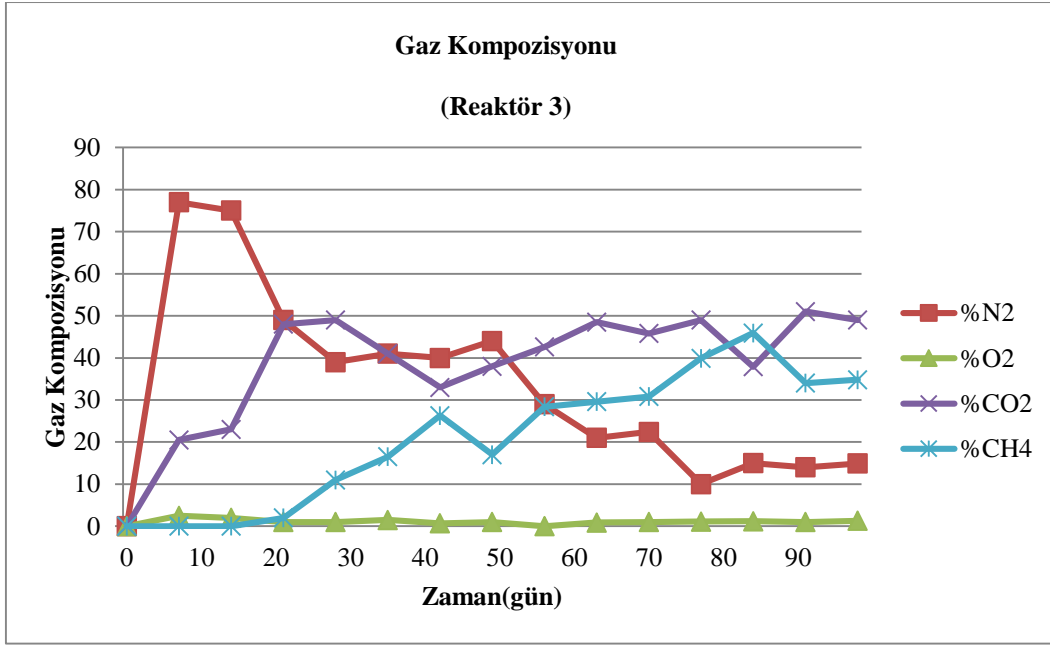
Reaktörlere ilişkin gaz kompozisyon analiz sonuçları Şekil 9.107, Şekil 9.108, Şekil 9.109, Şekil 9.110 ve Şekil 9.111 arasındaki şekillerde sunulmaktadır.



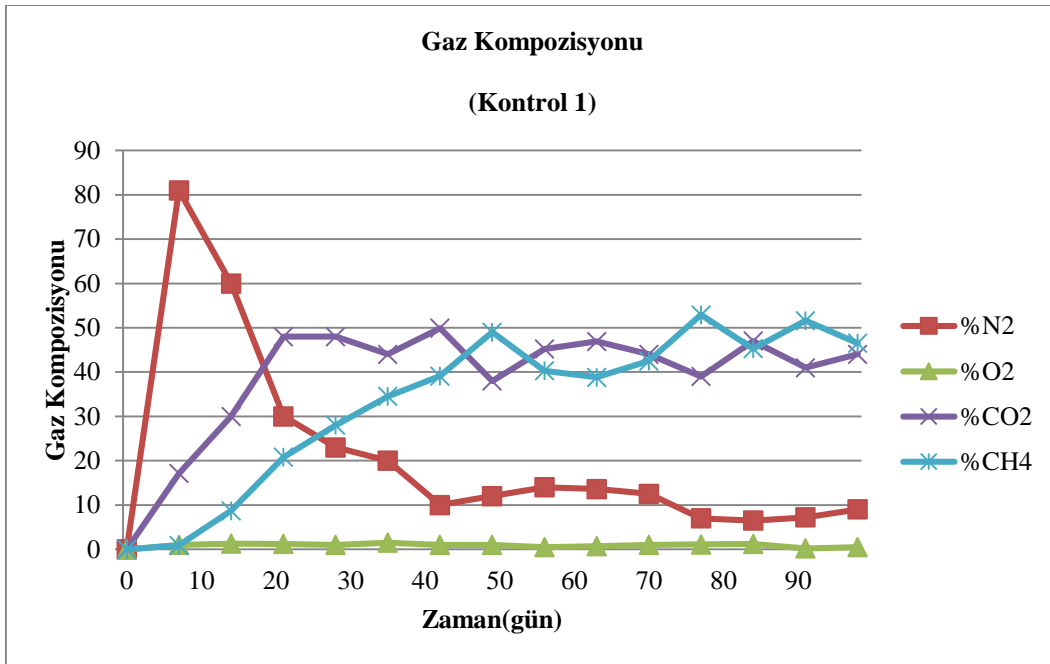
Şekil 9.107 : Reaktörünün Gaz Kompozisyonu



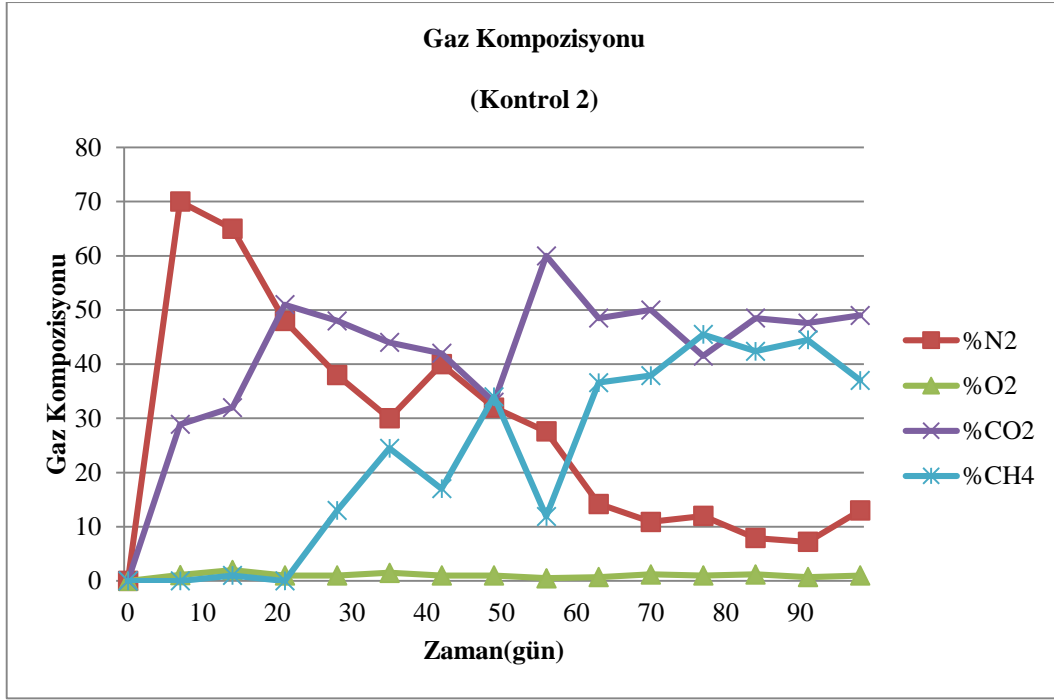
Şekil 9.108 : Reaktörünün Gaz Kompozisyonu



Şekil 9.109 : Reaktörünün Gaz Kompozisyonu



Şekil 9.110 : Kontrol Çamur Reaktörünün Gaz Kompozisyonu



Şekil 9.111 : Kontrol Katı Atık Reaktörünün Gaz Kompozisyonu

Katı atıkların evsel/kentsel arıtma çamurları ile birlikte depolanmasında en verimli çamur: katı atık oranını bulmak için küçük reaktörlerle yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Reaktörlerde pH parametresi Kontrol 1 reaktörü dışında tüm reaktörlerde aynı eğilimi göstermiştir. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen verilere göre Kontrol 1 Reaktörü dışındaki tüm reaktörlerde 20. günün sonunda metan üretimi için en uygun olan pH aralığına ulaşılmıştır. Kontrol 1 Reaktörü, kurulduğu ilk günden itibaren optimum pH aralığındadır. Reaktör 2 (1:4) ise en hızlı optimum pH değerlerine ulaşmış reaktördür.

Reaktörlerin ikinci gününden itibaren ORP değerlerinde hızlı bir azalma görülmektedir. Özellikle 30. günden sonra ORP negatif değerlere ulaşılmış, 60. günden sonra ise reaktörlerin ORP değerleri hızla yükselmeye başlamıştır. Bu dönemde KOİ ve gaz üretim oranlarında da bir düşüş gözlemlenmektedir. Kontrol 1 Reaktörü en düşük ORP değerine (-200,5) ulaşmıştır. Anaerobik çürütme sırasında negatif ORP değerleri elde edilmesi gerekmektedir.

KOİ değerleri her reaktör için aynı eğilimi göstermiştir. Bu değerler, 19. ve 25. günler arasında maksimum değerlerine ulaşmış; daha sonrasında ise azalma eğilimine girmişlerdir. Bu durum reaktörlerin ilk günlerindeki hızlı katı atık bozunmasından dolayı

artış göstermiş; daha sonrasında ise azalmaya başlamışlardır. Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen verilere göre reaktörlerin giderimi Őu Şekilde sıralanmaktadır: Kontrol 1’de %92,8; Kontrol 2’de %95,4; Reaktör 1’de %94,3; Reaktör 2’de %95,9 ve Reaktör 3’te %94,2. Bu oranlardan grldğe KOİ giderimi en yüksek olan reaktör, Reaktör 2 (1:4)’dir. Reaktör 2 en yüksek çamur:kati atık oranına sahip olmasına rağmen, bu reaktörün KOİ giderimi diğer reaktörlerle aynıdır. Bu sonuç, anaerobik biyoreaktörlere aerobik ve anaerobik çamur eklenmesinin sistem performansı üzerine herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığını ve biyoreaktörlerin çamur bertarafı sorununun olası bir çözümü olabileceğini göstermektedir.

Yapılan alışmalarda, NH₃-N ve TKN konsantrasyonlarının aynı trend gösterdiği sonucuna varılmaktadır. Hiçbir reaktörde amonyak azotu konsantrasyonu, zehirleyici bir etkiye ulaşmamaktadır. Reaktörlerin çalıştığı ilk günlerde amonyak konsantrasyonlarının asidik evrede hızlı bir Şekilde çözünmesinden dolayı TKN ve NH₃-N konsantrasyonlarında hızlı bir artış görülmektedir. 30. günden sonra her iki parametrede azalmaya başlamıştır. Yapılan araştırmalar TKN ve NH₃-N konsantrasyonlarında çok büyük bir değişim olmadığını göstermektedir. Buna rağmen en yüksek giderim verimi Reaktör 2’den alınmıştır.

Ortofosfat anaerobik rtme açısından önemli bir ntrienttir. Reaktörlerde bulunan ortofosfat konsantrasyonlarında önemli bir değişim gözlenmemekle birlikte ortofosfat fosforu konsantrasyonlarının mikroorganizmaların çalışması için yeterli miktarda olduğu tespit edilmiştir. Reaktörlerde ortofosfat fosforu konsantrasyonlarını küçük bir miktarda azalma eğilimi göstermektedir. Ortofosfat lmleri sonucunda elde edilen veriler, çamurun daha fazla eklendiği reaktörlerde daha yüksek ortofosfat konsantrasyonuna sahip olduğunu göstermektedir.

Alkalinite bu çalışmada incelenen önemli parametrelerden biridir. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilere göre, reaktörlerin ilk günlerinde yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonundan dolayı alkalinite de bir artış görülmüştür, sonrasında ise alkalinite değerleri azalma eğilimine girmiştir. Bu durum uçucu yağ asitlerinin metana dönüşümünden kaynaklanmaktadır. Deney süresince, Kontrol 1 reaktörünün alkalinite konsantrasyonlarının diğer reaktörlerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum mevcut bulgularla açıklanamamaktadır. Alkalinite konsantrasyonları, deneysel çalışma boyunca kati atıkların ayrışması sonucunda ortaya çıkacak uçucu yağ asitlerinin olası pozitif etkilerine tampon olabilecek düzeydedir.

Yapılan araştırmaların sonucunda reaktörlerin tümünde sülfat konsantrasyonlarına rastlanmıştır. Reaktörlerin hepsinde, metan oluşum safhasına geçişte sülfat konsantrasyonları sülfite indirgenerek hızlı bir azalma eğilimi göstermişlerdir. İlk 20 günde Kontrol 1 Reaktörü dışındaki reaktörlerde sülfat konsantrasyonlarının arttığı, Kontrol 1 Reaktörü'nde ise sürekli azaldığı gözlemlenmektedir. Bu durum reaktörlerin ilk günlerinden itibaren Kontrol Çamur Reaktöründe metan oluşumunun da bir göstergesidir. Yapılan araştırmalar sonucunda Reaktör 2'de bulunan sülfat konsantrasyonunun daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum bu reaktörde daha fazla metan oluştuğunun da göstergesidir.

Reaktörlerde bulunan ağır metal konsantrasyonları deney süresi boyunca önemli bir değişim göstermemekle birlikte en yüksek giderim Reaktör 2'de olmuştur. Bunun yanı sıra çamurun daha fazla eklendiği reaktörlerde ağır metal konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ağır metal konsantrasyonları bütün reaktörlerde azalma eğilimi göstermektedir.

Toplam uçucu yağ asitleri konsantrasyonları deney yapılan tüm reaktörlerde ilk 20 günde artmış; daha sonrasında ise azalmıştır. İlk 20 gündeki artışın sebebi hızlı bozunmadır. Yapılan araştırmaların sonucunda elde edilen veriler; Reaktör 2'de daha yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonu oluştuğunu göstermektedir.

Reaktörlerin ilk günlerinde günlük gaz üretim miktarları günde 0-1950 mL arasında değişmektedir. Kontrol 1 reaktöründen en yüksek miktarda gaz çıkışı olmuştur (1950 mL/gün). Bu değeri Reaktör 2 (1490 ml/gün) izlemektedir. Reaktörlerin çalıştırıldığı son günlerde günlük gaz üretim miktarları 30 ml.'e kadar düşüş göstermektedir. Reaktörlerdeki kümülatif gaz üretim miktarları řu şekilde kaydedilmiştir: Kontrol 1 81335 ml, Reaktör 2 69155 ml, Reaktör 1 52735 ml, Reaktör 3 48565 ml ve Kontrol 2 43805 ml. Yapılan deney çalışmalarının sonucunda açıkça görülmektedir ki çamur eklemesinin daha yüksek olduğu reaktörlerden daha yüksek miktarda gaz çıkışı elde edilmiştir.

Reaktörlerde analizlenen bir diğer önemli parametre de gaz kompozisyonudur. Kontrol Çamur reaktörü dışında reaktörlerin ilk günlerinde CH₄ gazı gözlemlenmemiştir. Kontrol Çamur reaktöründe yapılan ilk ölçümlerde sistemde CH₄ gazı varlığını ortaya koymaktadır. Reaktörlerin CH₄ gazı kompozisyonu %0- %52,9 arasında değişmektedir. Metan gazı için en yüksek oran Kontrol 1 reaktöründe elde edilmiştir. Bu değeri % 47,9 ile Reaktör 2 izlemektedir.

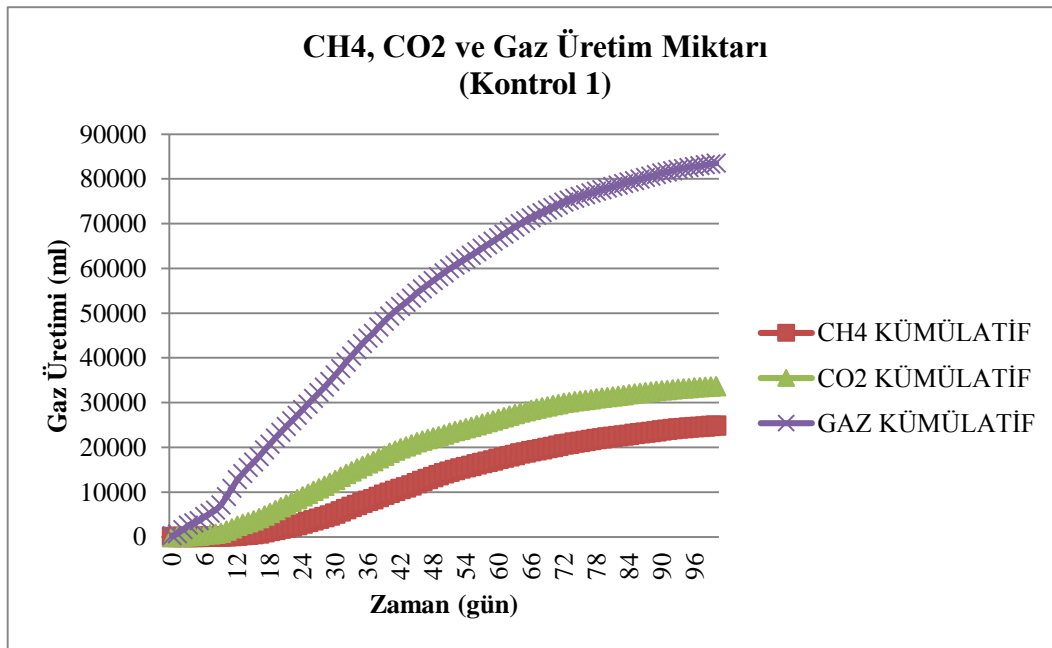
9.1.4.2.Küçük Ölçekli Reaktör Çalışması Sonuçları

Depolama sahalarında en verimli katı atık: çamur oranını bulabilmek için yapılan deney çalışmalarının sonucunda gaz kompozisyonu, günlük ve kümülatif gaz üretim ve toplam uçucu yağ asidi miktarı, sülfat ve ortofosfat fosforu konsantrasyonları, ağır metal, KOİ ve TKN giderim oranı ve pH değerleri açısından Reaktör 2 (1:4)'nin diğer reaktörlere göre daha uygun bir reaktör olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Bu değerlerin karşılaştırmaları Tablo 9.47 ve Şekil 9.112, Şekil 9.113, Şekil 9.114, Şekil 9.115 ve Şekil 9.116'da gösterilmektedir. Bunun yanı sıra Reaktör 2 Kontrol 2 Reaktörü ile karşılaştırıldığında aerobik çamur ile depolanan biyoreaktörlerin çok daha etkili bir seçenek olduğunu ispatlamaktadır.

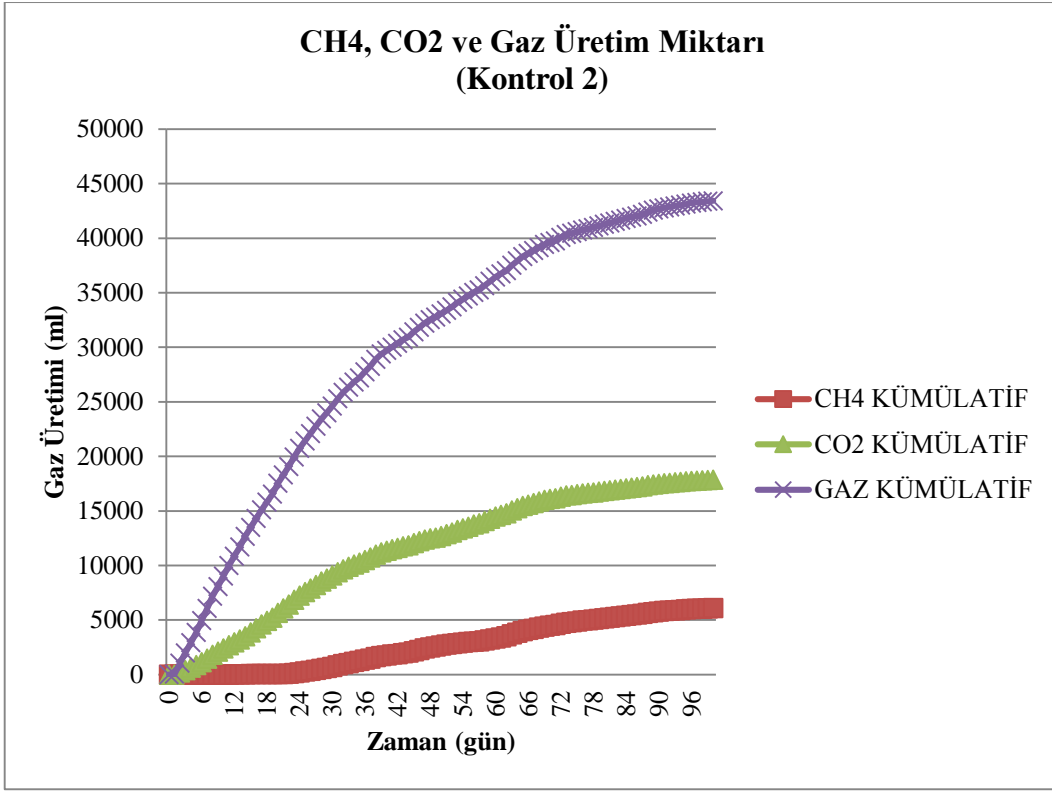
Yapılan araştırmalar sonucunda, İP 9 kapsamında büyük reaktörlerde gerçekleştirilecek ikinci kısım çalışmasında 1:4 çamur ve katı atık oranını kullanılmıştır.

Tablo 9.47 : Reaktörlerin Karşılaştırılması

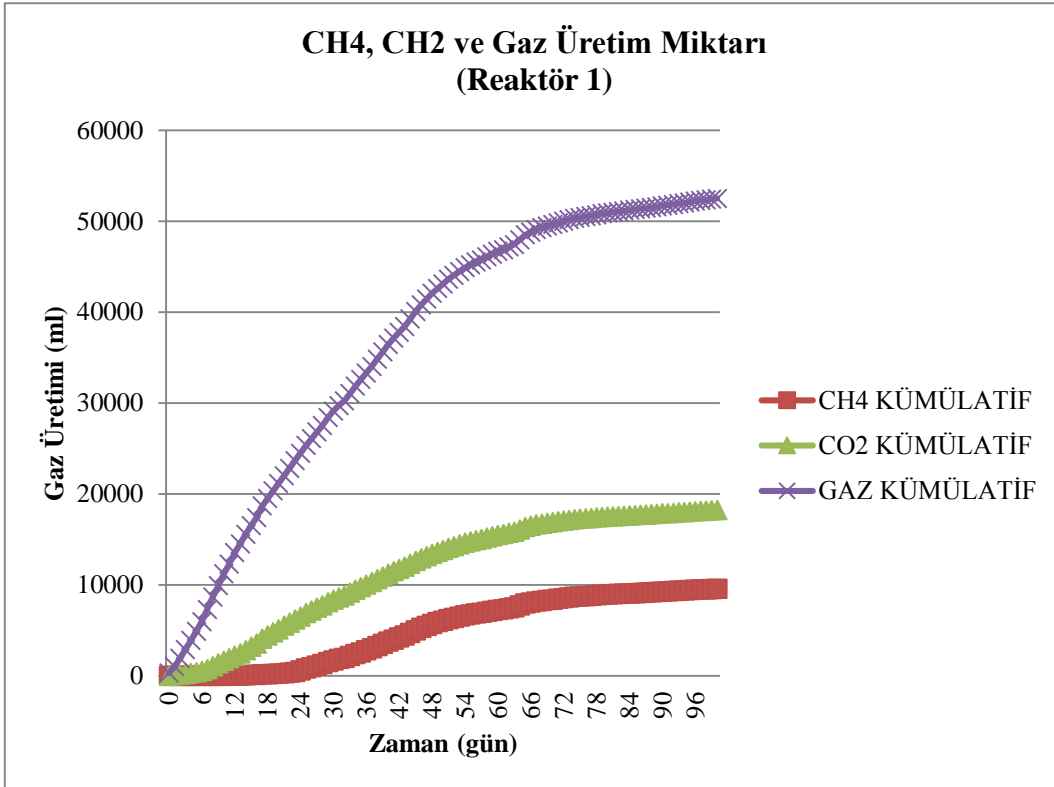
Deney/Reaktör	Kontrol 1	Kontrol 2	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3
KOİ giderimi (%)	95,4	92,8	94,3	95,9	94,2
TKN giderimi (%)	21,2	37,1	36,5	36,8	32,9
VFA miktarı (mg/L)	138240	134100,2	162958,1	200441,4	141661,3
Kümülatif Gaz (mL)	83535	43805	52735	69155	48565
Kümülatif CH ₄ (mL)	24841,23	6087,33	9572,74	10829,5	6093,1



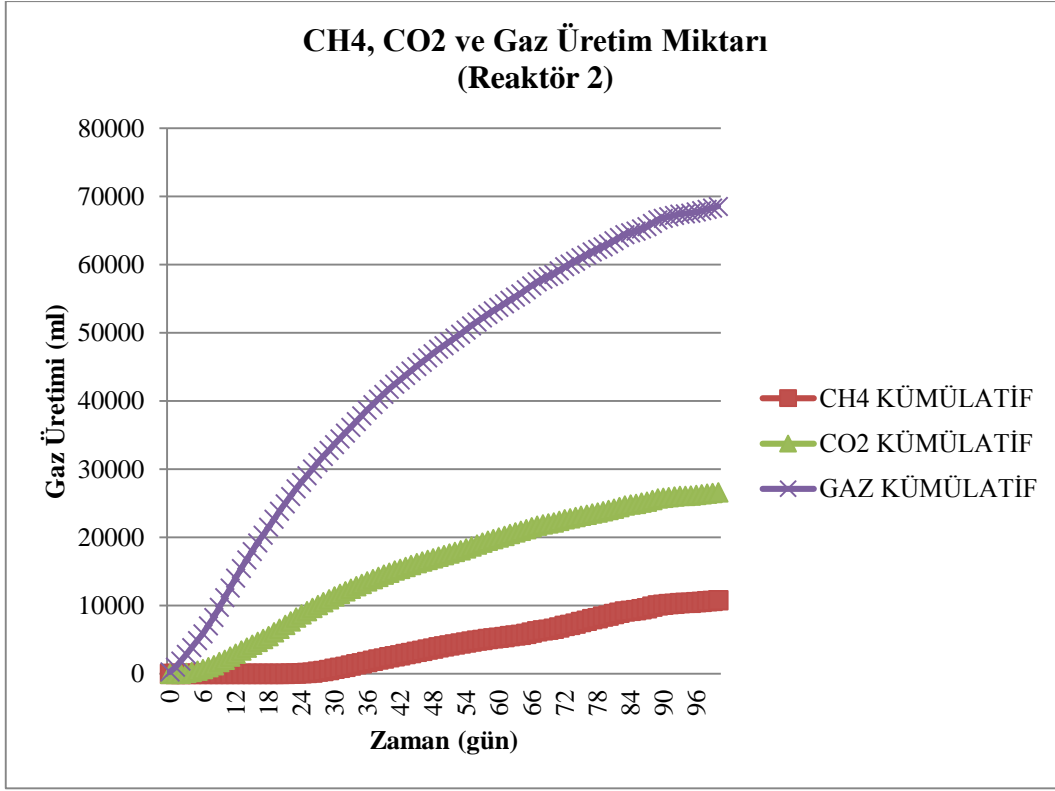
Şekil 9.112 : Kontrol 1 Reaktörünün Gaz Üretim Miktarları



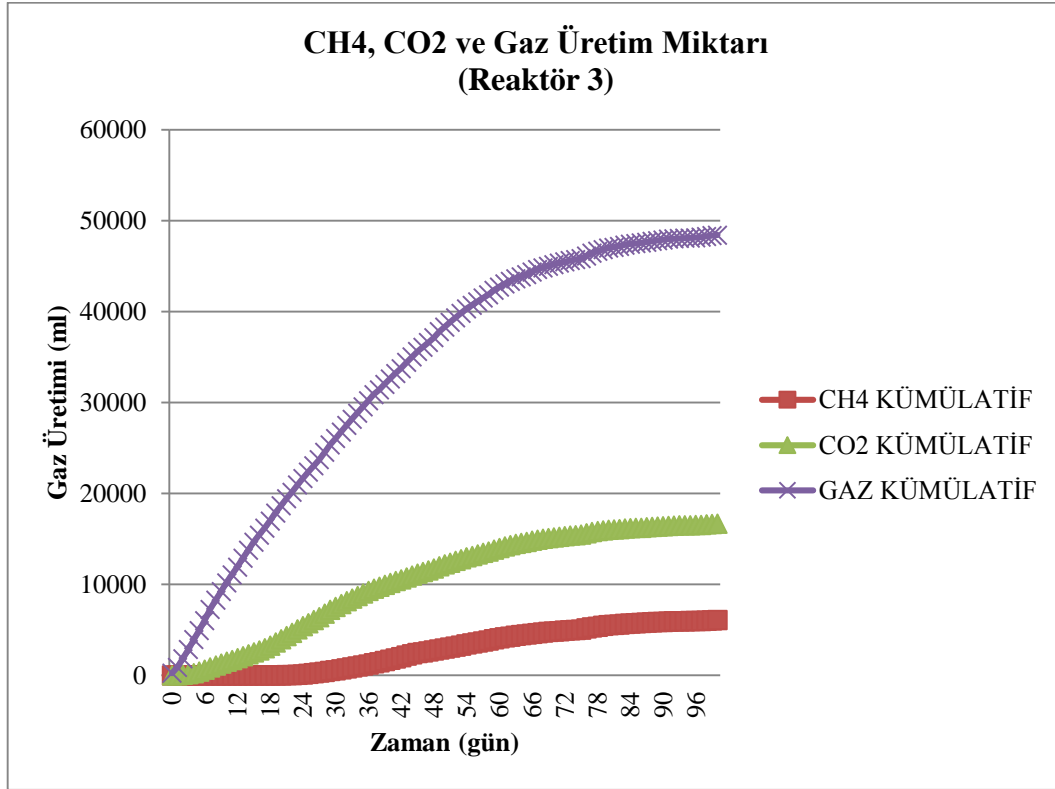
Şekil 9.113: Kontrol 2 Reaktörünün Gaz Üretim Miktarları



Şekil 9.114 : Reaktör 1 Gaz Üretim Miktarları



Şekil 9.115 : Reaktör 2 Gaz Üretim Miktarları

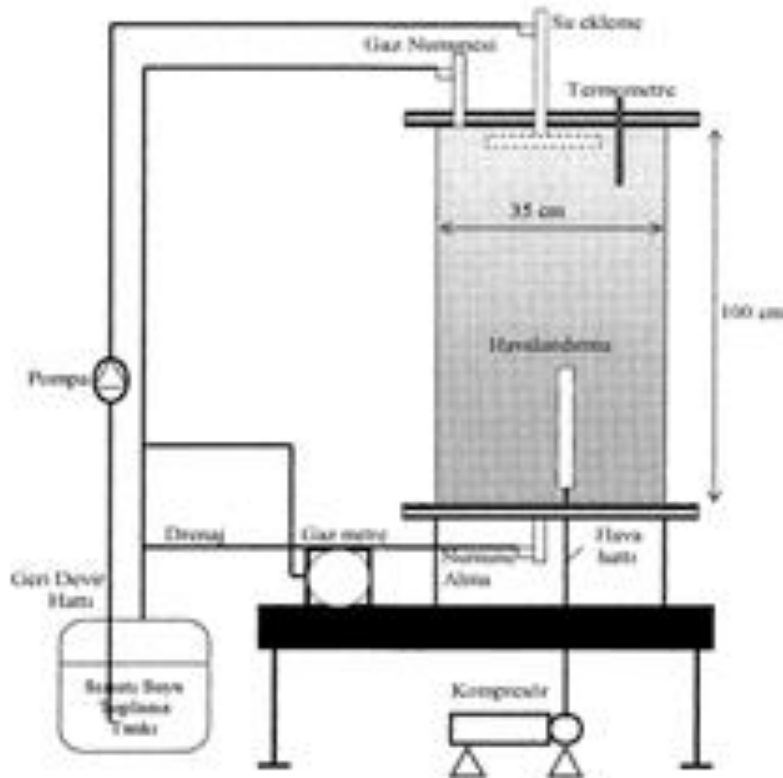


Şekil 9.116 : Reaktör 3 Gaz Üretim Miktarları

9.1.4.3.Pilot Ölçekli Bioreaktör Düzeneği

Proje kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda 100 cm yüksekliğinde ve 35 cm çapında olmak üzere, 100 litrelik iki farklı reaktör kullanılmıştır. Reaktörlerden biri aerobik, diğeri ise anaerobik şartlar altında çalıştırılmıştır. Reaktörler sıcaklığı sabit 32 °C olan sıcak oda dışletilmiştir. Reaktörler önceden yapılmış olan küçük reaktör çalışmasından elde edilen veriler doğrultusunda 1:4 çamur keki: katı atık oranında doldurulmuştur. Reaktörlerde sızıntı suyu geri devri pompa yardımıyla yapılmıştır. Günlük ve kümülatif gaz çıkış miktarları ise ıslak gaz metre ile ölçülmüştür.

Anaerobik reaktörde, oksijen gazını giderebilmek için, dolun yapıldığı günde reaktörlerden azot gazı geçirilmiştir. Aerobik reaktörlerde ise, havalı ortam koşullarını sağlayabilmek için akış hızı 2,2 L/dak olan bir kompresör kullanılmıştır. Reaktörler toplamda 180 gün çalıştırılmıştır. Reaktörlerin deneysel düzeneği Şekil 9.117’da gösterilmektedir.



Şekil 9.117 : Deneysel Düzenek

Reaktörlerin nem içeriği % 55-60'a ayarlanmış olup anaerobik reaktöre 3000 gram aşı çamuru ilave edilmiştir. Buna göre reaktörlerin dolum oranları ve yüklenen atık yoğunlukları detaylı olarak Tablo 9.48'de verilmektedir.

Tablo 9.48 : Reaktörlerin Dolum Oranları

Reaktör	Nem içeriği %	Katı atık - ıslak (g)	Aerobik çamur keki - ıslak(g)	Aşı çamuru - ıslak (g)	Yoğunluk (kg/m ³)
Reaktör 1 (Anaerobik)	60	16000	4000	3000	847,5
Reaktör 2 (Aerobik)	55	16000	4000	-	872,8

Reaktörlere eklenen aerobik çamur keki Marmara Bölgesinde seçilmiş bir Atıksu Arıtma Tesisi'nden (Paşaköy AAT), anaerobik aşı çamuru olarak eklenen çamur ise Fritolay AAT'den temin edilmiştir. Katı atıklar İstanbul'un çöp kompozisyonuna uygun olacak şekilde sentetik olarak hazırlanmıştır (Tablo 9.49) (İştaç Raporu; Sezgin ve Özcan, 2003; Çevre ve Orman Bakanlığı Raporu). Reaktörlerde yapılan tüm deneyler ve sıklıkları Tablo 9.50'de detaylı olarak gösterilmektedir.

Tablo 9.49 : Katı Atık Kompozisyonu (İştaç Raporu; Sezgin ve Özcan, 2003; Çevre ve Orman Bakanlığı Raporu)

Malzeme	%
Organik	54
Kağıt	10,50
Çimen ve ot	5
Plastik	7
Cam	6
Metal	3
Elektronik	0,50
Diğerleri (Bebek bezi vb.)	6
Kül	8
Toplam	100

Tablo 9.50 : Yapılan Analizler

Parametre	Günlük	Haftalık	Aylık
pH	X		
ORP	X		
KOİ		X	
Alkalinite		X	
Gaz Kompozisyonu (CH ₄ ,CO ₂ ,O ₂ ,N ₂)		X	
Amonyak Azotu (NH ₃ -N)		X	
Ortofosfat (PO ₄ ³⁻)		X	
Uçucu Yağ Asitleri		X	
TKN		X	
Günlük Gaz Üretim Miktarı	X		
Sülfat		X	
Ağır Metaller			X

Sızıntı Suyu ve Giriş Analizleri

Reaktörlere konulan katı atık ve çamurun özelliklerini ve uygunluğunu kontrol edebilmek için dolun yapılmadan önce kullanılan katı atık, sızıntı suyu ve çamur başlangıç deneyleri (Tablo 9.51, Tablo 9.52, Tablo 9.53, Tablo 9.54) verilmiştir. Yapılan bu deneylerin sonucunda kullanılan katı atık ve çamurun biyolojik aktiviteye uygun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 9.51 : Katı Atık ve Çamur Deney Sonuçları

Numune	pH	Nem İçeriği (%)	TKN (mg/L)	KOİ (mg/L)	Yoğunluk (kg/m ³)
Katı Atık	6,18	35,12	51094,04	31093	187,5
Aerobik Çamur	8,01	36,52	59963,17	16134,12	720
Anaerobik Çamur	7,26	93,89	15401,68	23909,5	572,2

Tablo 9.52: Elemental Analiz Sonuçları

Numune	C (%)	H (%)	O (%)	C/N
Katı Atık	38,17	5,19	7,46	5,42
Aerobik Çamur	31,98	5,03	3,19	8,96
Anaerobik Çamur	34,65	4,72	3,12	6,17

Tablo 9.53 : Ağır Metal Analiz Sonuçları

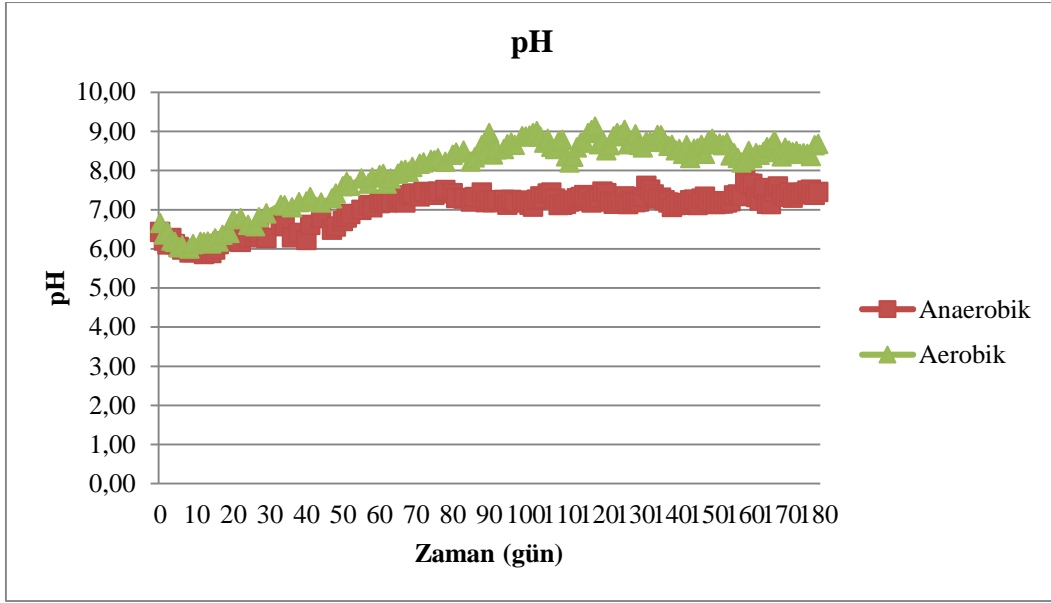
Numune	Cr mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg
Anaerobik Çamur	44,20	175,43	12054	43,78	43,08	824,34	0,59	9,79
Aerobik Çamur	39,65	50,22	143,60	17,49	35,67	83,91	1,81	4,20
Katı Atık	14,15	73,37	4193,4	8,8451	12,51	32,00	0,248	3,35

Tablo 9.54 : Alkalik ve Toprak Metal Analiz Sonuçları

Reaktor	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
Anaerobik Çamur	6375	6587,5	8862,5	1068,75
Katı Atık	3607,5	1598	1895,5	246,25
Aerobik Çamur	6426	1691,5	4894,25	842

pH

Sızıntı suyunun pH değeri atık stabilizasyonunu gösteren önemli parametrelerden biridir. Bunun yanı sıra, atıkların ayrışması sırasında pH değeri, bakterilerin verimli çalışabilmesi için uygun bir ortam hazırlamaktadır. pH özellikle anaerobik koşullar altında yürütülen sistemler için daha önemlidir. Çünkü metan bakterileri en uygun 6-8 pH aralığında çalışmaktadır. Aşırı asidik veya bazik ortamlarda bu bakterilerin faaliyetleri azalabilmektedir. Metan üretimi en uygun 7-7,2 pH aralığında oluşmaktadır (Emcon Associations 1980). Şekil 9.118'de sızıntı suyundaki pH değişimleri verilmektedir.

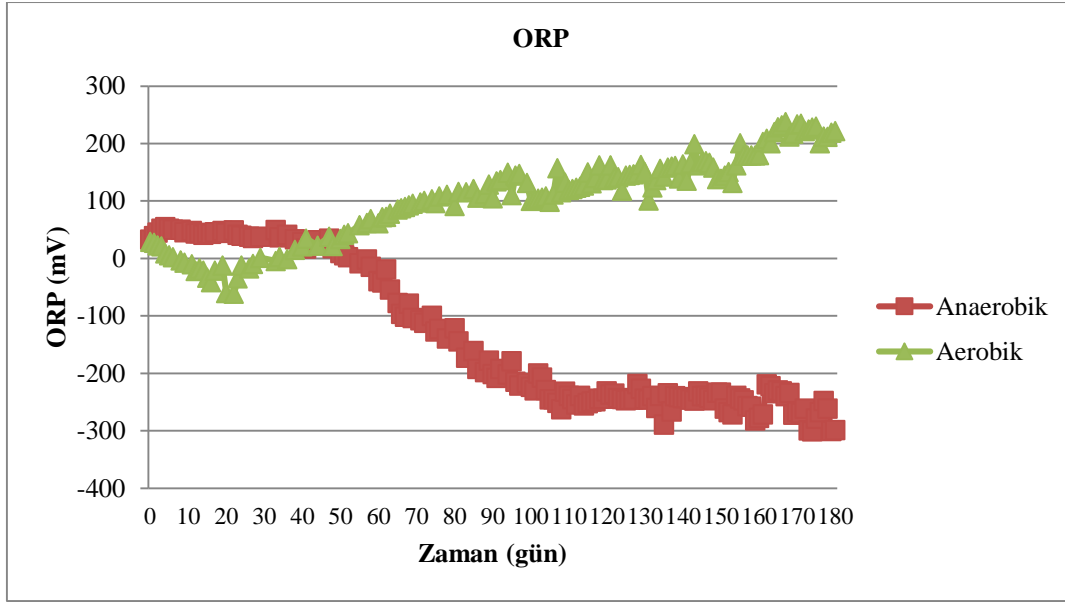


Şekil 9.118 : Sızıntı Suyundaki pH Değişimleri

Reaktörlerde pH parametresi her iki reaktörde de aynı eğilimi göstermiştir. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen verilere göre; Anaerobik Reaktör’de 55. günün sonunda metan üretimi için en uygun olan pH aralığına ulaşılmıştır. Aerobik Reaktör’de ise 30. günden sonra nötr pH değerlerine ulaşılmıştır. Aerobik Reaktör, aerobik koşullar altında çalıştırıldığından dolayı pH değerleri Anaerobik Reaktör’e göre daha yüksektir. Bunun nedeni aerobik koşulların sağlanabilmesi için hava kompresörünün reaktöre CO₂ akışı sağlamasıdır. Aerobik reaktörlerin pH aralığı genelde 7-9 aralığında değişmektedir (Çınar ve Onay, 2004).

ORP

Katı atık depolama sahalarında, ORP (Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli) katı atıkların ayrışma mekanizmalarını belirlemektedir. Düşük ORP değerleri atığın anaerobik olarak ayrıştığının bir göstergesidir. Yüksek ORP değerleri ise atığın daha hızlı bir şekilde bozunmasını sağlamak ve atığın aerobik olarak ayrıştığının bir göstergesi olmaktadır. Şekil 9.119’de reaktörlerdeki sızıntı suyunun ORP değerlerinin zaman göre değişimi verilmektedir.

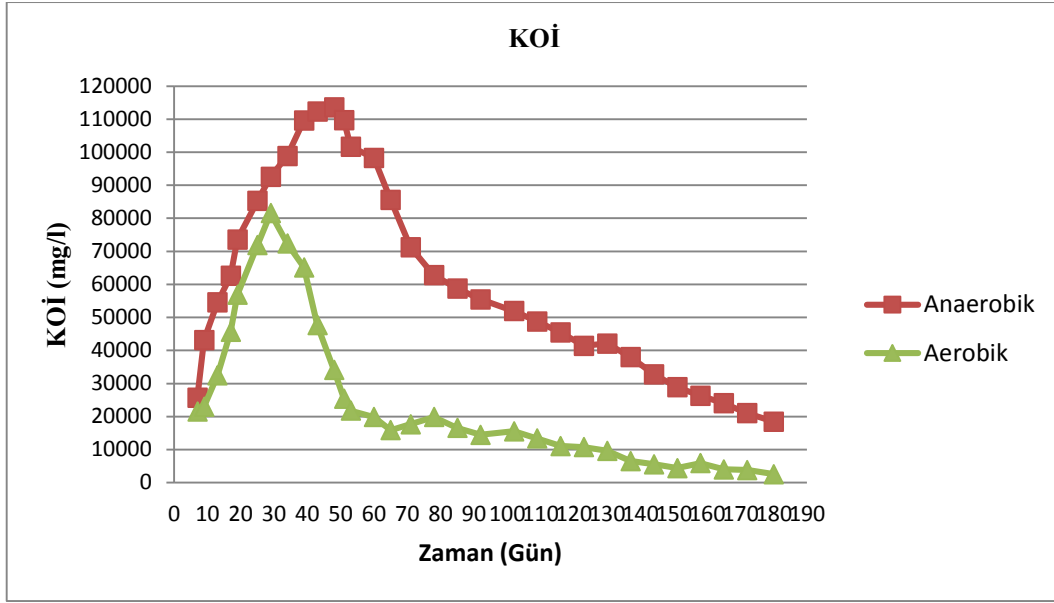


Şekil 9.119 : Sızıntı Suyunun ORP Değerlerinin Zamanla Değişimi

Reaktörlerin her ikisinde de başlangıç ORP değerleri anaerobik reaktör ve aerobik reaktör için sırasıyla 32,6 ve 28,9'dur. ORP değerleri, Aerobik Reaktör'de 22. güne kadar düşüş gösterip negatif değerlere ulaşmıştır. Bunun nedeni ilk baştaki hızlı bozunmadır. Daha sonra ise pozitif değerlere ulaşmış, 100-300 mV arasında değişen değerler almıştır. Anaerobik Reaktör'de ORP değerleri 57. günden sonra negatif değerlere ulaşmış; -100, -300 mV arasında değişen değerler almıştır. Anaerobik çürütme sırasında negatif ORP değerleri elde edilmesi gerekmektedir.

KOI

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ise, organik madde muhtevasının oksijen eşdeğerinin bir ölçüsüdür. Depo sahalarında yapılan çalışmalarda, atıkların ayrışmasının ilk safhalarında sızıntı suyunun organik madde muhtevasının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Genç depo sahalarında oluşan sızıntı sularının muhteviyatındaki organik maddelerin önemli bir kısmı (%90) organik asitlerden kaynaklanmakta ve bu organik asitlerin de %90'a varan kısmı asetik, propiyonik ve bütirik asitlerden ileri gelmektedir (Emcon Associations 1980). Şekil 9.120'de reaktörlerdeki sızıntı suyunun kimyasal oksijen ihtiyacının zaman göre değişimi gösterilmektedir.

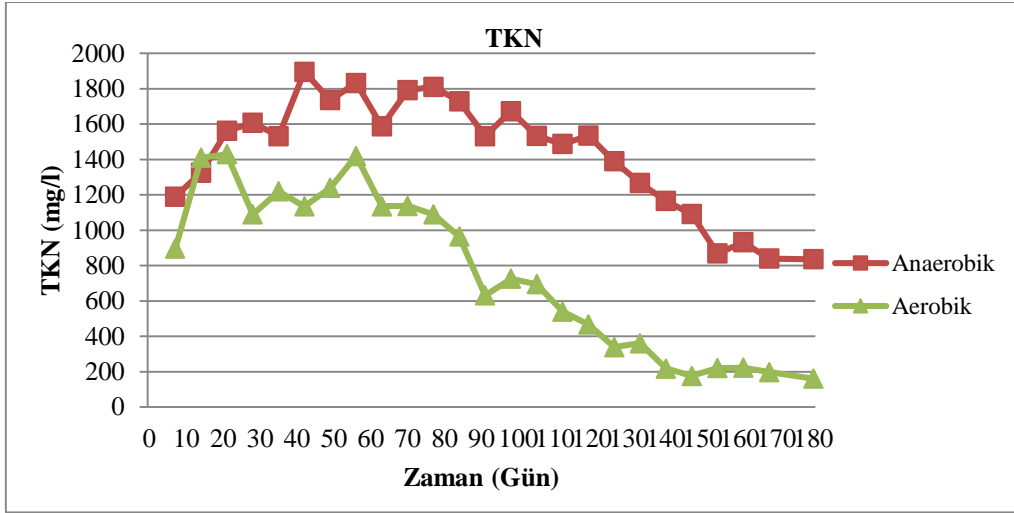


Şekil 9.120 : Reaktörlerin Sızıntı Sularının KOİ Değerlerinin Zamanla Değişimi

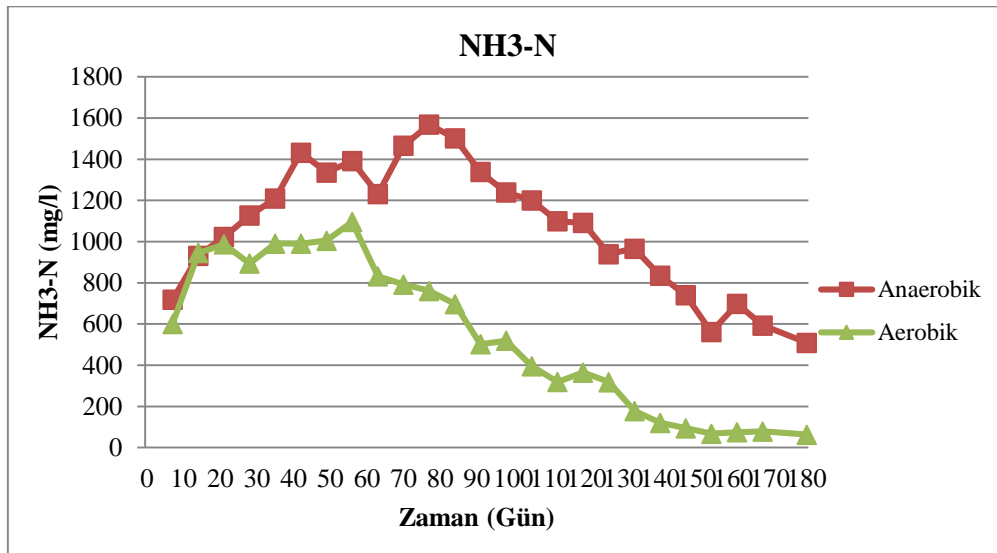
KOİ değerleri her iki reaktör içinde aynı eğilimi göstermiştir. Bu değerler, Anaerobik Reaktör’de 65. güne kadar yükselip azalmaya başlamıştır. Anaerobik Reaktör’deki KOİ konsantrasyonunda ki yükselip azalma, VFA konsantrasyonun artıp azalmasıyla da teyit edilmiştir. Aerobik Reaktör’de ise 29. güne kadar yükselip, pH değeri nötr olduktan daha sonra azalmaya başlamıştır. Aerobik Reaktör’de daha yüksek bir KOİ giderimi oluşmuştur. Bunun sebebi aerobik ortamlarda atığın daha hızlı bozunmasıdır. Bu durum pozitif ORP değerleriyle de teyit edilmiştir.

TKN ve NH₃- N

Amonyak, genellikle proteinlerin ayrışması sonucunda ortaya çıkmaktadır. TKN organik azot ve amonyak azotunun (NH₃-N) toplamıdır. Özellikle anaerobik depolama sahalarında, amonyak konsantrasyonları depolama sahalarında ki en büyük sorunlardan biridir; uzun sürede katı atık depolama sahalarından giderimi sağlanamamaktadır. Amonyak azotu yüksek değerlerde ve pH’larda metanojen bakterilerinin çalışmasını durdurmaktadır. Şekil 9.121 ve Şekil 9.122 reaktörlerdeki sızıntı suyunun TKN ve NH₃-N konsantrasyonlarının zamanla değişimini göstermektedir.



Şekil 9.121 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun TKN Değerlerinin Zamanla Değişimi

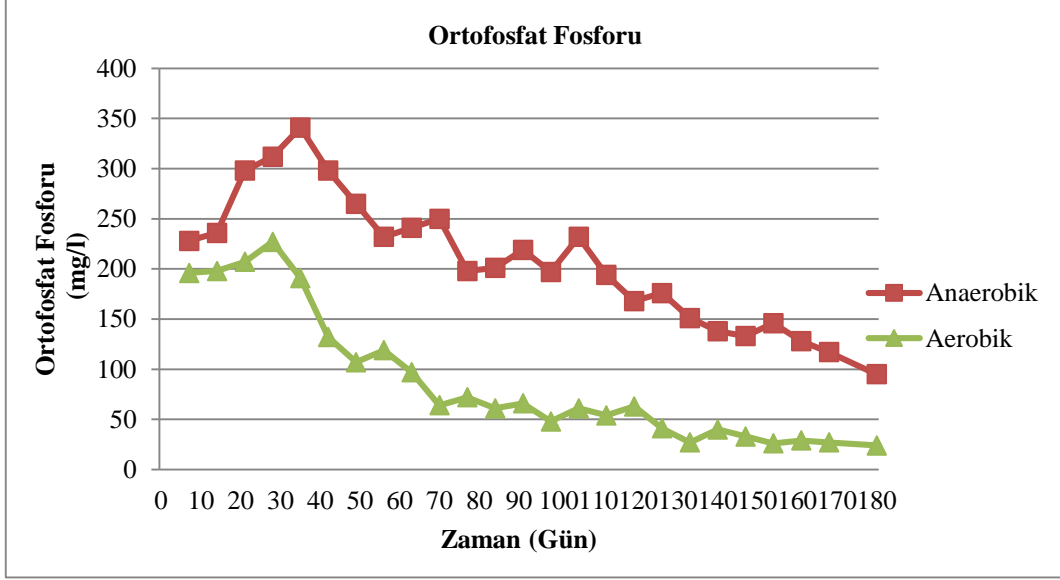


Şekil 9.122 : Reaktörlerdeki sızıntı suyunun amonyak azotu değerlerinin zamanla değişimi

Yapılan çalışmalarda, $\text{NH}_3\text{-N}$ ve TKN başlangıç konsantrasyonlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Hiçbir reaktörde amonyak azotu konsantrasyonu, bakterilerin biyolojik aktivitesini engelleyen bir değere ulaşmamaktadır. Reaktörlerin çalıştığı ilk günlerde TKN ve $\text{NH}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarında hızlı bir artış görülmektedir. Aerobik Reaktör'deki TKN ve $\text{NH}_3\text{-N}$ konsantrasyonları deneyin sonunda 161 mg/L değerine ulaşmıştır. Anaerobik reaktörde $\text{NH}_3\text{-N}$ konsantrasyonlarının giderimi çok düşüktür. Bu durum anaerobik biyoreaktörlerde amonyak konsantrasyonlarının sabit kalmasından kaynaklanmaktadır. Aerobik reaktörlerde ise nitrifikasyon prosesinden dolayı TKN ve $\text{NH}_3\text{-N}$ giderimi daha yüksektir.

Ortofosfat

Ortofosfat, fosfat seviyesinin kontrolünün en önemli göstergelerinden biridir. Bunun yanı sıra, mikrobiyolojik aktivite için ana besin maddelerinden biridir. Şekil 9.123'te reaktörlerdeki sızıntı suyundaki ortofosfat miktarının zamanla değişimi gösterilmektedir.

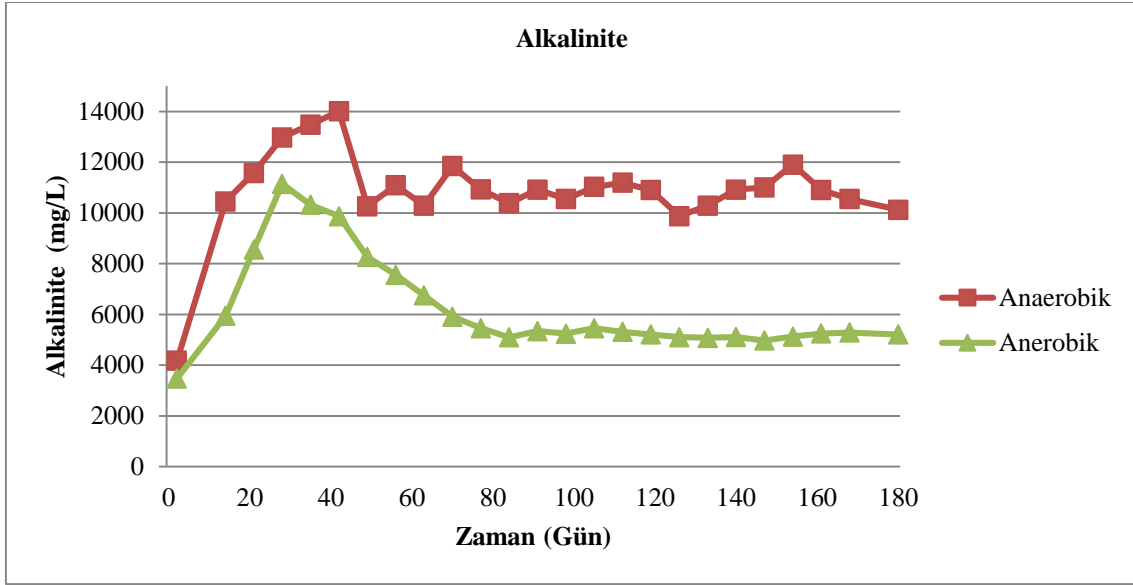


Şekil 9.123 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun Ortofosfat Değerlerinin Zamanla Değişimi.

Reaktörlerde sızıntı suyunda bulunan ortofosfat konsantrasyonlarının mikroorganizmaların çalışması için yeterli miktarda olduğu tespit edilmiştir. Reaktörlerin ilk günlerinde organik maddelerin hızlı bir şekilde bozunmasıyla birlikte ortofosfat konsantrasyonlarında bir artış görülmüştür. Anaerobik Reaktör'de aşı çamuru eklenmesiyle birlikte ortofosfat konsantrasyonunun daha yüksektir.

Alkalinite

Alkalinite, biyolojik aktivitenin gerekli düzeyde tutulması için optimum pH'nın düşmesine neden olan uçucu ve diğer asitlerin tamponlanma kapasitesini ifade etmektedir (Gunes, 1999). Düşük miktarlardaki alkalinite biyolojik aktivitenin durmasına sebep olmaktadır. Katı atık depolama sahalarında, metan oluşumu için en uygun alkalinite değeri 2000 mg/L'den daha yüksek olan değerlerdir (Bilgili, 2006). Alkalinitenin temel bileşenleri bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}) ve hidroksil (OH^-) dir. Şekil 9.124'de alkalinite konsantrasyonlarının sızıntı sularındaki zamanla değişimi gösterilmektedir.

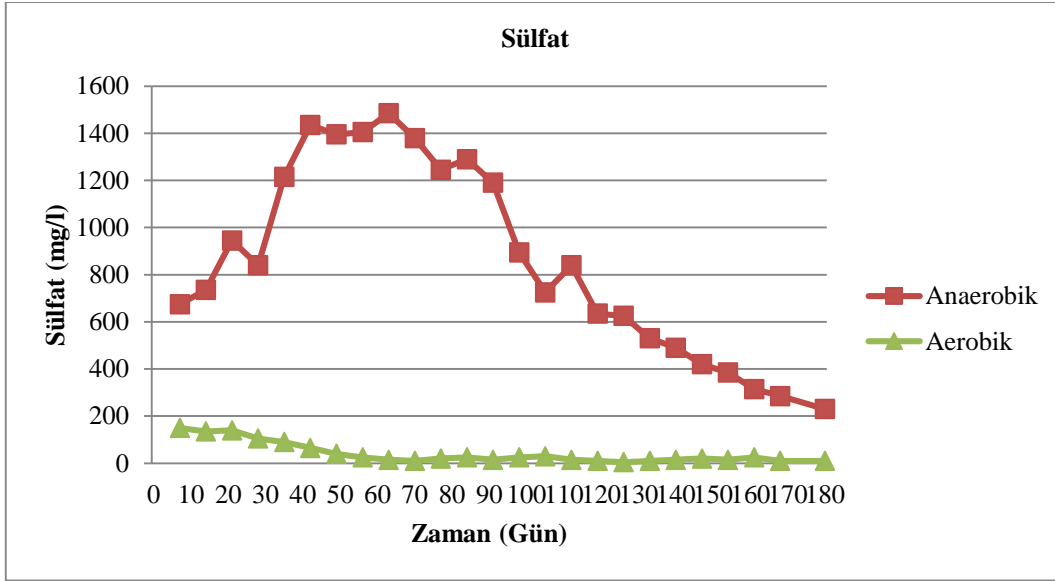


Şekil 9.124 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun Alkalinite Değerlerinin Zamanla Değişimi

Alkalinite bu çalışmada bakılan önemli parametrelerden biridir. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilere göre, Anaerobik Reaktör'in ilk günlerinde yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonundan dolayı alkalinite de bir artış görülmüştür, sonrasında ise azalma eğilimine girmiştir. Bu durum uçucu yağ asitlerinin metana dönüşümünden kaynaklanmaktadır.

Sülfat

Sülfat, anaerobik depolama sahalarında indirgenme koşullarının varlığının bir göstergesidir. Anaerobik sistemlerde asit safhasından metan oluşum safhasına geçişte sülfat konsantrasyonları sülfite indirgenerek azalmaya başlamaktadır. Şekil 9.125'de sülfat konsantrasyonlarının zamanla değişimi gösterilmektedir.



Şekil 9.125 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun Sülfat Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi

Yapılan araştırmaların sonucunda reaktörlerin tümünde sülfat konsantrasyonlarına rastlanmıştır. Anaerobik Reaktör’de ilk 60 gün boyunca sülfat konsantrasyonlarında artış görülmüştür. Daha sonra, metan oluşum safhasına geçişte sülfat konsantrasyonlarının sülfite indirgenerek azalmaya başlamıştır. Bu durum pH, gaz kompozisyonu, VFA ve KOİ konsantrasyonlarıyla da teyit edilmiştir. Aerobik Reaktör’de çok düşük miktarlarda sülfat konsantrasyonlarına rastlanmıştır, bu değerler 70. Günden sonra 25-5 mg/L seviyelerine düşmüştür.

Ağır metal

Ağır metaller sızıntı suyundaki en önemli kirleticilerdir. Reaktörlerin depolanması sırasında sentetik evsel katı atık kullanıldığından dolayı seyrek ölçümler yapılmıştır. Tablo 9.55, Tablo 9.56, Tablo 9.57, Tablo 9.58, Tablo 9.59, Tablo 9.60’da değişik zaman dilimlerindeki ağır metal konsantrasyonları gösterilmektedir.

Tablo 9.55: Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun 30. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 1	1,58	19,35	267,98	0,96	1,99	1,66
Reaktör 2	0,54	5,32	52,29	0,14	1,38	0,13

Tablo 9.56 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun 60. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 1	1,12	10,8	232,24	2,8	2,07	4,69
Reaktör 2	0,77	5,99	50,14	1,98	1,41	2,01

Tablo 9.57 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun 90. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 1	0,8	9,98	231,5	2,5	1,91	4,58
Reaktör 2	0,51	5,84	48,9	1,67	1,62	2,44

Tablo 9.58 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun 120. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 1	0,36	8,73	218,56	2,1	1,67	4,26
Reaktör 2	0,18	4,75	43,25	1,05	1,35	2,13

Tablo 9.59 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun 150. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 1	0,42	7,81	196,24	1,98	1,08	4,01
Reaktör 2	0,17	4,99	40,16	0,89	1,42	1,82

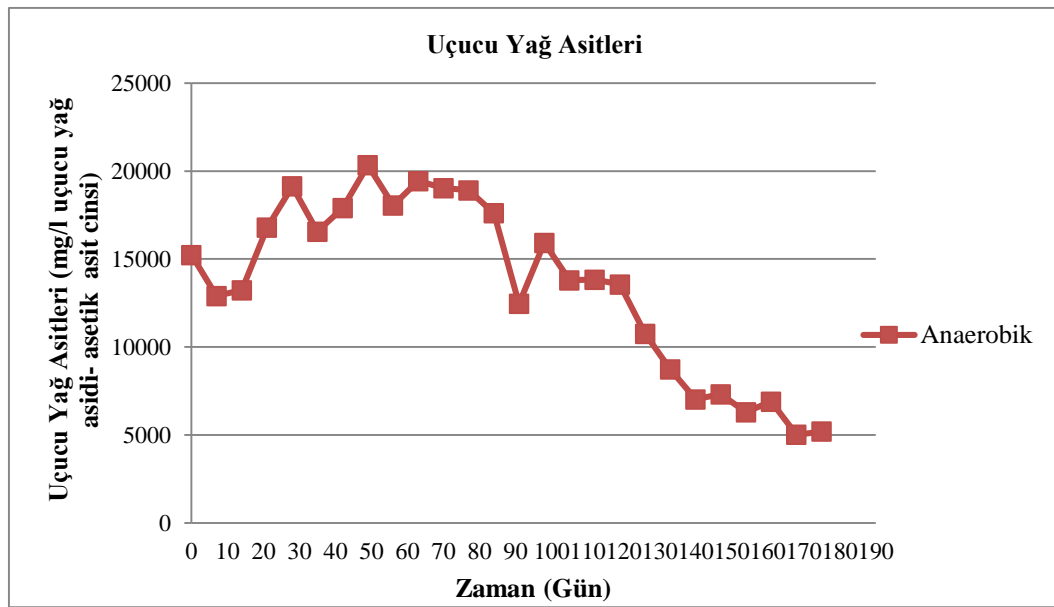
Tablo 9.60 : Reaktörlerdeki Sızıntı Suyunun 180. Gün Ağır Metal Konsantrasyonları

Reaktör	Cr (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)
Reaktör 1	0,38	6,98	181,5	1,5	0,91	3,18
Reaktör 2	0,09	4,46	37,9	0,87	0,98	1,94

Reaktörlerde bulunan ağır metal konsantrasyonları deney süresi boyunca önemli bir değişim göstermemiştir. Reaktörlerdeki tüm ağır metal değerleri biyolojik aktiviteyi olumsuz olarak etkileyecek değerlerde değildir.

Uçucu Yağ Asitleri

Uçucu yağ asitleri anaerobik çürütme ve metan eldesi için en önemli parametrelerden biridir. Bu asitler anaerobik çürütmenin asit evresinde oluşup; metan evresinde ise karbondioksite çevrilmektedirler. Uçucu yağ asitlerinin ortamda artışı, eğer sistemde gerekli tamponlama kapasitesi yoksa pH düşmesine bundan dolayı anaerobik prosesin durmasına sebep olmaktadır (Şekil 9.126).



Şekil 9.126 : Uçucu Yağ Asitleri Konsantrasyonlarının Zamanla Değişimi

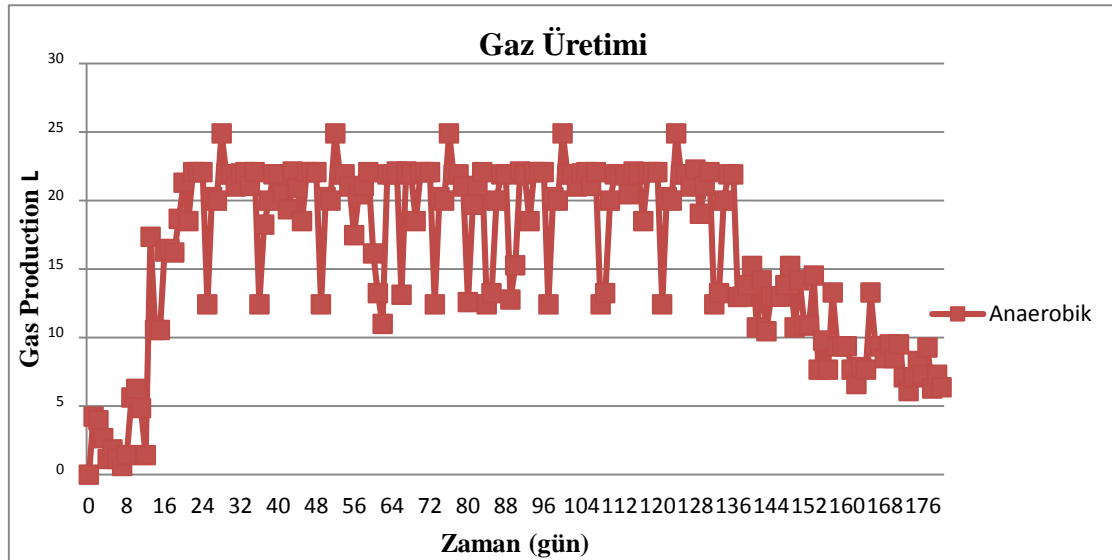
Toplam uçucu yağ asitleri konsantrasyonları Anaerobik Reaktör'de ilk 56 günde artmış; daha sonrasında ise azalmıştır. Bu durum COD konsantrasyonları ve gaz kompozisyonuyla da teyit edilmiştir. Metan oluşmaya başlamasıyla birlikte COD ve VFA konsantrasyonlarında hızlı bir azalma gözlenmiştir. Aerobik koşullar altında çalıştırılan Aerobik Reaktör'de VFA konsantrasyonları Anaerobik Reaktör'e göre çok daha düşüktür. Bunun nedeni aerobik sistemlerde organiklerin hızla bozunmasıdır.

Gaz Analizleri

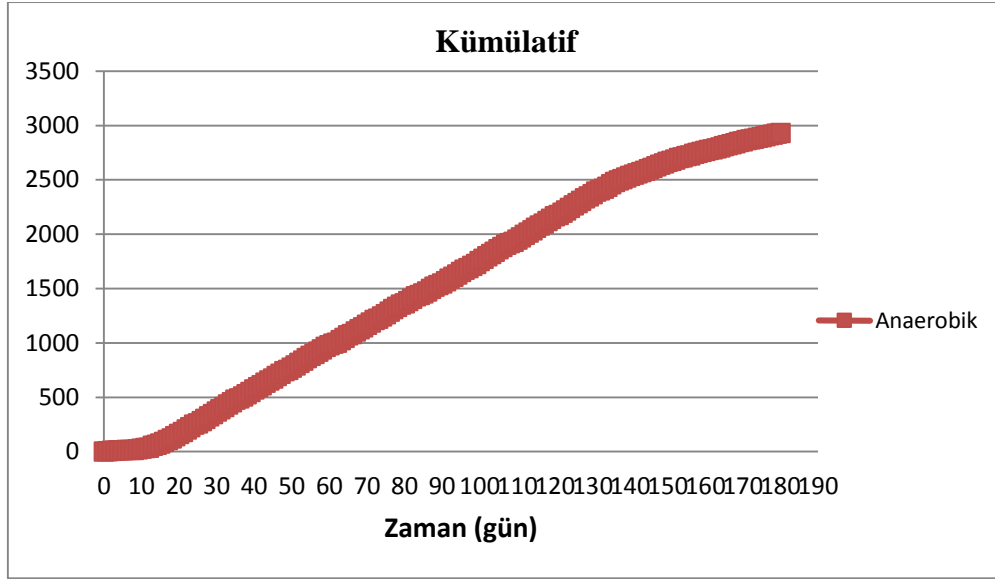
Gaz hacmi ve bileşimi, atık sahası stabilizasyon süreçlerinin düzgün olarak ilerlediğini gösteren unsurlardan en önemlisidir. Atığın anaerobik dönüşümünün ana ürünleri metan ve karbondioksittir. Diğer yandan aerobik katı atık bozununun ana ürünleri de su ve karbondioksittir.

Anaerobik reaktörlerde günlük gaz üretimi, 24 saat içinde üretilen gazın toplam miktarını kaydetme yoluyla ölçülmüştür. Sonuçlar, reaktörlerin içindeki mikrobiyal faaliyetle ilgili olan reaktör performansının kantitatif nitelendirmesi için kullanılabilir.

Anaerobik indirgeme aşaması esnasında, metanojenik bakteriler ortaya çıkmaya başlamaktadır ve gaz üretim hızı bu nedenle yükselmektedir. Anaerobik koşullar altında, atığın organik kısmının bozunması esnasında ortaya çıkan başlıca gazlar metan ve karbondioksittir ve kararlı metanojenik faz sırasında sırasıyla %55-65 ve %35-45 oranında bulunmaktadır (Çınar ve Onay, 2004). Günlük ve kümülatif gaz üretimi değerleri Şekil 9.127 ve Şekil 9.128’de gösterilmektedir.

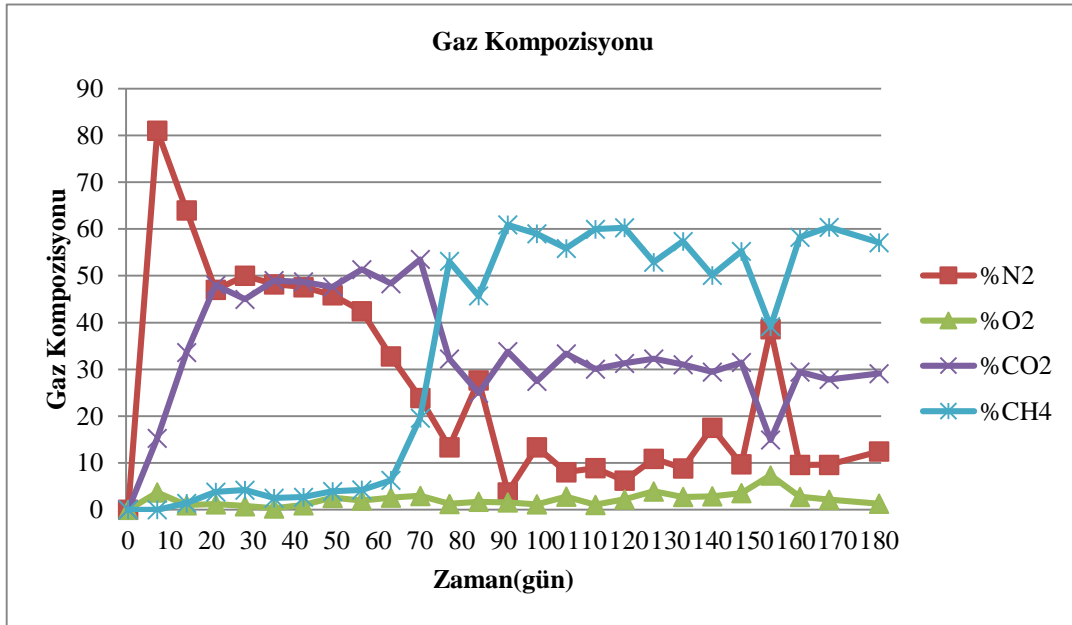


Şekil 9.127 : Reaktörlerin Günlük Gaz Üretim Miktarları



Şekil 9.128 : Reaktörlerin Kümülatif Gaz Üretim Miktarları

Günlük gaz üretim miktarları sadece Anaerobik Reaktör’de ölçülmüş olup; günlük gaz üretim miktarları günde 0-25 L arasında değişmektedir. 180 günün sonunda Anaerobik Reaktör’den toplamda 2930,48 litre gaz üretilmiştir. Özellikle reaktörün ilk günlerinde hızlı bozunmayla birlikte daha yüksek miktarlarda gaz çıkışı gözlemlenmiştir. Gaz kompozisyon analizleri Şekil 9.129’de sunulmaktadır.



Şekil 9.129 : Reaktör 1’in Gaz Kompozisyonu

Anaerobik Reaktör’ün ilk günlerinde CH₄ gazı gözlemlenmemiştir. pH’ın da uygun hale geldiği 49. günden sonra düzenli CH₄ gazı çıkışı başlamıştır. Anaerobik Reaktör’deki CH₄ gazı kompozisyonu %0- %60,9 arasında değişmektedir. KOİ giderimi yükseldikçe gaz

kompozisyonundaki CH₄ gazı oranı da artmıştır. Aerobik Reaktör aerobik şartlar altında yürütüldüğünden dolayı gaz kompozisyonuna reaktörlerin gaz kompozisyonunun değişmediği gözlemlenmiştir.

9.1.4.4.Pilot Ölçek Bioreaktör Düzeneği Sonuçları

Arıtma Çamurlarının Simüle Biyoreaktörlerde Evsel Çöp İle Beraber Stabilizasyonu çalışmalarının sonucunda elde edilen verilere göre, sülfat ve ortofosfat konsantrasyonları, KOİ ve TKN giderim oranı açısından aerobik olarak yürütülen reaktörlerin anaerobik reaktörlere göre daha uygun bir reaktör olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Özellikle kirletici konsantrasyonları aerobik reaktörde hem daha düşük, hem de giderimi daha hızlı ve kolay olmuştur. Bu giderimin hızlı olmasının sebebi havalandırmanın sağladığı oksitlenmedir. Ağır metal giderimi ve CH₄ oluşumuyla birlikte enerji üretme potansiyeli ortaya konulduğunda, anaerobik olarak yürütülen reaktörlerin kirletici giderim süresi daha yavaş fakat maliyet açısından daha uygulanabilir olduğu açıkça gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, sistem seçimi için daha detaylı bir fizibilite çalışması yapılarak bölgesel olarak ve çamur karakteristiği de göz önüne alınarak anaerobik/aerobik sistem seçimi yapılmalıdır. İşletme maliyetleri azaltmak amacıyla dünyada örnekleri görülen yarı-aerobik sistemler de denenmeli ve entegre çamur yönetimi kapsamında değerlendirilmelidir.

9.2. DEÜ Grubu Tarafından Yapılan Çalışmalar

Bu iş paketi kapsamında yürütülen aerobik ve anaerobik stabilizasyon çalışmaları, İP 8 kapsamında en etkin yöntem olarak belirlenen ultrasonikasyon ve mikrodalga ön işlemleri ve ayrıca enzimatik arıtım yöntemlerinin stabilizasyon derecesi üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda DEÜ grubu tarafından yürütülen çalışmalar, aşağıda detaylı olarak rapor edilmiştir.

Stabilizasyon çalışmalarında numune alınacak 4 atıksu arıtma tesisi, **Ege Bölgesi'nde** İzmir Çiğli İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) ve İzmir Foça İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (evsel), **Akdeniz Bölgesi'nde** Antalya Lara İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (evsel) ve Adana Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) olarak seçilmiştir. Bu tesislere ait son çökeltim havuzu çamur geri devir hattından alınan aktif çamur örnekleri ve ayrıca anaerobik stabilizasyon çalışmalarında kullanılmak üzere Pakmaya İzmir Fabrikası'ndan alınan anaerobik aşı çamuru üzerinde karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Numune alma programına göre gerçekleştirilen reaktör işletimlerinde Antalya Lara İleri Biyolojik AAT çamuru ile yürütülen stabilizasyon çalışmalarında, Pakmaya

İzmir Fabrikası anaerobik reaktörlerinde o dönem itibariyle bakım-onarım çalışmaları yapılmasından dolayı, anaerobik aşı çamuru Efes Biracılık ve Malt Sanayi A.Ş.'ne ait anaerobik reaktörlerden alınmıştır. Stabilizasyon çalışmalarında kullanılan aktif çamur örnekleri ve aşı çamurlarına ait karakterizasyon çalışmalarının sonuçları Tablo 9.61'de sunulmaktadır.

Tablo 9.61: Stabilizasyon çalışmalarında kullanılan aktif çamur ve aşı çamurunun özellikleri

Parametre	Çiğli AAT Aktif Çamur	Foça AAT Aktif Çamur	Pakmaya Anaerobi k Çamur	Adana AAT Aktif Çamur	Antalya AAT Aktif Çamur	Efes Anaerobi k Çamur
pH	6.96	7.00	6.89	6.70	6.8	7.00
Elektriksel İletkenlik, EC (mS/cm)	5.46	2.32	14.20	1.072	2.07	2.59
ORP (mV)	37.3	68.0	-437.3	-284.67	-190	-220
Toplam Katı Madde, TKM (%)	1.20	1.00	3.23	0.45	1.36	3.99
Organik Madde, OM (%)	58.55	63.60	49.90	72.98	71.28	81.94
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KOİ (mg/L)	3200	6400	-	4160	640	-
Çözünmüş KOİ, ÇKOİ (mg/L)	800	1600	-	120	480	-
Toplam Organik Karbon, TOK (mg/L)	271.6	328.7	4990	996	1610	-
Çözünmüş Organik Karbon, ÇOK (mg/L)	58.53	36.16	712.9	70.34	23.39	172.5
Toplam Fosfor, TP (mg/kg)	1070.2	1209.7	12227	2768	1914.7	2597.4
Toplam Azot, TN(%)	2.05	3.79	5.24	4.41	5.31	7.38
Kapiler Emme Süresi, KES (s)	24.4	15.3	375.9	99.8	15.9	55.6

9.2.1. Aerobik Stabilizasyon Uygulamaları

Aerobik stabilizasyon çalışmaları için kurulan deney sistemlerinde, her bir tesis için; kontrol (hiç bir ön arıtım/arıtım uygulanmamış), ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim arıtımı uygulanmış dört adet reaktör işletimi gerçekleştirilmiştir. Alkali ön işlem

uygulamaları ise sadece Adana ve Antalya AAT çamurları ile gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmalarda 2N NaOH ilavesiyle çamurların pH'ı 11'e getirilerek reaktörlere besleme yapılmıştır.

Aerobik stabilizasyon çalışmalarında işletilen her bir reaktör toplam 3 L hacimde olup, 2 L aktif çalışma hacmine sahiptir. Reaktörlerin işletim süresi 15 gün olarak belirlenmiştir. Ön işlem uygulamasının yapıldığı reaktörlerden elde edilen sonuçlar, kontrol reaktöründen elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak bu rapor kapsamında detaylı olarak sunulmuştur.

Ultrasonikasyon dezentegrasyonu için arıtma çamurlarına, IP 8'de optimum değer olarak bulunan 9690 kJ/kg TKM spesifik enerjide 43.2 W ve %40 amplitüde göre ayarlanan ultrasonikasyon dozu uygulanarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Mikrodalga dezentegrasyonu, arıtma çamurlarına Berghoff MWS-3+ cihazı kullanılarak, IP 8'de optimum koşul olarak tespit edilen 175°C sıcaklık ve 10 dakika süre ile mikrodalga uygulaması ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Enzim arıtımı olarak, arıtma çamurlarına stabilizasyon sırasında Alpha-amylase, Beta-glucanase (endo-(1,2(4)-), Lipase, Protease, Cellulase sınıfına ait 4 farklı hidrolitik ve 1 adet sellülotik enzimden oluşan karışım, hacimce %0.5'lik enzim karışımı olarak uygulanmıştır. Burada kullanılan enzimler ve en uygun doz TÜBİTAK 104Y375 nolu projeden temin edilmiştir.

Reaktörlerdeki çözülmüş oksijen konsantrasyonu, hava taşları kullanılarak en az 2 mg/L olacak şekilde sürekli kontrol altında tutulmuştur. Reaktörlerin toplam katı madde miktarı yaklaşık %1 olarak ayarlanmış ve dezentegrasyon hacmi, toplam reaktör hacminin 1/4'ü olarak uygulanmıştır.

Reaktörlerden alınan numunelerde stabilizasyon derecesinin belirlenmesi ve performans değerlendirmelerine yönelik olarak, toplam katı madde (TKM), organik madde (OM), toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve çözülmüş KOİ (ÇKOİ), toplam organik karbon (TOK), çözülmüş organik karbon (ÇOK), pH, redoks potansiyeli (ORP), elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık, çözülmüş oksijen, alkalinite, nitrat, nitrit, amonyak, toplam azot, toplam fosfor, klorür, sülfat, partikül boyut dağılımı analizleri yapılmıştır. Tüm analizler, Standart Metotlarda verilen yöntemlere göre "Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005" yapılmıştır. Bu iş paketi kapsamında gerçekleştirilen analizler paralel olarak gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar ortalama değerler olarak dikkate alınmıştır.

İşletilen tüm reaktörlerde patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiş olup, toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok, *Salmonella* ve Enterovirüs parametreleri izlenmiş; Helmint yumurta sayısı ve tanısı yapılmıştır. Analiz programına göre analizlenen parametreler ve bunlara ait ölçüm sıklıkları Tablo 9.62’te verilmektedir.

Tablo 9.62 : Aerobik Reaktörlerin İşletiminde Analizlenen Parametreler

Parametre	Analiz Sıklığı
Toplam Katı Madde	Haftada 2 defa
Askıda Katı Madde	Haftada 2 defa
Uçucu Katı Madde	Haftada 2 defa
Alkalinite	Haftada 2 defa
Çözünmüş oksijen	Her gün
Redox potansiyeli	Her gün
İletkenlik	Her gün
pH	Her gün
Sıcaklık	Her gün
Tuzluluk	Her gün
Toplam KOİ	Haftada 2 defa
Çözünmüş KOİ	Haftada 2 defa
TOK	Haftada 1 defa
ÇOK	Haftada 1 defa
TN	1. ve 15. Günlerde
TP	1. ve 15. Günlerde
KES	Haftada 1 defa
NH ₄ ⁺ -N, NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ⁼ , Cl ⁻	1. ve 15. Günlerde
Partikül boyut dağılımı	1. ve 15. Günlerde
Mikrobiyolojik parametreler	1. ve 15. Günlerde

9.2.1.1.Ege Bölgesi Analiz Sonuçları (Çiğli-Foça)

Aerobik stabilizasyon çalışmalarında Çiğli AAT ve Foça AAT çamurları ile çalıştırılan reaktörlerde yürütülen analizlere ait sonuçlar sırasıyla Tablo 9.63 ve Tablo 9.64’de özetlenmektedir.

Tablo 9.63 : Çiğli aerobik stabilizasyon reaktörlerinde izlenen çeşitli parametreler

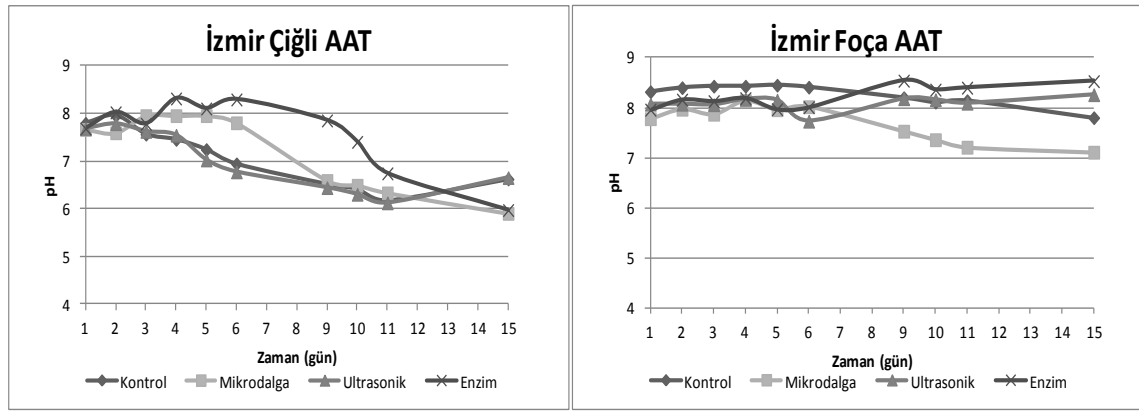
Parametre	Kontrol		Mikrodalga		Ultrasonikasyon		Enzim	
	1.	15.	1.	15.	1. gün	15. gün	1.	15. gün
pH	7.8	6.6	7.7	6.0	7.7	6.7	7.7	6.0
İletkenlik (mS/cm)	5.7	6.9	5.7	7.2	5.7	8.6	6.2	8.9
Tuzluluk (‰)	3.0	3.8	2.9	4.0	3.0	4.8	3.3	5.0
ORP (mV)	132	128	95	124	91	90	89	115
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	650	590	650	760	685	820	400	740
TKM (mg/L)	9910	8680	9640	8690	9410	8820	12010	10360
TUKM (mg/L)	5340	4580	5030	4430	5030	4270	7180	5300
AKM (mg/L)	6820	4700	6280	4060	6180	3960	8060	4160
UAKM (mg/L)	5340	4480	5100	3620	4960	3300	6700	3560
KOİ (mg/L)	5600	4400	5600	4400	5200	4000	6400	4800
ÇKOİ (mg/L)	240	240	320	160	400	160	1800	240

Tablo 9.64 : Foça Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde İzlenen Çeşitli Parametreler

Parametre	Kontrol		Mikrodalga		Ultrasonikasyon		Enzim	
	1. gün	15.	1.	15.	1. gün	15. gün	1.	15.
pH	8.3	7.8	7.8	7.1	8.1	8.3	7.9	8.5
İletkenlik (mS/cm)	2.3	2.8	2.5	2.9	2.4	2.8	3.1	3.9
Tuzluluk (‰)	1.0	1.3	1.1	1.4	1.1	1.3	1.5	1.9
ORP (mV)	103	110	118	125	108	92	90	88
Alkalinite(mgCaCO ₃ /L)	233	460	440	540	450	530	260	840
TKM (mg/L)	5100	5180	6520	5440	6510	5780	8030	6210
TUKM (mg/L)	3410	3300	3970	3220	4000	3320	5300	3640
AKM (mg/L)	4720	4060	6000	3760	5060	3900	4980	4200
UAKM (mg/L)	3260	3280	4240	2700	4340	2960	4080	3600
KOİ (mg/L)	5000	4600	6000	-	6000	-	7600	6600
ÇKOİ (mg/L)	400	120	360	120	480	120	2240	240

pH Analiz Sonuçları

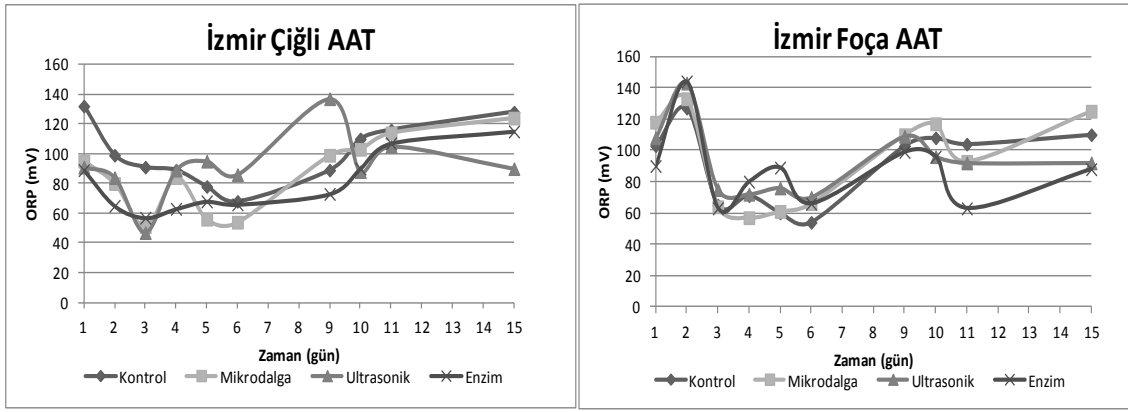
Çiğli AAT ve Foça AAT çamurları ile işletilen reaktörlerde günlük olarak ölçülen pH değerleri Şekil 9.130'de verilmektedir. Çiğli AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde pH 6.0-8.3 aralığında salınım göstermekle birlikte, tüm reaktör sistemlerinde artan zamanın bir fonksiyonu olarak pH'da bir miktar azalmaların olduğu gözlenmektedir. Ancak bu azalmalar, biyolojik aktiviteyi olumsuz etkileyecek bir düzeyde olmamıştır. Mikrodalga dezentegrasyon ve enzim arıtımı uygulanan reaktörlerde pH değerleri kontrol ve ultrasonik uygulamaya göre daha yüksek seviyede kalmıştır. Foça AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde ise pH 7.1-8.5 aralığında kalmıştır. İşletim süresine bağlı olarak zaman içinde önemli değişimler gözlenmemekle birlikte bu çamurlar içinde enzim arıtımının uygulandığı reaktörde diğerlerine göre bir miktar daha yüksek pH değerleri ölçülmüştür.



Şekil 9.130 : İşletim periyodunun bir fonksiyonu olarak çiğli ve foça aerobik stabilizasyon reaktörlerinde pH değişimi

ORP Analiz Sonuçları

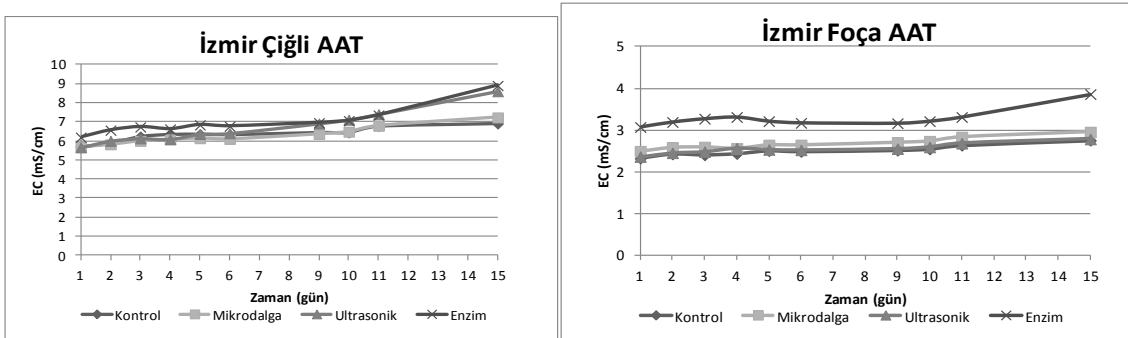
İşletilen reaktörlerde aerobik aktivitenin önemli bir göstergesi olan ORP analizleri gerçekleştirilmiştir. İşletim süresinin bir fonksiyonu olarak ölçülen ORP değerleri Şekil 9.131'da grafiğe aktarılmıştır. Hem Çiğli AAT hem de Foça AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde ORP değerleri 50-130 mV arasında ölçülmüş ve çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki değişimler nedeniyle salınım göstermiştir. Çalışmada tüm reaktörlerde çözünmüş oksijen konsantrasyonu en az 2 mg/L olarak sağlanmıştır. ORP değerleri de ortamın tamamen aerobik olarak korunduğunu göstermektedir.



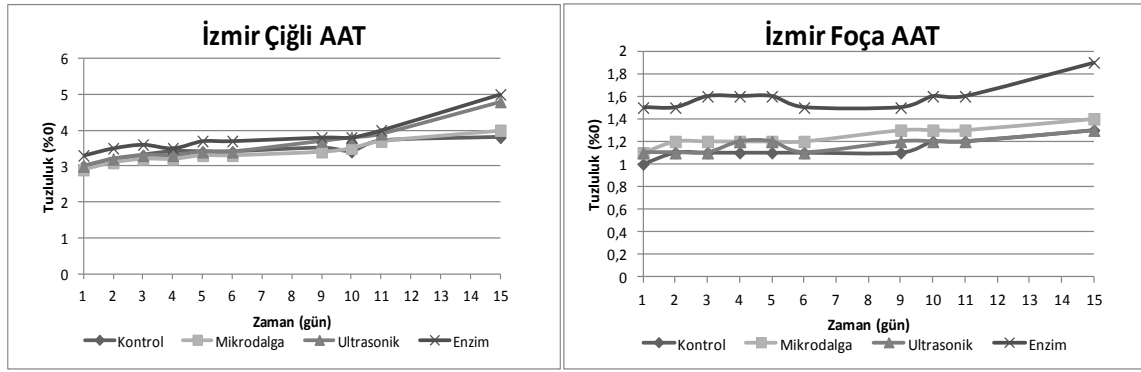
Şekil 9.131 : İşletim periyodunun bir fonksiyonu olarak çiğli ve foça aerobik stabilizasyon reaktörlerinde ORP Değişimi

Elektriksel İletkenlik (EC) – Tuzluluk Analiz Sonuçları

İşletilen reaktörlerde, ölçülen elektriksel iletkenlik (EC) değerleri işletim süresinin bir fonksiyonu olarak Şekil 9.132’de grafiğe aktarılmıştır. Çiğli AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde EC değerleri 5.7-8.9 mS/cm arasında kalırken Foça AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde 2.3-3.9 mS/cm arasında değişim göstermiştir. Kontrol reaktörleri de dahil olmak üzere tüm dezentegrasyon uygulanmış reaktörlerde işletim süresindeki artışa paralel olarak EC değerlerinde artış olduğu saptanmıştır. Ancak bu değerler, Çiğli AAT çamurları için kontrol reaktöründen daha yüksek değerler olarak elde edilirken; Foça AAT çamurları için kontrol reaktörüne göre mikrodalga ön işlem ve enzim arıtım uygulanan reaktörlerde nispeten daha yüksek değerler olarak elde edilmiştir. EC değerleri ile tuzluluk değerleri arasında uyum görülmüştür. Aerobik reaktörlerde okunan tuzluluk değerleri de Şekil 9.133’de verilmektedir.



Şekil 9.132 : İşletim Süresinin Bir Fonksiyonu Olarak Çiğli ve Foça Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde EC Değişimi



Şekil 9.133 : İşletim Süresinin Fonksiyonu Olarak Çiğli ve Foça Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Tuzluluk Değişimi

Katı Madde Analiz Sonuçları

İşletilen reaktörlerde analizlenen toplam katı madde ve uçucu katı madde analizi sonuçları Tablo 9.65’de verilmektedir. Stabilizasyon öncesi ve sonrası değerler dikkate alındığında, TKM değerlerinde Çiğli AAT ile işletilen reaktörlerde %6-%14 oranında azalma elde edilirken, Foça AAT çamur reaktörlerinde %11-23 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. TUKM değerleri incelendiğinde ise giderim oranı Çiğli AAT reaktörlerinde %12-%26, Foça AAT reaktörlerinde %3-31 olarak elde edilmiştir. Tüm işletilen reaktörlerde hem TKM hem TUKM indirgemelerinde en iyi verim enzim uygulanan reaktörlerde saptanmıştır.

Tablo 9.65 : Çiğli ve Foça Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Gözlenen TKM ve TUKM Değişimleri

Reaktör	TKM			TUKM			
	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	
	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Azalma	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	
ÇİĞLİ	Kontrol	9910	8680	12	5340	4580	14
	Mikrodalga	9640	8690	10	5030	4430	12
	Ultrasonikasyon	9410	8820	6	5030	4270	15
	Enzim	12010	10360	14	7180	5300	26
FOÇA	Kontrol	5100	5180	-	3410	3300	3
	Mikrodalga	6520	5440	17	3970	3220	19
	Ultrasonikasyon	6510	5780	11	4000	3320	17
	Enzim	8030	6210	23	5300	3640	31

KOİ ve ÇKOİ Analiz Sonuçları

İşletilen reaktörlerde analizlenen toplam KOİ ve çözülmüş KOİ değerleri Tablo 9.66’da verilmektedir. Stabilizasyon öncesi ve sonrası değerler dikkate alındığında, TKOİ değerlerinde Çiğli AAT ile işletilen tüm reaktörlerde yaklaşık %20 gibi yakın değerler elde edilmiş olup, Foça AAT reaktörlerinde mikrodalga ve ultrasonikasyon uygulanmış çamurlar ile işletilen reaktörlerde stabilizasyon sonrası okumalarında herhangi bir azalma olmadığı görülmüştür. Ancak çözülmüş KOİ değerleri incelendiğinde önemli giderimlerin olduğu saptanmıştır. ÇKOİ parametresine göre Çiğli AAT reaktörlerinde %50-%87, Foça AAT reaktörlerinde %67-89 giderim verimleri elde edilmiştir. Tüm işletilen reaktörlerde katı madde indirgemelerine paralel olarak en iyi verimler enzim uygulanan reaktörlerde saptanmıştır.

Tablo 9.66 : Çiğli ve Foça aerobik stabilizasyon reaktörlerinde gözlenen TKOİ ve ÇKOİ Değişimleri

Reaktör		TKOİ			ÇKOİ		
		mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%
		Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim
ÇİĞLİ	Kontrol	5600	4400	21	240	240	-
	Mikrodalga	5600	4400	21	320	160	50
	Ultrasonikasyon	5200	4000	23	400	160	60
	Enzim	6400	4800	25	1800	240	87
FOÇA	Kontrol	5000	4600	8	400	120	70
	Mikrodalga	6000	6000	-	360	120	67
	Ultrasonikasyon	6000	6400	-	480	120	75
	Enzim	7600	6600	13	2240	240	89

Nitrit, Nitrat, Toplam Azot Analiz Sonuçları

Çiğli AAT ve Foça AAT çamurları ile işletilen aerobik reaktörlerde stabilizasyon periyodunun ilk ve son günlerinde alınan örneklerde analizlenen nitrit, nitrat ve toplam azot sonuçları Tablo 9.67 ve Tablo 9.68’de özetlenmektedir. İlk gün belirlenen nitrit konsantrasyonları Çiğli AAT çamurları ile çalıştırılan kontrol, mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde 7.13 ile 27.5 mg/L arasında; Foça AAT çamurları ile çalıştırılan reaktörlerde ise 5.2 ile 67.7 mg/L arasında değişmiştir. Son gün ölçülen nitrit konsantrasyonlarının her iki tesis için de yükselen değerler aldığı gözlenmiştir. İlk gün belirlenen nitrat konsantrasyonları Çiğli AAT çamurları ile çalıştırılan reaktörlerde 1.3 ile

22.8 mg/L arasında; Foça AAT çamurları ile çalıştırılan reaktörlerde ise 0.6 ile 40 mg/L arasında değişmiştir. Son gün ölçülen nitrat konsantrasyonlarının her iki tesis için de yükseldiği; Çiğli AAT çamurları ile çalıştırılan kontrol, mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde sırasıyla 87, 78, 85 ve 117 mg/L değerleri ve Foça AAT çamurları ile çalıştırılan kontrol, mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde sırasıyla 49, 55, 31 ve 23.7 mg/L değerleri gözlenmiştir. Nitrat değişimleri için ilk ve son gün değerleri karşılaştırıldığında Çiğli AAT için % 73, % 85, % 61 ve % 99 artış olduğu; Foça AAT için ise % 85, % 27, % 27 ve % 97 artış olduğu ve en yüksek nitrat konsantrasyonu artışlarının enzim reaktöründe tespit edildiği görülmektedir.

Amonyum azotu konsantrasyonları ise Çiğli AAT için mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde sırasıyla % 28, % 97 ve % 83 oranında artmış; Foça AAT için ise mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinde % 71 ve %54 oranında artarken enzim reaktöründe % 87 oranında azalmıştır. Amonyum konsantrasyonlarında kaydedilen artışlar, reaktör muhtevasında karbon fazlası olmasına bağlı olarak nitrifikasyonun tamamlanamadığını ve ortamda fazla amonyumun birikme eğiliminde olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 9.67: Çiğli aerobik stabilizasyon reaktörlerinde elde edilen Nitrit, Nitrat, Toplam Azot analiz sonuçları

Gün	Çiğli AAT			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
NO₂⁻ analiz sonuçları (mg/L)				
1	8	9.47	27.5	7.13
15	976.8	642.64	774.16	1086.4
NO₃⁻ analiz sonuçları (mg/L)				
1	22.77	11.2	33	1.3
15	87	78	85.15	117
Toplam Azot (mg/kg)				
1	5.80	6.98	5.07	5.87
15	5.89	4.88	4.83	5.13

Tablo 9.68 : Foça Aerobik stabilizasyon reaktörlerinde elde edilen Nitrit, Nitrat, Toplam Azot analiz sonuçları

Gün	Foça AAT			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
NO₂⁻ analiz sonuçları (mg/L)				
1	6.27	5.2	4.73	67.7
15	950	360	642.96	759.2
NO₃⁻ analiz sonuçları (mg/L)				
1	7	40	22.6	0.6
15	49	55	31.15	23.65
Toplam Azot (mg/kg)				
1	4.97	3.61	3.53	4.50
15	4.11	4.30	4.22	4.58

Toplam Fosfor Analiz Sonuçları

Reaktörlerde işletimin ilk ve son günlerinde analizlenen Toplam Fosfor parametresine ait sonuçlar Çiğli AAT için Tablo 9.69'te, Foça AAT için ise Tablo 9.70'de verilmektedir. Toplam fosfor değerleri için tüm reaktörlerde artış gözlenmiştir. İlk gün ve son gün değerleri karşılaştırıldığında Çiğli AAT için kontrol, mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde sırasıyla %14, %49, %4 ve %29 artış olduğu; Foça AAT için kontrol reaktöründe azalma gözlenirken diğer reaktörlerde sırasıyla %49, %88 ve %88 oranında artış olduğu kaydedilmiştir.

Tablo 9.69 : Çiğli aerobik stabilizasyon reaktörlerinde Toplam Fosfor değişimi

Gün	Çiğli AAT- Toplam Fosfor (mg/kg)			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
1	8669.4	7887.6	8214.3	3695.7
15	10100	15573	8558.7	5207

Tablo 9.70 : Foça aerobik stabilizasyon reaktörlerinde Toplam Fosfor değişimi

Gün	Foça AAT- Toplam Fosfor (mg/kg)			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
1	7115.3	3347.7	1262.1	809.22
15	1416.6	6658.7	10756	6703.6

Klorür ve Sülfat Analiz Sonuçları

Reaktörlerde ilk ve son işletim günlerinde analiz edilen klorür (Cl⁻) ve sülfat (SO₄⁻) analizi sonuçları Tablo 9.71 ve Tablo 9.72’ de verilmektedir. Klorür ve sülfat analizi sonuçları incelendiğinde her iki parametre açısından da aerobik reaktör işletimini inhibe edecek koşullar görülmemektedir. Bu parametrelerle birlikte tuzluluk ve EC parametresi de göz önüne alındığında reaktör işletimine yönelik olarak tuzluluk ve sülfat değerlerinde bir problem olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 9.71 : Çiğli aerobik reaktörlerinde Klorür ve Sülfat konsantrasyonlarındaki değişim

Gün	Çiğli AAT			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
Klorür analiz sonuçları (mg/L)				
1	168	168	165	189
15	190	200	248	270
SO₄⁻ analiz sonuçları (mg/L)				
1	316.16	399.16	432.49	329.2
15	282.70	198.75	217.68	214.8

Tablo 9.72 : Foça aerobik reaktörlerinde Klorür ve Sülfat konsantrasyonlarındaki değişim

Gün	Foça AAT			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
Klorür analiz sonuçları (mg/L)				
1	74	70	75	91
15	69	72	73	108
SO₄⁻ analiz sonuçları (mg/L)				
1	287.23	363.77	346.07	409.85
15	246.89	378.17	370.76	482.69

Partikül Boyutu Analiz Sonuçları

Reaktörlerde partikül boyut dağılımındaki değişim izlenmiştir. İlk ve son işletim günlerinde alınan örneklerde yapılan partikül boyut dağılımı sonuçları Tablo 9.73 ve Tablo 9.74’de verilmektedir. Partikül boyutu analiz sonuçları d (0.5) parametresine göre incelendiğinde, dezintegrasyon işlemi uygulanan reaktörlerin partikül boyutlarında kontrol reaktörlerine kıyasla Çiğli AAT çamurları için bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu düşüş, dezintegrasyona bağlı olarak hücrelerde meydana gelen parçalanmanın bir göstergesidir. Ancak Foça AAT çamurları için benzer bir durum gözlenmemiştir.

Tablo 9.73 : Çiğli aerobik stabilizasyon reaktörlerinde partikül boyutu dağılımı analiz sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Çiğli AAT Kontrol					
1. gün	57.387	121.331	232.017	100.662	33.785
15. gün	56.264	108.718	203.054	88.974	32.421
Çiğli AAT Mikrodalga					
1. gün	58.690	124.417	241.338	103.276	34.379
15. gün	56.603	112.766	217.626	90.379	31.602
Çiğli AAT Ultrasonik					
1. gün	53.423	125.233	256.324	96.806	28.171
15. gün	47.145	92.871	180.132	78.411	25.066
Çiğli AAT Enzim					
1. gün	56.393	124.617	243.506	103.486	32.146
15. gün	52.992	99.610	190.065	84.270	30.034

Tablo 9.74 : Foça aerobik stabilizasyon reaktörlerinde partikül boyutu dağılımı analiz sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Foça AAT Kontrol					
1. gün	30.170	62.442	100.302	43.784	17.068
15. gün	34.354	71.365	119.671	48.766	19.521
Foça AAT Mikrodalga					
1. gün	33.402	66.008	113.882	49.864	18.796
15. gün	41.404	94.603	248.615	60.017	23.077
Foça AAT Ultrasonik					
1. gün	30.520	56.822	102.225	45.268	17.846
15. gün	34.608	78.406	155.505	50.417	18.977
Foça AAT Enzim					
1. gün	29.347	60.465	101.512	45.723	16.110
15. gün	35.872	81.853	165.426	53.529	19.635

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Aerobik stabilizasyon çalışmalarında patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler

yapılmış olup, bu amaçla aerobik reaktörlerde başlangıçta ve reaktör işletiminin son gününde alınan örneklerde tüm reaktörlerde patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiş olup; toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok, Salmonella ve Enterovirüs parametreleri izlenmiş; Helmint yumurta sayısı ve tanısı yapılmıştır. Reaktörlerde elde edilen mikrobiyolojik analiz sonuçları Çiğli AAT için Tablo 9.75’de ve Foça AAT için Tablo 9.76’da özetlenmiştir.

Çiğli AAT çamurları ile yapılan aerobik stabilizasyon reaktörlerinin sonuçları değerlendirildiğinde:

- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 1.3×10^6 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Toplam Koliform parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün 2 log10 oranında azalma gösterirken son gün 4 log10 kadar bir azalma olduğu görülmüştür. Bu değerler ilk gün için ultrasonik reaktörde 2 log10 kadar, mikrodalga ve enzim reaktörlerinde ise 1 log10 değerinde olmuştur. Reaktörlerde son gün alınan örneklerdeki mikrobiyolojik analizlerde ise mikrodalga reaktöründe 2 log10, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde 3log10’luk bir azalma olduğu belirlenmiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 2.8×10^4 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen E-Coli parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün ve son gün için 2 log10 oranında azalma göstermiştir. Bu değerler ilk gün için mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde 1 log10 kadar azalmıştır. Reaktörlerde son gün alınan örneklerdeki mikrobiyolojik analizlerde ise mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinde 2 log10, enzim reaktöründe ise 1log10’luk bir azalma olduğu belirlenmiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 7×10^2 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Fekal Streptokok parametresi, tüm reaktörlerde ilk gün ve son gün için herhangi bir değişim göstermemiş, aynı mertebede kalmıştır.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 7×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen *Salmonella* parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün 1 log10 oranında azalma gösterirken son gün 2 log10 kadar bir azalma olduğu görülmüştür. Bu değerler ilk gün için mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde aynı mertebede kalırken, son gün örneklerinde tüm reaktörlerde 1 log10’luk bir azalma belirlenmiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 3.66×10^3 MPN/g çamur olarak belirlenen Enterovirüs parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün 2.22×10^3 MPN/g çamur değerinde; son gün 2×10^2 MPN/g çamur olarak belirlenmiş; aerobik

stabilizasyon sonrasında 1 log₁₀ oranında azalma olduğu görülmüştür. Bu değerler ilk gün için mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde aynı mertebede kalırken, son gün örneklerinde tüm reaktörlerde 1 log₁₀'luk bir azalma belirlenmiştir.

- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 80 adet/g çamur olarak belirlenen Helminth yumurta sayısı, kontrol reaktöründe ilk gün 70 adet/g çamur ve son gün 40 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Kontrol reaktöründe aerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %43 oranında azalma olduğu görülmüştür. Mikrodalga reaktöründe ilk gün için 60 adet/g çamur ve son gün 20 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Mikrodalga reaktöründe aerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %67 oranında azalma olduğu görülmüştür. Ultrasonik reaktöründe ilk gün için 50 adet/g çamur ve son gün 27 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Ultrasonik reaktöründe aerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %46 oranında azalma olduğu görülmüştür. Enzim reaktöründe ise ilk gün için 50 adet/g çamur ve son gün 14 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Enzim reaktöründe aerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %72 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.
- Helminth yumurta tanısı sonuçlarına bakıldığında ise ham çamurda belirlenen *Hymenolepis diminuta* diğer tüm reaktörler için ilk ve son gün örneklerinde de gözlenmiştir. Kontrol reaktöründe ilk ve son gün örneklerinde *Hymenolepis diminuta* ile birlikte *Dicrocoelium dendriticum* belirlenirken, ultrasonik reaktör ilk gün örneği haricinde diğer tüm reaktörlerde *Hymenolepis diminuta* ile birlikte *Schistosoma mansoni* belirlenmiştir.

Foça AAT çamurları ile yapılan aerobik stabilizasyon reaktörlerinin sonuçları değerlendirildiğinde:

- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 6.3×10^5 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Toplam Koliform parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün 1.4×10^5 adet koloni/1 g çamur değerini alırken, son gün 1 log₁₀ kadar bir azalma olduğu görülmüştür. Bu değerler mikrodalga ve enzim reaktöründe de benzer şekilde ilk gün için sırasıyla 1.1×10^5 adet koloni/1 g çamur ve 1.2×10^5 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenmiş; son gün 1 log₁₀ kadar bir azalma olduğu görülmüştür. Ultrasonik reaktöründe ise ilk ve son gün örneklerinde 1 log₁₀'luk bir azalma olduğu belirlenmiştir.

- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 9×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen E-Coli parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün 2.3×10^3 adet koloni/1 g çamur ve son gün 3×10^2 adet koloni/1 g çamur değeri ile 1 log10 oranında azalma göstermiştir. Mikrodalga reaktöründe ilk gün 1.6×10^3 adet koloni/1 g çamur ve son gün 5.6×10^2 adet koloni/1 g çamur değeri ile 1 log10 oranında azalma göstermiştir. Enzim reaktöründe benzer şekilde ilk gün 9.2×10^3 adet koloni/1 g çamur ve son gün 7.8×10^2 adet koloni/1 g çamur değeri ile 1 log10 oranında azalma göstermiştir. Ultrasonik reaktöründe ise ilk ve son gün arasında merteye olarak bir değişim izlenmemiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 7×10^2 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Fekal Streptokok parametresi, kontrol ve mikrodalga reaktörlerinde ilk gün ve son gün için herhangi bir değişim göstermemiş, aynı mertebede kalmıştır. Ultrasonik reaktörde ilk ve son günler için 1log10'luk bir azalma olmuştur. Enzim reaktöründe ilk gün 1.2×10^2 adet koloni/1 g çamur olan değer 1log10'luk azalma göstermiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 5×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen *Salmonella* parametresi, kontrol reaktöründe ve enzim reaktöründe ilk gün ve son gün için 1 log10 oranında azalma göstermiştir. Mikrodalga ve ultrasonik reaktörleri için ilk gün değerleri sırasıyla 1×10^3 adet koloni/1 g çamur ve 1.7×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen değerler, son gün örneklerinde 1 log10'luk bir azalma göstermiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 2.14×10^3 MPN/g çamur olarak belirlenen Enterovirüs parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün 1.99×10^3 MPN/g çamur değerinde; son gün 1.11×10^3 MPN/g çamur olarak belirlenmiştir. Bu değerler ilk gün ve son gün için ultrasonik ve enzim reaktörlerinde aynı mertebede kalırken; mikrodalga reaktöründe son gün örneklerinde 1 log10'luk bir azalma belirlenmiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 120 adet/g çamur olarak belirlenen Helminth yumurta sayısı, kontrol reaktöründe ilk gün 40 adet/g çamur ve son gün 33 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Kontrol reaktöründe aerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %18 oranında azalma olduğu görülmüştür. Mikrodalga reaktöründe ilk gün için 60 adet/g çamur ve son gün 38 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Mikrodalga reaktöründe aerobik stabilizasyon sonrasında

Helminth yumurta sayısında %37 oranında azalma olduğu görülmüştür. Ultrasonik reaktöründe ilk gün için 40 adet/g çamur ve son gün 20 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Ultrasonik reaktöründe aerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %50 oranında azalma olduğu görülmüştür. Enzim reaktöründe ise ilk gün için 90 adet/g çamur ve son gün 40 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Enzim reaktöründe aerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %55 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

- Helminth yumurta tanısı sonuçlarına bakıldığında ise ham çamurda belirlenen *Hymenolepis diminuta* diğer tüm reaktörler için ilk ve son gün örneklerinde de gözlenmiştir. Enzim reaktörü ilk gün örneği haricinde diğer tüm reaktörlerde ilk gün ve son gün örneklerinde *Hymenolepis diminuta* ile birlikte *Schistosoma mansoni* belirlenmiştir.

Tablo 9.75 : Çiğli aerobik stabilizasyon reaktörlerinde mikrobiyolojik analiz sonuçları

Numune	Toplam Koliform (adet koloni / 1	E-Coli (adet koloni /1 g çamur)	Fekal Streptokok (adet koloni /1 g çamur)	Salmonella (adet koloni /1 g çamur)	Enterovirüs (MPN/g)	Helmint yumurta sayısı (adet/g)	Helmint yumurta tanısı	
Sulu çamur	1.3 x10 ⁶	2.8x10 ⁴	7x10 ²	7x10 ³	3.66x10 ³	80	<i>Hymenolepis diminuta</i>	
Kontrol	1.gün	9 x10 ⁴	5x10 ²	8x10 ²	3 x10 ²	2.22x10 ³	70	<i>Hymenolepis diminuta,</i> <i>Dicrocoelium dendriticum</i>
	15.gün	1.9 x10 ²	1x10 ²	6x10 ²	6x10 ¹	2x10 ²	40	<i>Hymenolepis diminuta,</i> <i>Dicrocoelium dendriticum</i>
Mikrodalga	1.gün	1.3 x10 ⁵	2.3x10 ³	3x10 ²	1.3 x10 ³	1.2x10 ³	60	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	1 x10 ⁴	3x10 ²	1.43x10 ²	1.46x10 ²	1x10 ²	20	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
Ultrasonik	1.gün	6.8 x10 ⁴	2.3x10 ³	9.0x10 ²	1.1 x10 ³	1.18x10 ³	50	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	15.gün	1.4 x10 ³	6x10 ²	1.06x10 ²	1x10 ²	1x10 ²	27	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
Enzim	1.gün	2.7x10 ⁵	9x10 ³	5.4x10 ²	5 x10 ³	1.12x10 ³	50	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	1.7 x10 ³	2x10 ³	2.17x10 ²	6x10 ²	1x10 ²	14	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>

Tablo 9.76 : Foça aerobik stabilizasyon reaktörlerinde mikrobiyolojik analiz sonuçları

Numune	Toplam Koliform (adet koloni /1 g çamur)	E-Coli (adet koloni /1 g çamur)	Fekal Streptokok (adet koloni /1 g çamur)	Salmonella (adet koloni/1 g çamur)	Enterovirüs (MPN/g)	Helmint yumurta sayısı (adet/g)	Helmint yumurta tanısı	
Sulu çamur	6.3x10 ⁵	9 x10 ³	7x10 ²	5x10 ³	2.14x10 ³	120	<i>Hymenolepis diminuta</i>	
Kontrol	1.gün	1.4 x10 ⁵	2.3x10 ³	4x10 ²	5 x10 ²	1.99x10 ³	40	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	1.7 x10 ⁴	3x10 ²	2.34x10 ²	1.9x10 ²	1.11x10 ³	33	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
Mikrodalga	1.gün	1.1 x10 ⁵	1.6x10 ³	2.9x10 ²	1.0 x10 ³	1.12x10 ³	60	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	2.5 x10 ⁴	5.6x10 ²	2x10 ²	2.04x10 ²	3x10 ²	38	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
Ultrasonik	1.gün	4.1 x10 ⁴	4.5x10 ³	9x10 ¹	1.7 x10 ³	1.88x10 ³	40	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	2.6 x10 ⁴	1.16x10 ³	7.8x10 ¹	7.32x10 ²	1x10 ³	20	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
Enzim	1.gün	1.2 x10 ⁵	9.2x10 ³	1.2x10 ²	8 x10 ²	2.14x10 ³	90	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	15.gün	3.3 x10 ⁴	7.8x10 ²	8.8x10 ¹	4.91x10 ²	1x10 ³	40	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>

9.2.1.2.Akdeniz Bölgesi Analiz Sonuçları (Adana-Antalya)

Aerobik stabilizasyon çalışmalarında Antalya Lara AAT ve Adana AAT çamurları ile çalıştırılan reaktörlerde yürütülen analizlere ait sonuçlar sırasıyla Tablo 9.77 ve Tablo 9.78'de özetlenmektedir.

Tablo 9.77: Adana Seyhan aerobik stabilizasyon reaktörlerinde izlenen çeşitli parametreler

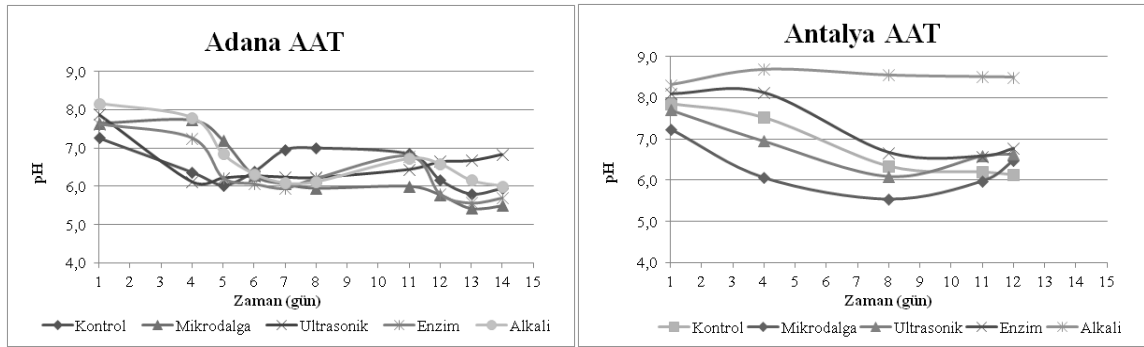
Parametre	Kontrol		Mikrodalga		Ultrasonikasyon		Enzim		Alkali	
	1. gün	15. gün	1. gün	15. gün	1. gün	15. gün	1. gün	15. gün	1. gün	15. gün
pH	7.27	5.94	7.65	5.5	7.88	6.84	7.62	5.57	8.2	6.01
İletkenlik (mS/cm)	859	3640	1066	2390	823	3520	1643	2720	1117	2180
Tuzluluk (%)	0.2	1.8	0.3	1.1	0.2	1.8	0.6	1.3	0.3	1.0
ORP (mV)	123	192	100	255	137	159	140	231	136	245
Alkalinite (mgCaCO ₃ /L)	500	525	575	412.5	375	750	425	212.5	612.5	312.5
TKM (mg/L)	4500	4240	4160	3650	3570	4330	6750	4620	4490	4320
TUKM (mg/L)	3330	2890	3090	2450	2690	2940	5260	3010	3170	2710
AKM (mg/L)	4080	2840	3660	2980	3220	3120	5020	3460	3800	2880
UAKM (mg/L)	3320	2060	3060	2120	2780	2320	4440	2740	3740	2120
KOİ (mg/L)	3760	3160	4400	2360	3600	2760	6320	3840	4480	2520
ÇKOİ (mg/L)	400	160	560	80	440	120	1160	160	360	200

Tablo 9.78 : Antalya Lara aerobik stabilizasyon reaktörlerinde izlenen çeşitli parametreler

Parametre	Kontrol		Mikrodalga		Ultrasonikasyon		Enzim		Alkali	
	1. gün	15. gün	1. gün	15. gün	1. gün	15. gün	1. gün	15. gün	1. gün	15. gün
pH	7.9	6.1	7.2	6.5	7.7	6.6	8.1	6.8	8.3	8.5
İletkenlik (mS/cm)	1729	2690	2040	2990	1784	2230	2520	3290	2570	3210
Tuzluluk (%)	0.7	1.3	0.9	1.4	0.7	1.0	1.2	1.6	1.2	1.6
ORP (mV)	153	263	152	175	166	184	172	209	201	151
Alkalinite (mgCaCO ₃ /L)	500	525	575	413	375	750	425	213	613	313
TKM (mg/L)	7990	8640	8380	10880	9840	10820	9400	11800	9290	11130
TUKM (mg/L)	5310	5500	5560	6900	6720	7140	6420	7690	5810	6800
AKM (mg/L)	7220	7380	7300	8120	9200	9100	8240	9960	9120	9460
UAKM (mg/L)	5200	5440	5240	5840	7860	6700	6300	7640	6680	6760
KOİ (mg/L)	7680	7600	7760	8400	10080	8400	9920	11600	8360	10400
ÇKOİ (mg/L)	200	80	200	120	160	120	120	40	400	80

pH Analiz Sonuçları

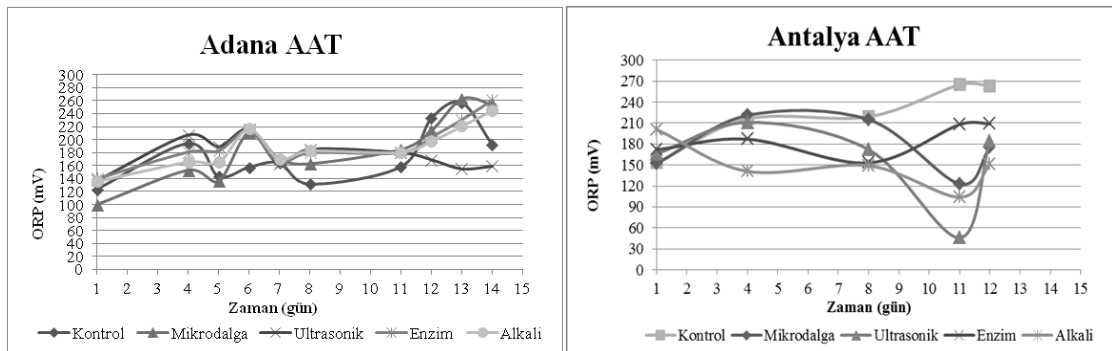
Antalya Lara İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (evsel) ve Adana Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) çamurları ile işletilen reaktörlerde günlük olarak ölçülen pH değerleri Şekil 9.134'de verilmektedir. Adana AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde pH 5.4-8.2 aralığında kalmıştır. İşletim süresine bağlı olarak zaman içinde pH değerlerinde düşme gözlenmiştir. Antalya AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde pH 5.5-8.7 aralığında salınım göstermekle birlikte, tüm reaktör sistemlerinde işletim süresine bağlı olarak pH'da bir miktar azalmaların olduğu gözlenmektedir. Ancak bu azalmalar, biyolojik aktiviteyi olumsuz etkileyecek bir düzeyde olmamıştır. Alkali ve enzim arıtımı uygulanan reaktörlerde pH değerleri kontrol, mikrodalga dezentegrasyonu ve ultrasonik uygulamaya göre daha yüksek seviyede kalmıştır.



Şekil 9.134 : İşletim periyodunun bir fonksiyonu olarak adana ve antalya stabilizasyon reaktörlerinde pH değişimi

ORP Analiz Sonuçları

Adana AAT ve Antalya AAT stabilizasyon reaktörlerinde işletim süresinin bir fonksiyonu olarak ölçülen ORP değerleri Şekil 9.135’de grafiğe aktarılmıştır. Hem Adana AAT hem de Antalya AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde ORP değerleri 100-270 mV arasında ölçülmüştür. Antalya AAT çamurları ile işletilen mikrodalga, ultrasonikasyon ve alkali uygulamaları gerçekleştirilen reaktörlerde işletim süresinin 11. gününde önemli bir azalma görülmekle birlikte ortamda aerobik koşullar hakim olduğundan önemli bir işletme sorunu yaşanmamıştır. ORP’deki bu salınım çözülmüş oksijen konsantrasyonundaki değişimlerden kaynaklanmakla birlikte, verilen hava miktarının bu reaktörlerde artırılması ile tekrar ORP değerlerinde artış sağlanmıştır. Çalışmada tüm reaktörlerde çözülmüş oksijen konsantrasyonu en az 2 mg/L olarak korunmaya çalışılmıştır.

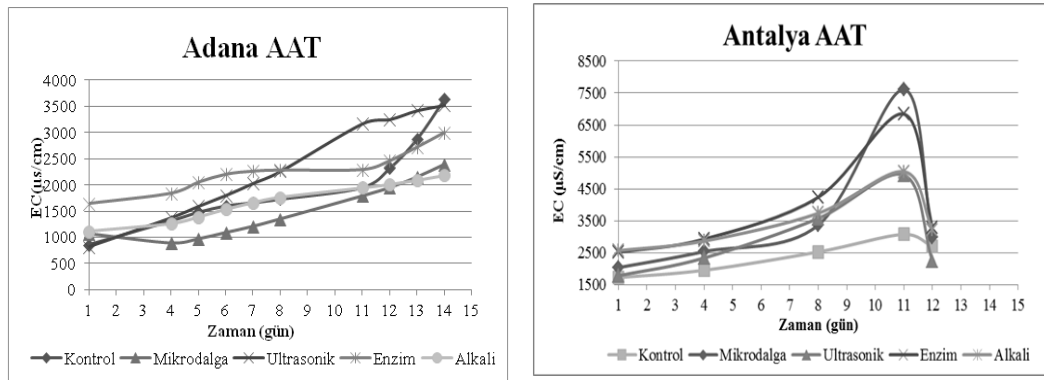


Şekil 9.135 : Adana ve Antalya Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde ORP Değişimi Elektriksel İletkenlik (EC) – Tuzluluk Analiz Sonuçları

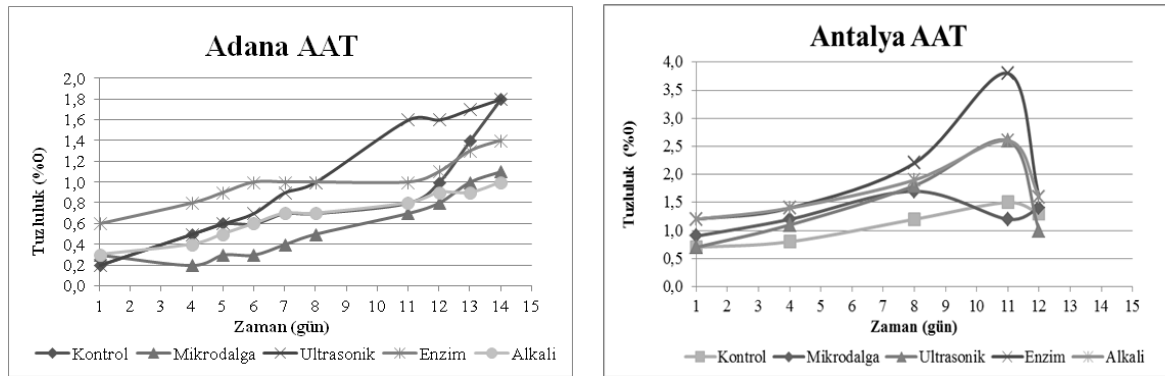
İşletilen reaktörlerde ölçülen elektriksel iletkenlik (EC) değerleri işletim süresinin bir fonksiyonu olarak

Şekil 9.136’de grafiğe aktarılmıştır. Adana AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde EC değerleri 823-3520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında kalırken Antalya AAT çamurları ile çalışılan

reaktörlerde 1729-7610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişim göstermiştir. Kontrol reaktörleri de dahil olmak üzere tüm dezentegrasyon uygulanmış reaktörlerde işletim süresindeki artışa paralel olarak EC değerlerinde artış olduğu saptanmıştır. Ancak bu değerler, Adana AAT çamurları için kontrol reaktöründen daha yüksek iken; Antalya AAT çamurları için kontrol reaktörüne göre mikrodalga ön işlem, ultrasonik ön işlem, alkali uygulaması ve enzim arıtım uygulanan reaktörlerde nispeten daha yüksek değerler olarak elde edilmiştir. EC değerleri ile tuzluluk değerleri arasında uyum görülmüştür. Aerobik reaktörlerde okunan tuzluluk değerleri de Şekil 9.137’de verilmektedir.



Şekil 9.136 : İşletim Süresinin Bir Fonksiyonu Olarak Adana ve Antalya Stabilizasyon Reaktörlerinde EC Değişimi



Şekil 9.137 : İşletim süresinin fonksiyonu olarak Adana ve Antalya stabilizasyon reaktörlerinde tuzluluk değişimi

Katı Madde Analiz Sonuçları

İşletilen reaktörlerde analizlenen toplam katı madde ve uçucu katı madde analizi sonuçları Tablo 9.79’de verilmektedir. Stabilizasyon öncesi ve sonrası değerler dikkate alındığında, TKM değerlerinde Adana AAT ile işletilen reaktörlerden enzim uygulanan reaktörde %32 azalma elde edilirken diğerlerinde önemli bir azalma görülmemiştir. Antalya AAT ile

işletilen reaktörlerde ise artışlar gözlenmiştir. TUKM değerleri incelendiğinde ise giderim oranı Adana AAT reaktörlerinden mikrodalga ve enzim uygulanan reaktörlerde sırasıyla %21 ve %43 olarak en yüksek değerler elde edilmiştir. Antalya AAT reaktörlerinde ise TKM değerlerinde olduğu gibi TUKM sonuçlarında artış söz konusudur. Kontrol reaktöründe de aynı sonucun gözlenmesi bu durumun çamur özelliklerine bağlı olarak geliştiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 9.79 : Adana ve Antalya Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Gözlenen TKM ve TUKM Değişimleri

Reaktör	TKM			TUKM			
	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	
	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Azalma	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	
ADANA	Kontrol	4500	4240	6	3330	2890	13
	Mikrodalga	4160	3650	12	3090	2450	21
	Ultrasonikasyon	3570	4330	-	2690	2940	-
	Enzim	6750	4620	32	5260	3010	43
	Alkali	4490	4320	4	3170	2710	15
ANTALYA	Kontrol	7990	8640	-	5310	5500	-
	Mikrodalga	8380	10880	-	5560	6900	-
	Ultrasonikasyon	9840	10820	-	6720	7140	-
	Enzim	9400	11800	-	6420	7690	-
	Alkali	9290	11130	-	5810	6800	-

KOİ ve ÇKOİ Analiz Sonuçları

İşletilen reaktörlerde analizlenen toplam KOİ ve çözülmüş KOİ değerleri Tablo 9.80'de verilmektedir. Stabilizasyon öncesi ve sonrası değerler dikkate alındığında, TKOİ değerlerinde Adana AAT ile işletilen reaktörlerden sırasıyla kontrol, mikrodalga, ultrasonik, enzim ve alkali reaktörlerinde %16, %46, %23, %39, %44 giderim elde edilmiştir. Antalya AAT reaktörlerinde ise TKM ve TUKM sonuçlarında da olduğu gibi TKOİ değerlerinde herhangi bir indirgeme elde edilememiştir. En iyi sonuç ultrasonikasyon uygulanan reaktörde %17 olarak belirlenmiştir. Çözülmüş KOİ değerleri incelendiğinde Adana AAT reaktörlerinde %44-%86 arasında değişen önemli giderimlerin olduğu saptanmıştır. Bunda da en iyi verimin %86 oranında mikrodalga ve enzim uygulanan reaktörlerde olduğu görülmektedir. ÇKOİ parametresine göre Antalya AAT reaktörlerinde %25-%80 arasında giderim verimleri elde edilmiştir. Enzim ve alkali işlem reaktörlerinde sırasıyla %67, %80 en yüksek giderim verimleri olarak elde edilmiş olup, diğer uygulamaların verimleri ise kontrol reaktörü sonucunun (%60) altında kalmıştır.

Tablo 9.80: Adana ve Antalya Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Gözlenen TKOİ ve ÇKOİ Değişimleri

Reaktör	TKOİ			ÇKOİ			
	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	
	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	
ADANA	Kontrol	3760	3160	16	400	160	60
	Mikrodalga	4400	2360	46	560	80	86
	Ultrasonikasyo n	3600	2760	23	440	120	73
	Enzim	6320	3840	39	1160	160	86
	Alkali	4480	2520	44	360	200	44
	ANTALYA	Kontrol	7680	7600	1	200	80
Mikrodalga		7760	8400	-	200	120	40
Ultrasonikasyo n		10080	8400	17	160	120	25
Enzim		9920	11600	-	120	40	67
Alkali		8360	10400	-	400	80	80

Nitrit, Nitrat, Toplam Azot Analiz Sonuçları

Adana ve Antalya AAT reaktörlerde işletimin ilk ve son günlerinde analiz edilen Nitrit, Nitrat ve Toplam Azot sonuçları Tablo 9.81 ve Tablo 9.82’de verilmektedir. İlk gün belirlenen nitrit konsantrasyonları Adana AAT çamurları ile çalıştırılan kontrol, mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde 174 ile 425 mg/L arasında yüksek değerler; Antalya AAT çamurları ile çalıştırılan reaktörlerde ise 30 ile 232 mg/L arasında değişmiştir. İlk gün belirlenen nitrat konsantrasyonları Adana AAT çamurları ile çalıştırılan reaktörlerde 26 ile 64 mg/L arasında; Antalya AAT çamurları ile çalıştırılan reaktörlerde ise 47 ile 91 mg/L arasında değişmiştir. Stabilizasyon sonrasında ölçülen Nitrat konsantrasyonlarında her iki tesis için de önemli artışlar gözlenmiştir.

Tablo 9.81 : Adana Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Elde Edilen Nitrit, Nitrat, Toplam Azot Analiz Sonuçları

Gün	Adana AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
NO₂⁻ analiz sonuçları (mg/L)					
1	425	263	174	296	145
15	384	261	308	311	205
NO₃⁻ analiz sonuçları (mg/L)					
1	64	26	55	33	48
15	336	276	381	303	363
Toplam Azot (mg/kg)					
1	5.49	4.35	4.48	5.16	4.01
15	4.94	4.13	3.93	4.73	3.62

Tablo 9.82 : Antalya Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Elde Edilen Nitrit, Nitrat, Toplam Azot Analiz Sonuçları

Gün	Antalya AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
NO₂⁻ analiz sonuçları (mg/L)					
1	154	132	30	47	232
15	206	121	64	34	83
NO₃⁻ analiz sonuçları (mg/L)					
1	47	63	91	65	48
15	106.5	136.5	81	97.5	139.5
Toplam Azot (mg/kg)					
1	4.87	4.71	4.20	5.15	4.59
15	5.57	5.84	5.13	5.59	5.11

Toplam Fosfor Analiz Sonuçları

Adana AAT ve Antalya AAT reaktörlerinde işletimin ilk ve son günlerinde analizlenen toplam fosfor parametresine ait sonuçlar Tablo 9.83 ve Tablo 9.84'de verilmektedir. Toplam fosfor değerleri için Adana AAT reaktörlerinde enzim ve alkali uygulanan reaktörlerde artış gözlenirken diğerlerinde azalma olmuştur. Antalya aerobik reaktörlerinde ise azalmalar elde edilmiştir.

Tablo 9.83 : Adana aerobik stabilizasyon reaktörlerinde Toplam Fosfor değişimi

Gün	Adana AAT- Toplam Fosfor (mg/kg)				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	7784.1	676.72	679.71	716.34	1479.3
15	682.05	609.44	187.54	1568.6	3221.9

Tablo 9.84 : Antalya aerobik stabilizasyon reaktörlerinde Toplam Fosfor değişimi

Gün	Antalya AAT- Toplam Fosfor (mg/kg)				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	4879.5	5321.6	3212.1	2845.9	5312.8
15	2057.3	3190	3432.7	1189.1	1995.8

Klorür ve Sülfat Analiz Sonuçları

Adana ve Antalya AAT reaktörlerinde ilk ve son işletim günlerinde analiz edilen klorür (Cl⁻) ve sülfat (SO₄⁻) analizi sonuçları Tablo 9.85 ve

Tablo 9.86'da verilmektedir. Klorür ve sülfat analizi sonuçları incelendiğinde her iki parametre açısından da aerobik reaktör işletimini inhibe edecek koşullar görülmemektedir. Bu parametrelerle birlikte tuzluluk ve EC parametresi de göz önüne alındığında reaktör işletimine yönelik olarak tuzluluk ve sülfat değerlerinde bir problem olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 9.85 : Adana Aerobik Reaktörlerinde Klorür ve Sülfat Konsantrasyonlarındaki Değişim

Gün	Adana AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
Klorür analiz sonuçları (mg/L)					
1	5	10	15	35	20
15	16	18	20	53	13
SO₄⁻ analiz sonuçları (mg/L)					
1	206	97	102	172	62
15	191	336	323	205	330

Tablo 9.86 : Antalya Aerobik Reaktörlerinde Klorür ve Sülfat Konsantrasyonlarındaki Değişim

Gün	Antalya AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
Klorür analiz sonuçları (mg/L)					
1	30	50	50	70	50
15	36	40	47	87	47
SO₄⁻ analiz sonuçları (mg/L)					
1	156	138	174	258	262
15	865	622	459	1175	764

Partikül Boyutu Analiz Sonuçları

Adana ve Antalya AAT reaktörlerinde ilk ve son işletim günlerinde alınan örneklerde yapılan partikül boyut dağılımı sonuçları Tablo 9.87 ve Tablo 9.88’de verilmektedir.

Tablo 9.87 : Adana aerobik reaktörlerinde partikül boyutu dağılımı analiz sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Adana AAT Kontrol					
1. gün	27.327	54.100	95.062	45.814	18.574
15. gün	17.438	39.081	74.950	33.360	11.073
Adana AAT Mikrodalga					
1. gün	31.754	59.558	99.242	45.726	17.958
15. gün	17.215	66.187	145.824	34.532	9.553
Adana AAT Ultrasonik					
1. gün	23.673	49.466	90.228	44.307	16.713
15. gün	16.668	35.763	69.718	29.888	10.826
Adana AAT Enzim					
1. gün	45.312	73.738	132.146	67.638	24.617
15. gün	44.495	106.236	232.255	71.865	23.015
Adana AAT Alkali					
1. gün	33.877	56.193	99.460	47.941	19.352
15. gün	17.234	84.240	297.836	34.838	9.556

Tablo 9.88 : Antalya Aerobik Reaktörlerinde Partikül Boyutu Dağılımı Analiz Sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Antalya AAT Kontrol					
1. gün	62.930	130.480	259.743	107.550	34.006
15. gün	54.928	115.413	232.565	92.425	28.756
Antalya AAT Mikrodalga					
1. gün	58.270	119.480	237.136	100.486	30.990
15. gün	36.740	82.121	170.269	67.578	18.100
Antalya AAT Ultrasonik					
1. gün	56.005	118.321	239.248	97.518	29.439
15. gün	40.981	86.031	175.469	70.376	21.162
Antalya AAT Enzim					
1.gün	72.222	144.682	280.977	123.370	41.195
15.gün	51.171	115.654	241.608	89.746	26.580
Antalya AAT Alkali					
1.gün	58.497	132.099	269.644	98.628	30.464
15.gün	47.502	100.352	204.195	78.994	24.373

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Aerobik stabilizasyon çalışmalarında patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler yapılmış olup, bu amaçla aerobik reaktörlerde başlangıçta ve reaktör işletiminin son gününde alınan örneklerde toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok, Salmonella ve Enterovirüs parametreleri izlenmiş; Helmint yumurta sayısı ve tanısı yapılmıştır. Adana ve Antalya AAT reaktörlerinde elde edilen mikrobiyolojik analiz Tablo 9.89 ve Tablo 9.90'da verilmektedir.

Adana AAT çamurları ile yapılan aerobik stabilizasyon reaktörlerinin sonuçları değerlendirildiğinde:

- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 3.6×10^5 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Toplam Koliform parametresi, ilk gün için tüm reaktörlerde aynı seviyelerde kalırken kontrol ve ultrasonik reaktörde 2 log10, enzim reaktöründe 1 log10 ve alkali reaktöründe 3log10 kadar azalma belirlenmiştir. Mikrodalga reaktöründe ise önemli bir azalma olmamıştır.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 9.4×10^4 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen E-Coli parametresi için, stabilizasyon işlemi sonrasında alkali reaktöründe 3log10, diğer reaktörlerde ise 2log10 azalma elde edilmiştir.

- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 5.3×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Fekal Streptokok parametresi, stabilizasyon işlemi sonrasında kontrol ve ultrasonik reaktörlerinde $1 \log_{10}$, diğer reaktörlerde ise $2 \log_{10}$ mertebesinde azalmıştır.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 1.1×10^4 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Salmonella parametresi, stabilizasyon işlemi sonrasında kontrol, mikrodalga ve enzim reaktörlerinde $2 \log_{10}$, diğer reaktörlerde ise $3 \log_{10}$ kadar azalma belirlenmiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 1.98×10^3 MPN/g çamur olarak belirlenen Enterovirüs parametresi, tüm reaktörlerde stabilizasyon işleminin ilk günü ve son gününde aynı mertebelerde kalmıştır.
- Aerobik reaktörlere beslenen tüm çamurlarda stabilizasyon işlemi neticesinde Helminth yumurta sayılarında azalma görülmektedir.

Antalya AAT çamurları ile yapılan aerobik stabilizasyon reaktörlerinin sonuçları değerlendirildiğinde:

- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 2.9×10^5 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Toplam Koliform parametresi, kontrol reaktöründe $2 \log_{10}$, ultrasonik, enzim ve alkali uygulamalarında ise $1 \log_{10}$ kadar bir azalma olduğu görülmüştür. Mikrodalga uygulamasında ise bir değişim olmamıştır.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 7.3×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen E-Coli parametresi, enzim reaktöründe $1 \log_{10}$ oranında azalırken diğerlerinde önemli bir değişim olmamıştır.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 3.6×10^2 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Fekal Streptokok parametresi, kontrol reaktöründe üreme olmazken, sadece ultrasonik ve enzim reaktörlerinde $1 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 3.6×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Salmonella parametresi, tüm reaktörlerde $1 \log_{10}$ oranında azalma göstermiştir.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 13.16×10^4 MPN/g çamur olarak belirlenen Enterovirüs parametresi, ultrasonik, enzim ve alkali uygulamalarında $1 \log_{10}$ azalırken, diğer reaktörlerde aynı mertebelerde kalmıştır.
- Aerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 120 adet/g çamur olarak belirlenen Helminth yumurta sayısında, stabilizasyon işlemi sonrasında tüm reaktörlerde önemli azalma görülmüştür.

Tablo 9.89 : Adana aerobik stabilizasyon reaktörlerinde mikrobiyolojik analiz sonuçları

Numune	Toplam Koliform (adet koloni / 1 g çamur)	E-Coli (adet koloni / 1 g çamur)	Fekal Streptokok (adet koloni / 1 g çamur)	Salmonella (adet koloni / 1 g çamur)	Enterovirüs (MPN/g)	Helmint yumurta sayısı (adet/g)	Helmint yumurta tanısı	
Sulu çamur	3.6 x10 ⁵	9.4x10 ⁴	5.3x10 ³	1.1 x10 ⁴	1.98x10 ³	390	<i>Dicrocoelium dendriticum.</i> <i>Hymenolepis diminuta</i>	
Kontrol	1.gün	3.3 x10 ⁵	2.8 x10 ³	1.9 x10 ³	5x10 ²	1.97x10 ³	300	<i>Dicrocoelium dendriticum.</i> <i>Hymenolepis diminuta</i>
	15.gün	8.9 x10 ³	4.4 x10 ²	1.3 x10 ²	2.3x10 ²	1.71x10 ³	129	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
Mikrodalga	1.gün	6.5 x10 ⁵	9.3 x10 ³	3.7x10 ²	1.1 x10 ³	1.78x10 ³	490	<i>Dicrocoelium dendriticum.</i> <i>Hymenolepis diminuta</i>
	15.gün	1.0 x10 ⁵	4.2 x10 ²	8.5x10 ¹	3.2x10 ²	1.65x10 ³	310	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Ultrasonik	1.gün	3.2 x10 ⁵	2.1 x10 ⁴	1.6 x10 ³	1 x10 ²	1.56x10 ³	320	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	3 x10 ³	3 x10 ²	4.3 x10 ²	8.9x10 ¹	1.22x10 ³	120	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
Enzim	1.gün	4.4 x10 ⁵	4.4 x10 ³	3.7x10 ²	1.1 x10 ³	1.73x10 ³	280	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	7.0 x10 ⁴	8.8 x10 ²	1.6x10 ¹	6.8x10 ²	1.69x10 ³	130	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Alkali	1.gün	1.1 x10 ⁵	8.9 x10 ³	2.2x10 ³	2.0 x10 ³	1.74x10 ³	270	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	4 x10 ²	2.2x10 ¹	1.8x10 ¹	1.6x10 ¹	1.65x10 ³	130	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>

Tablo 9.90 : Antalya aerobik stabilizasyon reaktörlerinde mikrobiyolojik analiz sonuçları

Numune	Toplam Koliform (adet koloni / 1 g çamur)	E-Coli (adet koloni /1 g çamur)	Fekal Streptokok (adet koloni /1 g çamur)	Salmonella (adet koloni/1 g çamur)	Enterovirüs (MPN/g)	Helmint yumurta sayısı (adet/g)	Helmint yumurta tanısı	
Sulu çamur	2.9 x10 ⁵	7.3x10 ³	3.6 x10 ²	3.6x10 ³	13.16x10 ⁴	120	<i>Diphyllobothrium latum</i> ; <i>Shistosoma Japonicum</i>	
Kontrol	1.gün	1.2x10 ⁴	1.6x10 ³	2.5 x10 ²	7.3 x10 ²	12.80x10 ⁴	90	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	15.gün	8 x10 ³	1.6x10 ³	Üreme yok	1.1x10 ²	12.70x10 ⁴	78	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Mikrodalga	1.gün	2.3 x10 ⁵	2.3x10 ³	9x10 ²	9x10 ²	12.88x10 ⁴	170	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	15.gün	1.0 x10 ⁵	1.8x10 ³	3 x10 ²	4x10 ²	12.10x10 ⁴	40	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Ultrasonik	1.gün	3.0x10 ⁴	2.3x10 ³	1.6 x10 ²	7x10 ²	11.24x10 ³	150	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	15.gün	1.6x10 ⁴	1.9x10 ³	7.4x10 ¹	3x10 ²	9x10 ³	90	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Enzim	1.gün	1.4 x10 ⁵	1.0x10 ³	3.1x10 ¹	3x10 ²	11.40x10 ³	110	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	15.gün	2.2x10 ⁴	6x10 ²	2.9x10 ¹	2x10 ²	10.86x10 ³	50	<i>Hymenolepis diminuta</i> . <i>Schistosoma mansoni</i>
Alkali	1.gün	1.6x10 ⁵	4.1x10 ³	6.6 x10 ²	9x10 ²	9.85x10 ³	140	<i>Hymenolepis diminuta</i> . <i>Schistosoma mansoni</i>
	15.gün	6.7x10 ⁴	3.5x10 ³	6.0 x10 ²	6x10 ²	8.20x10 ³	50	<i>Hymenolepis diminuta</i>

9.2.2. Anaerobik Stabilizasyon Uygulamaları

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarında da aerobik stabilizasyon çalışmalarında olduğu gibi, seçilen 4 atıksu arıtma tesisinden **Ege Bölgesi'nde** İzmir Çiğli İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) ve İzmir Foça İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (evsel), **Akdeniz Bölgesi'nde** Antalya Lara İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (evsel) ve Adana Seyhan Atıksu Arıtma Tesisi'nden (kentsel) alınan çamur örnekleri ile çalışılmıştır. Bu arıtma tesislerinden alınan evsel ve kentsel nitelikli arıtma çamuru örnekleri, İP 8'de belirlenen en uygun koşullarda ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim ön arıtım işlemlerine tabi tutulmuştur. Bununla birlikte Adana ve Antalya çamurlarına 2N'lık NaOH ilavesiyle pH 11'e getirilmek suretiyle alkali ön arıtma işlemi de uygulanmıştır. Her bir tesis için; kontrol (hiç bir ön arıtım/arıtım uygulanmamış) ve ön işlem uygulanmış dört adet reaktör olmak üzere DEÜ laboratuvarlarında kurulu bulunan aktif çalışma hacmi yaklaşık 6 L ve 2L olan anaerobik reaktör sistemleri kullanılmıştır.

Ultrasonikasyon dezentegrasyonu için arıtma çamurlarına, İP 8'de optimum değer olarak bulunan 9690 kJ/kg TKM spesifik enerjide 43.2 W ve %40 amplitüde göre ayarlanan ultrasonikasyon dozu uygulanarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Mikrodalga dezentegrasyonu, arıtma çamurlarına Berghoff MWS-3+ cihazı kullanılarak, İP 8'de optimum koşul olarak tespit edilen 175°C sıcaklık ve 10 dakika süre ile mikrodalga uygulaması ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Enzim arıtımı olarak, arıtma çamurlarına stabilizasyon sırasında Alpha-amylase, Beta-glucanase (endo-(1,2(4)-), Lipase, Protease, Cellulase sınıfına ait 4 farklı hidrolitik ve 1 adet sellülotik enzimden oluşan karışım hacimce %0.5'lik enzim karışımı olarak uygulanmıştır. Burada kullanılan enzimler ve en uygun doz TÜBİTAK 104Y375 nolu projeden temin edilmiştir.

Reaktörlerdeki karışım mekanik karıştırıcılar ile sağlanmıştır. Reaktörler mezofilik şartlarda (37°C) işletilmiştir. Reaktörlerin toplam katı madde miktarı yaklaşık %1 olarak ayarlanmış, reaktörlerde aşı/çamur oranı hacimce 1/3 olarak verilmiştir. Anaerobik aşı çamuru, Pakmaya İzmir fabrikasında kurulu bulunan anaerobik metan reaktöründen temin edilmiştir. Sadece Antalya AAT çamuru uygulamalarında Efes Pilsen A.Ş. İzmir Fabrikası'nda kurulu anaerobik reaktörlerden alınan aşı çamuru ile çalışılmıştır. Dezentegre edilen çamur hacmi, toplam reaktör hacminin 1/4'ü olarak uygulanmıştır. Anaerobik reaktörlerde işletim süresi 30 gün olarak belirlenmiştir.

Reaktörlerden alınan numunelerde stabilizasyon derecesinin belirlenmesi ve performans değerlendirmelerine yönelik olarak, toplam katı madde (TKM), organik madde (OM), toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve çözünmüş KOİ (ÇKOİ), toplam organik karbon (TOC), çözünmüş organik karbon (DOC), pH, redoks potansiyeli (ORP), sıcaklık, alkalinite, toplam azot, amonyak, toplam fosfor, biogaz üretimi, metan ve biogaz içeriğindeki H₂S, CO₂ gibi gazların analizi ve uçucu yağ asitlerinin analizi tayinleri yapılmıştır. Tüm analizler, Standart Metotlarda verilen yöntemlere göre paralel olarak gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar ortalama değerler olarak aşağıda detaylı olarak sunulmaktadır. Anaerobik reaktörlerde analizlenen parametreler ve ölçüm sıklığı Tablo 9.91’de verilmektedir.

Tablo 9.91 : Anaerobik Reaktörlerin İşletiminde Analizlenen Parametreler

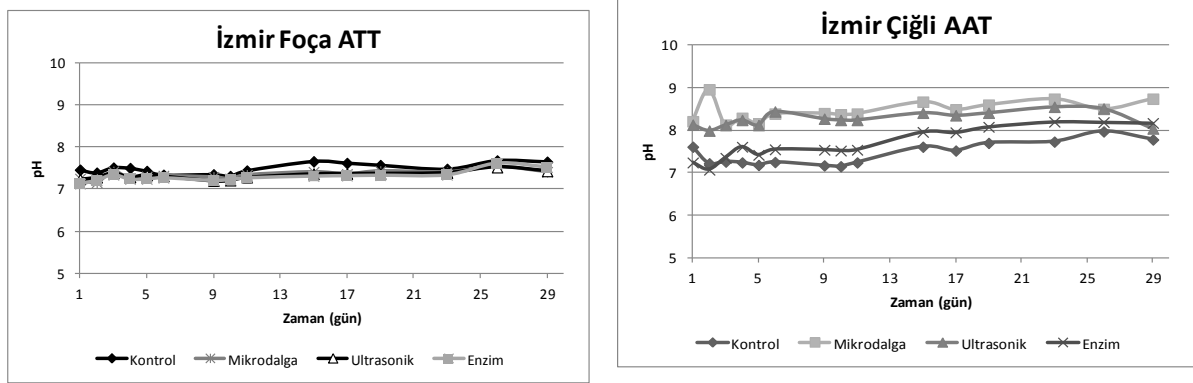
Parametre	Analiz Sıklığı
Toplam Katı Madde	Haftada 2 defa
Askıda Katı Madde	Haftada 2 defa
Uçucu Katı Madde	Haftada 2 defa
Alkalinite	Haftada 2 defa
Toplam Gaz	Her gün
Metan (Cihazla veya analitik)	Haftada 2 defa
Redox potansiyeli	Her gün
İletkenlik	Her gün
pH	Her gün
Sıcaklık	Her gün
Tuzluluk	Her gün
Toplam KOİ	Haftada 2 defa
Çözünmüş KOİ	Haftada 2 defa
TOK	Haftada 1 defa
DOC	Haftada 1 defa
Uçucu yağ asitleri, VFA	Haftada 1 defa
TN	1. ve 30. günlerde
TP	1. ve 30. günlerde
KES	Haftada 1 defa
NH ₄ ⁺ -N, SO ₄ ⁻ , Cl ⁻	1. ve 30. günlerde
Partikül boyut dağılımı	Haftada 1 defa

Tüm reaktörlerde patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiş olup, toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok ve Salmonella parametreleri izlenmiştir.

9.2.2.1.Ege Bölgesi Analiz Sonuçları (Çiğli-Foça)

pH Analiz Sonuçları

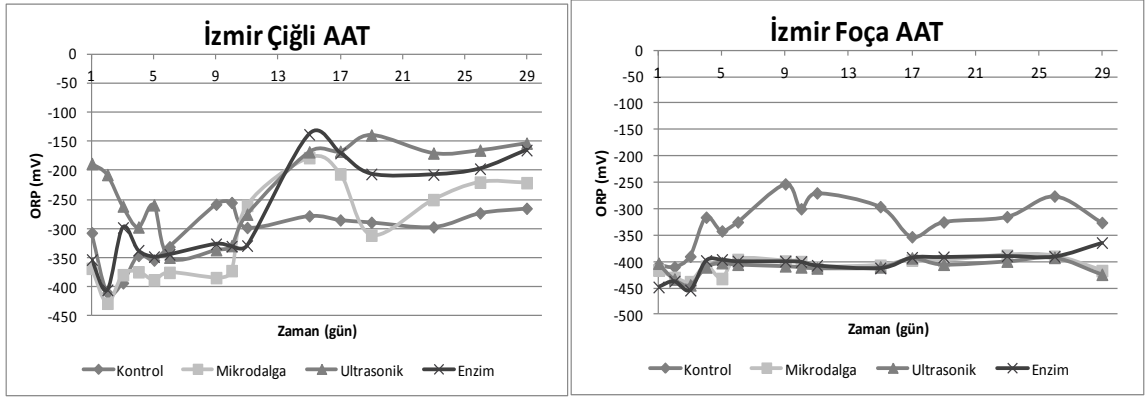
Çiğli AAT ve Foça AAT çamurları ile işletilen reaktörlerde günlük olarak ölçülen pH değerleri Şekil 9.138’te verilmektedir. Çiğli AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde pH 7.2-8.9 aralığında salınım göstermekle birlikte, tüm reaktör sistemlerinde işletim süresince önemli bir değişim olmamıştır. Mikrodalga ve ultrasonik dezentegrasyon uygulanan reaktörlerde pH değerleri kontrol ve enzimatik arıtım uygulamasına göre daha yüksek seviyede kalmıştır. Foça AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde pH 7.2-7.6 aralığında kalmıştır. İşletim süresine bağlı olarak zaman içinde önemli değişimler gözlenmemiştir.



Şekil 9.138 : İşletim Periyodunun Bir Fonksiyonu Olarak Çiğli ve Foça Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde pH Değişimi

ORP Analiz Sonuçları

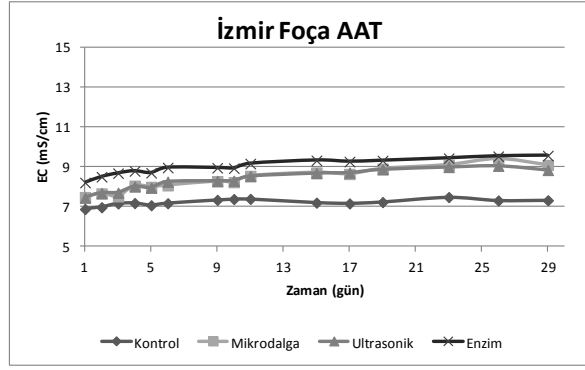
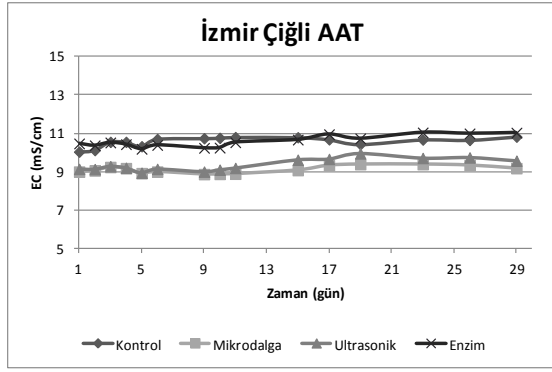
Çiğli ve Foça AAT’den alınan çamur örnekleri ile işletilen anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde işletim süresince belirlenen ORP değerleri Şekil 9.139’da grafiğe aktarılmıştır. ORP değerleri Çiğli reaktörlerinde -170 ile -450 mV arasında, Foça reaktörlerinde -250 ile -450 mV arasında salınım göstermiştir. Bu ORP değerleri de ortamın tamamen anaerobik olarak korunduğunu göstermektedir.



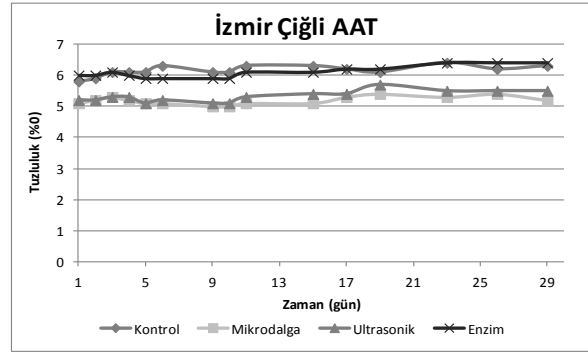
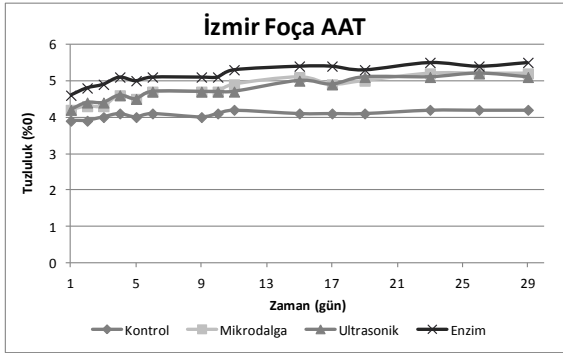
Şekil 9.139 : İşletim periyodunun bir fonksiyonu olarak Çiğli ve Foça anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde ORP değişimi

Elektriksel İletkenlik (EC) Analiz Sonuçları

Tüm reaktörlerde ölçülen elektriksel iletkenlik (EC) değerleri işletim süresinin bir fonksiyonu olarak Şekil 9.140'te grafiğe aktarılmıştır. Çiğli AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde EC değerleri 8.9-11.0 mS/cm arasında kalırken Foça AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde 6.9-9.5 mS/cm arasında değişim göstermiştir. Kontrol reaktörleri de dahil olmak üzere tüm dezentegrasyon uygulanmış reaktörlerde işletim süresince EC değerlerinde bir miktar artış olduğu saptanmıştır. Ancak bu değerler, Çiğli AAT çamurları için daha yüksek değerler olarak elde edilmiştir. EC değerleri ile tuzluluk değerleri arasında uyum görülmüştür. Anaerobik reaktörlerde okunan tuzluluk değerleri de Şekil 9.141'de verilmektedir.



Şekil 9.140 : İşletim süresinin bir fonksiyonu olarak çiğli ve foça anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde EC değişimi



Şekil 9.141 : İşletim Süresinin Fonksiyonu Olarak Çiğli ve Foça Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Tuzluluk Değişimi

Katı Madde Analiz Sonuçları

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarında Çiğli AAT ve Foça AAT çamurları kullanılan reaktörler için elde edilen TKM ve TUKM sonuçları Tablo 9.92’te verilmektedir. TKM parametresi incelendiğinde Çiğli AAT reaktörlerinde %8-%16, Foça AAT reaktörlerinde ise %15-%24 arasında azalmalar elde edilmiştir. TUKM sonuçlarında ise Çiğli AAT reaktörlerinde %16-%30, Foça AAT reaktörlerinde %7-%23 oranında indirgemeler elde edilmiştir. Ancak Çiğli AAT reaktörlerinde, dezentegre edilmiş çamurla çalıştırılan reaktörlerde elde edilen verimlerin kontrol reaktöründe elde edilen verimden daha düşük değerlerde kaldığı görülmektedir.

Tablo 9.92 : Çiğli ve Foça Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Gözlenen TKM ve TUKM Değişimleri

Reaktör	TKM			TUKM			
	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	
	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Azalma	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	
Kontrol	12800	10800	16	6560	4620	30	
Çiğli	Mikrodalga	12500	11600	8	6500	5490	16
	Ultrasonikasyon	11700	10700	9	5610	4550	19
	Enzim	11200	10000	11	5200	3900	25
Foça	Kontrol	7400	7900	-	3910	3630	7
	Mikrodalga	24700	21000	15	12210	10380	15
	Ultrasonikasyon	24200	19800	18	12140	9780	20
	Enzim	23500	17900	24	11310	8720	23

UAKM/AKM oranları Çiğli AAT ve Foça AAT reaktörleri için Tablo 9.93 ve Tablo 9.94'de verilmektedir. Bu oran Çiğli AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde 0.53-0.85 arasında değişirken, Foça AAT ile işletilen reaktörlerde 0.45-0.78 arasında değişim göstermiştir.

Tablo 9.93 : Çiğli Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde UAKM/AKM Değişimi

Gün	Çiğli AAT			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
1	0.70	0.80	0.73	0.85
9	0.65	0.53	0.78	0.77
15	0.70	0.76	0.58	0.82
19	0.54	0.68	0.53	0.60
23	0.54	0.64	0.60	0.64

Tablo 9.94 : Foça Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde UAKM/AKM Değişimi

Gün	Foça AAT			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
1	0.78	0.52	0.57	0.53
9	0.65	0.56	0.59	0.61
15	0.70	0.50	0.48	0.51
19	0.61	0.45	0.46	0.54
23	0.61	0.53	0.55	0.51

KOİ ve ÇKOİ Analiz Sonuçları

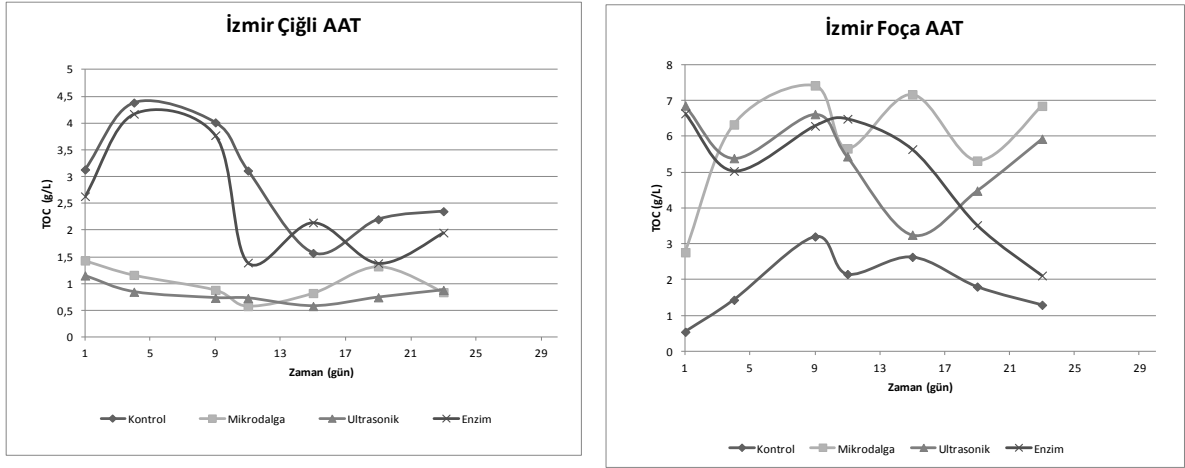
İşletilen reaktörlerde analizlenen toplam KOİ ve çözülmüş KOİ değerleri Tablo 9.95’de verilmektedir. Stabilizasyon öncesi ve sonrası değerler dikkate alındığında, TKOİ değerlerinde Çiğli AAT ile işletilen kontrol, mikrodalga, ultrasonik, enzim ve alkali reaktörlerinde %50, %34, %25 ve %25 azalma elde edilmiştir. Foça AAT reaktörlerinde ise kontrol, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde %38, %13 ve %30 düşüş belirlenirken, mikrodalga uygulamasında toplam KOİ giderimi elde edilememiştir. Çözülmüş KOİ değerleri incelendiğinde Çiğli AAT reaktörlerinde %33-%85 arasında değişen önemli giderimlerin olduğu saptanmıştır. En yüksek verim (%85) enzim uygulanan reaktörde belirlenmiştir. ÇKOİ parametresine göre tüm Foça AAT reaktörlerinde %80 civarında giderim verimleri elde edilmiştir.

Tablo 9.95 : Çiğli ve Foça Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde TKOİ ve ÇKOİ Değişimleri

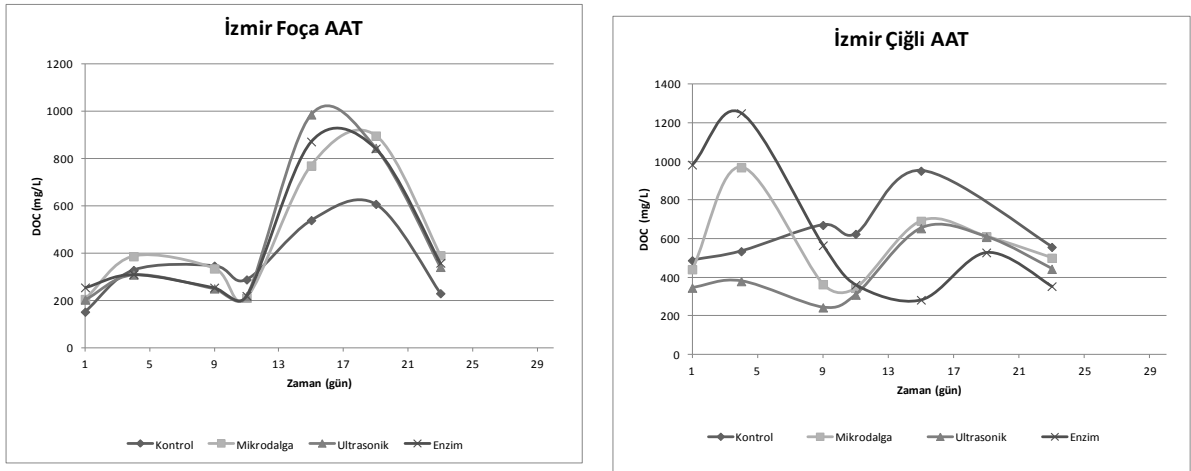
Reaktör	TKOİ			ÇKOİ			
	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	
	Stabilizasyo n	Stabilizasyo n	Gideri m	Stabilizasyo n	Stabilizasyo n	Giderim	
	Öncesi	Sonrası		Öncesi	Sonrası		
ÇİĞLİ	Kontrol	9600	4800	50	8000	4800	40
	Mikrodalga	9600	6400	34	1600	1080	33
	Ultrasonikasyo n	6400	4800	25	2400	960	60
	Enzim	9600	4800	25	4000	600	85
FOÇA	Kontrol	6400	4000	38	4800	800	83
	Mikrodalga	12800	16000	--	6400	1280	80
	Ultrasonikasyo n	19200	16800	13	6400	1280	80
	Enzim	16000	11200	30	8000	1600	80

TOK ve ÇOK Analiz Sonuçları

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarında reaktörlerde TOK ve ÇOK analizleri gerçekleştirilmiştir. Çiğli AAT ve Foça AAT'den alınan çamurlarla işletilen reaktörlerdeki TOK ve ÇOK analizi sonuçları Şekil 9.142 ve Şekil 9.143'da grafiğe aktarılmıştır. Çiğli AAT reaktörlerinde kontrol, mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde sırasıyla %25, %42, %24 ve %26 TOK giderme verimleri elde edilmiştir. Foça AAT reaktörlerinde ise kontrol ve mikrodalga reaktörlerinde hiçbir azalma gözlenmemiştir; ancak, ultrasonik reaktöründe %14 ve enzim reaktöründe %68 verim belirlenmiştir. ÇOK değerleri incelendiğinde ise Çiğli AAT enzim uygulaması hariç, diğer tüm Çiğli ve Foça AAT reaktörlerinde azalma olmamıştır.



Şekil 9.142 : Çiğli ve Foça anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde işletim süresi boyunca TOK değişimi



Şekil 9.143 : Çiğli ve Foça anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde işletim süresi boyunca ÇOK değişimi

Alkalinite ve Uçucu Yağ Asitleri (VFA) Analiz Sonuçları

Çiğli ve Foça AAT reaktörlerinde izlenen alkalinite değişimleri Tablo 9.96 ve

Tablo 9.97’de, toplam uçucu yağ asiti analiz sonuçları ise

Tablo 9.98 ve Tablo 9.99’da verilmektedir. Genel olarak değerlendirme yapıldığında hem alkalinite hem VFA değerlerinde işletim süresince düşme gözlenmiştir.

VFA/alkalinite oranları Çiğli AAT reaktörlerinde stabilizasyon işleminin sonunda kontrol, mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerinde sırasıyla 0.3, 0.05, 0.5 ve 0.3; Foça AAT reaktörlerinde 0.3, 0.9, 0.9 ve 0.3 olarak belirlenmiştir.

Tablo 9.96: Çiğli anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde izlenen alkalinite değişimleri

Gün	Çiğli AAT- Alkalinite (mgCaCO ₃ /L)			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
1	3715	2635	2660	2420
9	1777	1023	2001	1255
11	908	568	579	718
15	791	523	635	759
19	636	373	373	463
23	552	373	418	418
30	462	345	392	462

Tablo 9.97: Foça anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde izlenen alkalinite değişimleri

Gün	Foça AAT- Alkalinite (mgCaCO ₃ /L)			
	Kontrol	Mikrodalga	Mikrodalga	Enzim
1	2060	-	-	2420
9	1487	1607	1607	1255
11	759	884	884	718
15	726	939	939	759
19	418	654	654	463
23	463	670	670	418
30	462	800	800	462

Tablo 9.98: Çiğli anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde izlenen toplam VFA değişimleri

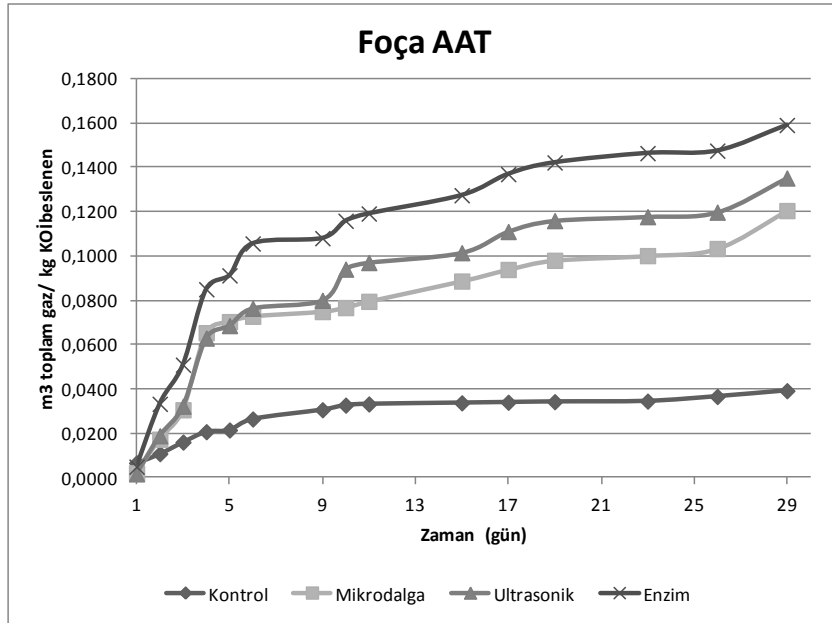
Gün	Çiğli AAT- VFA (mg asetik asit/L)			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
9	852	1547	745	2233
11	802	312	153	442
15	773	168	138	-
19	243	183	183	153
23	123	183	168	168
30	156	16	198	156

Tablo 9.99: Foça anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde izlenen toplam VFA değişimleri

Gün	Foça AAT- VFA (mg asetik asit/L)			
	Kontrol	Mikrodalga	Mikrodalga	Enzim
9	1412	882	882	2233
11	-	921	921	442
15	290	1290	1290	-
19	168	442	442	153
23	153	260	260	168
30	156	745	745	156

Biyogaz Analiz Sonuçları

Reaktörlerde günlük toplam gaz ve metan gazı ölçümleri yapılmıştır. Foça AAT çamurları ile işletilen reaktörlere ait gaz ölçüm sonuçları Şekil 9.144'de verilmektedir.



Şekil 9.144 : Foça AAT çamurları ile işletilen anaerobik reaktörlerde zamanın bir fonksiyonu olarak toplam gaz oluşumu

Amonyum Azotu ve Toplam Azot Analiz Sonuçları

Çiğli AAT ve Foça AAT çamurları ile işletilen reaktörlerde, stabilizasyon işleminin 1. ve 30. gününde alınan çamur örneklerinde yapılan amonyum azotu ve toplam azot analizi sonuçları Tablo 9.100 ve Tablo 9.101'de verilmektedir. Her iki tesis çamuru için de kontrol reaktörü hariç diğer tüm reaktörlerde stabilizasyon işlemi sonunda amonyum azotu değerlerinde artış olmuştur.

Tablo 9.100: Çiğli anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde Amonyum Azotu ve Toplam Azot değişimleri

Gün	Çiğli AAT			
	Kontrol	Mikroalga	Ultrasonik	Enzim
NH₄⁺-N analiz sonuçları (mg/L)				
1	843	436.71	456.7	446.7
30	670	580	530	617
Toplam Azot (mg/kg)				
1	5.80	6.98	5.07	5.87
30	4.87	4.82	4.89	4.99

Tablo 9.101 : Foça anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde Amonyak ve Toplam Azot değişimleri

Gün	Foça AAT			
	Kontrol	Mikroalga	Ultrasonik	Enzim
NH₄⁺-N analiz sonuçları (mg/L)				
1	700	540	470	440
30	542	690	773	760
Toplam Azot (mg/kg)				
1	4.97	3.61	3.53	4.50
30	4.31	4.80	3.41	5.18

Toplam Fosfor Analiz Sonuçları

Çiğli AAT ve Foça AAT reaktörlerinde işletimin ilk ve son günlerinde analizlenen Toplam Fosfor parametresine ait sonuçlar Tablo 9.102 ve Tablo 9.103'de verilmektedir. Toplam fosfor değerleri için Çiğli AAT reaktörlerinde kontrol reaktörü hariç diğer tüm reaktörlerde artış gözlenmiştir. Foça reaktörlerinde ise sadece mikroalga reaktöründe toplam fosfor değerlerinde artış belirlenmiştir. Anaerobik çürüme prosesi sırasında, katı fazda bulunan fosforun sıvı faza salınımı gerçekleştiğinden çürüme sonrasında alınan örneklerde katı fazda fosfor değerlerinde beklendiği üzere azalma meydana gelmiştir.

Tablo 9.102 : Reaktörlerde Toplam Fosfor Değişimi

Gün	Çiğli AAT- Toplam Fosfor (mg/kg)			
	Kontrol	Mikroalga	Ultrasonik	Enzim
1	2122.9	8360.40	13243	8390.2
30	2788.3	3039.3	2681.5	802.59

Tablo 9.103: Reaktörlerde Toplam Fosfor Değişimi

Gün	Foça AAT- Toplam Fosfor (mg/kg)			
	Kontrol	Mikroalga	Ultrasonik	Enzim
1	4291.4	1167.3	13045	9926.2
30	3530.5	2180.8	1521.2	1120.8

Klorür ve Sülfat Analiz Sonuçları

Reaktörlerde ilk ve son işletim günlerinde analiz edilen klorür (Cl^-) ve sülfat (SO_4^-) sonuçları Tablo 9.104 ve Tablo 9.105’de verilmektedir. Klorür ve sülfat analizi sonuçları incelendiğinde her iki parametre açısından da anaerobik reaktör işletimini inhibe edecek koşullar görülmemektedir. Bu parametrelerle birlikte tuzluluk ve EC parametresi de göz önüne alındığında reaktör işletimine yönelik olarak tuzluluk ve sülfat değerlerinde bir problem olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 9.104 : Çiğli anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde Klorür ve Sülfat konsantrasyonlarındaki değişim

Gün	Çiğli AAT			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
Klorür analiz sonuçları (mg/L)				
1	185	183	192	199
30	205	190	172	213
SO_4^- analiz sonuçları (mg/L)				
1	94.23	450.18	329.61	197.11
30	283.52	225.50	197.52	79.42

Tablo 9.105: Foça Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Klorür ve Sülfat Konsantrasyonlarındaki Değişim

Gün	Foça AAT			
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim
Klorür analiz sonuçları (mg/L)				
1	84	160	164	200
30	136	170	160	157
SO_4^- analiz sonuçları (mg/L)				
1	130.86	656.75	662.1	794.61
30	232.91	156.78	264.60	208.63

Partikül Boyutu Analiz Sonuçları

Çiğli AAT ve Foça AAT çamur örnekleri ile çalıştırılan anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde, işletimin ilk ve son günlerinde alınan örneklerde yapılan partikül boyut dağılımı sonuçları Tablo 9.106 ve Tablo 9.107’de verilmektedir. Partikül boyutu analiz sonuçları d (0.5) parametresine göre incelendiğinde, dezentegrasyon işlemi uygulanan reaktörlerin partikül boyutlarında kontrol reaktörlerine kıyasla bir düşüş gerçekleşmiştir.

Bu düşüş, dezentegrasyona bağlı olarak hücrelerde meydana gelen parçalanmanın bir göstergesidir.

Tablo 9.106 : Çiğli Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Partikül Boyutu Dağılımı Analiz Sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Çiğli AAT Kontrol					
1. gün	32.397	95.732	186.773	81.671	22.115
30. gün	24.060	87.992	180.173	67.706	17.692
Çiğli AAT Mikrodalga					
1. gün	29.235	97.074	191.592	78.052	19.979
30. gün	33.462	88.855	178.996	67.865	19.649
Çiğli AAT Ultrasonik					
1. gün	22.466	104.266	218.214	75.969	15.788
30. gün	27.359	78.578	159.007	61.583	17.731
Çiğli AAT Enzim					
1. gün	24.218	87.894	175.600	73.505	16.745
30. gün	29.005	83.131	167.161	66.679	17.103

Tablo 9.107: Foça Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Partikül Boyutu Dağılımı Analiz Sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Foça AAT Kontrol					
1. gün	22.288	109.251	350.657	44.613	14.815
30. gün	20.319	67.431	127.574	40.133	14.758
Foça AAT Mikrodalga					
1. gün	19.777	88.725	265.568	44.457	12.845
30. gün	20.872	81.883	229.493	40.105	14.606
Foça AAT Ultrasonik					
1. gün	19.516	77.086	192.583	43.163	12.866
30. gün	23.481	73.392	185.755	40.703	15.759
Foça AAT Enzim					
1. gün	20.338	99.214	306.043	45.014	13.389
30. gün	18.826	43.022	85.397	34.785	13.128

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarında patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler yapılmış olup, bu amaçla anaerobik reaktörlerde başlangıçta ve reaktör işletiminin son gününde alınan örneklerde toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok, Salmonella ve Enterovirüs parametreleri izlenmiş; Helmint yumurta sayısı ve tanısı yapılmıştır. Çiğli ve Foça anaerobik reaktörlerinde elde edilen mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 9.108 ve Tablo 9.109’da verilmektedir.

Çiğli AAT çamurları ile yapılan anaerobik reaktörlerin sonuçları değerlendirildiğinde:

- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 1.3×10^6 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Toplam Koliform parametresi için kontrol reaktöründe ilk ve son gün örneklerinde 4 log10 oranında azalma olduğu görülmüştür. Ultrasonik, mikrodalga ve enzim reaktörlerinde ilk gün numuneleri için 2 log10 kadar; son gün örneklerinde ise 4 log10 kadar bir azalma olduğu belirlenmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 2.8×10^4 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen E-Coli parametresi, kontrol ve mikrodalga reaktörlerinde ilk gün 2 log10 oranında azalma göstermiştir. Bu değerler ilk gün için ultrasonik ve enzim reaktörlerinde 1 log10 kadar azalmıştır. Reaktörlerden son gün alınan örneklerdeki mikrobiyolojik analizlerde ise kontrol, mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinde 3 log10, enzim reaktöründe ise 2log10’luk bir azalma olduğu belirlenmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 7×10^2 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Fekal Streptokok parametresi, kontrol reaktöründe ilk ve son gün numunelerinde 1log10’luk bir azalma gösterirken; mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinde ilk gün ve enzim reaktöründe ilk ve son gün için herhangi bir değişim göstermemiş, aynı mertebede kalmıştır. Mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinde son gün için 1log10’luk bir azalma olduğu görülmüştür.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 7×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Salmonella parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün ve son gün 2 log10 oranında azalma göstermiştir. Mikrodalga reaktöründe ilk gün 1 log10 kadar bir azalma olurken, son gün herhangi bir üreme gözlenmemiştir. Ultrasonik ve enzim reaktörlerinde ilk gün 1 log10 kadar bir azalma olurken, son gün 2 log10 oranında bir azalma belirlenmiştir.

- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 3.66×10^3 MPN/g çamur olarak belirlenen Enterovirüs parametresi, kontrol reaktöründe ilk ve gün merteye olarak bir değişikliğe uğramamıştır. Mikrodalga ilk gün 1 log10; son gün 2 log10 oranında bir azalma kaydedilmiştir. Ultrasonik ve enzim reaktörlerinde ilk gün herhangi bir değişim olmazken son gün 1 log10'luk bir azalma belirlenmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 80 adet/g çamur olarak belirlenen Helminth yumurta sayısı, kontrol reaktöründe ilk gün 210 adet/g çamur ve son gün 90 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Kontrol reaktöründe Helminth yumurta sayısında ilk gün %62 ve son gün %11 oranında artış olduğu görülmüştür. Mikrodalga reaktöründe ilk gün için 80 adet/g çamur ve son gün 12 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Mikrodalga reaktöründe anaerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %85 oranında azalma olduğu görülmüştür. Ultrasonik reaktöründe ilk gün için 130 adet/g çamur ve son gün 20 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Ultrasonik reaktöründe son gün Helminth yumurta sayısında %75 oranında azalma olduğu görülmüştür. Enzim reaktöründe ise ilk gün için 160 adet/g çamur ve son gün 120 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Enzim reaktöründe anaerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında %30 oranında bir artış olduğu belirlenmiştir.
- Helminth yumurta tanısı sonuçlarına bakıldığında ise ham çamurda belirlenen *Hymenolepis diminuta* diğer tüm reaktörler için ilk ve son gün örneklerinde de gözlenmiştir. Kontrol reaktöründe son gün örneklerinde *Dicrocoelium dendriticum* belirlenirken, mikrodalga reaktör son gün örneğinde *Schistosoma mansoni* tespit edilmiştir.

Foça AAT çamurları ile yapılan anaerobik reaktörlerin sonuçları değerlendirildiğinde:

- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 6.3×10^5 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Toplam Koliform parametresi için bu değer, kontrol reaktöründe ilk gün 2.2×10^4 adet koloni/1 g çamur ve son gün 1.0×10^5 adet koloni/1 g çamur olduğu görülmüştür. Kontrol reaktöründe ilk gün 1log10'luk bir azalma varmış gibi görünmekle birlikte son gün mertebede herhangi bir değişim olmamıştır. Ultrasonik, mikrodalga ve enzim reaktörlerinde ilk gün ve son gün numuneleri için 3log10 kadar bir azalma olduğu belirlenmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 9×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen E-Coli parametresi, kontrol reaktöründe ilk ve son gün için merteye

olarak bir değişiklik göstermemiştir. Mikrodalga ve enzim reaktörlerinde ilk ve son gün örnekleri için 2 log₁₀ oranında azalma belirlenmiştir. Ultrasonik reaktöründe ise herhangi bir üreme kaydedilmemiştir.

- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 7×10^2 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Fekal Streptokok parametresi, kontrol reaktöründe ilk ve son gün için mertebe olarak bir değişiklik göstermemiştir. Mikrodalga reaktöründe ilk gün ve son gün değerlerinde ve ultrasonik reaktörün ilk gün örneğinde 1log₁₀ bir azalma olmuş; mikrodalga son gün örneğinde herhangi bir üreme olmamıştır. Enzim reaktöründe ise ilk gün 9 adet koloni/1 g çamur ve son gün için 6 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 5×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Salmonella parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün ve son gün örneklerinde 1 log₁₀ oranında; mikrodalga reaktöründe 1 log₁₀ oranında azalma göstermiştir. Ultrasonik reaktörde ilk gün son gün herhangi bir üreme gözlenmemiştir. Enzim reaktöründe ilk gün 1.7×10^1 adet koloni/1 g çamur, son gün 5 adet koloni/1 g çamur değerleri kaydedilmiştir.
- Anerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 2.14×10^3 MPN/g çamur olarak belirlenen Enterovirüs parametresi, kontrol e mikrodalga reaktörlerinde ilk gün mertebe olarak bir değişikliğe uğramamış; son gün 1log₁₀'luk bir azalma kaydedilmiştir. Ultrasonik ve enzim reaktörlerinde ilk gün 2×10^2 MPN/g çamur değeri ile 1log₁₀'luk bir azalma belirlenirken son gün 3 MPN/g çamur ve 5 MPN/g çamur elde edilmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 120 adet/g çamur olarak belirlenen Helminth yumurta sayısı, kontrol reaktöründe ilk gün 260 adet/g çamur ve son gün 90 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Kontrol reaktöründe Helminth yumurta sayısında ilk gün %53 ve son gün %25 oranında artış olduğu görülmüştür. Mikrodalga reaktöründe ilk gün için 110 adet/g çamur ve son gün 20 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Mikrodalga reaktöründe anerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında ilk gün önemli bir azalma olmazken son gün %83 oranında azalma olduğu görülmüştür. Ultrasonik reaktöründe ilk gün için 150 adet/g çamur ve son gün 30 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Ultrasonik reaktöründe son gün Helminth yumurta sayısında %75 oranında azalma olduğu görülmüştür. Enzim reaktöründe ise ilk gün için 130 adet/g çamur ve son gün 20

adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Enzim reaktöründe anaerobik stabilizasyon sonrasında ilk gün Helminth yumurta sayısında önemli bir değişim olmazken, son gün %83 oranında bir azalma olduğu belirlenmiştir.

- Helminth yumurta tanısı sonuçlarına bakıldığında ise ham çamurda *Hymenolepis diminuta* belirlenirken; kontrol ve enzim reaktörlerinin ilk ve son gün örneklerinde ve mikrodalga son gün örneklerinde *Dicrocoelium dendriticum* belirlenmiştir. Mikrodalga ilk gün ve ultrasonik reaktör ilk ve son gün örneklerinde ise *Schistosoma mansoni* tespit edilmiştir.

Tablo 9.108 : Çiğli anaerobik stabilizasyon reaktörlerindeki mikrobiyolojik analiz sonuçları

Numune	Toplam Koliform (adet koloni /1 g çamur)	E-Coli (adet koloni /1 g çamur)	Fekal Streptokok (adet koloni /1 g çamur)	Salmonella (adet koloni /1 g çamur)	Enterovirüs (MPN/g)	Helmint yumurta sayısı (adet/g)	Helmint yumurta tanısı	
Sulu çamur	1.3 x10 ⁶	2.8x10 ⁴	7x10 ²	7x10 ³	3.66x10 ³	80	<i>Hymenolepis diminuta</i>	
Kontrol	1.gün	7.65 x10 ²	9x10 ²	6.3x10 ¹	2.0x10 ¹	4x10 ³	210	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	7.30x10 ²	6.9x10 ¹	4.5x10 ¹	1.6x10 ¹	1x10 ³	90	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>
Mikrodalga	1.gün	6.30 x10 ⁴	9x10 ²	2.2x10 ²	4x10 ²	4x10 ²	80	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	1.20x10 ²	5.2x10 ¹	3.2x10 ¹	Üreme yok	3x10 ¹	12	<i>Hymenolepis diminuta.</i> <i>Schistosoma mansoni</i>
Ultrasonikasyon	1.gün	3.4 x10 ⁴	2.1x10 ³	6.4x10 ²	1x10 ²	1x10 ³	130	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	1.4x10 ²	5.3x10 ¹	3.9x10 ¹	1.2x10 ¹	4x10 ¹	20	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Enzim	1.gün	8.9 x10 ⁴	2.7x10 ³	3x10 ²	1x10 ²	1.02x10 ³	160	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	8 x10 ²	2.5x10 ²	1.2x10 ²	1x10 ¹	6x10 ¹	120	<i>Hymenolepis diminuta</i>

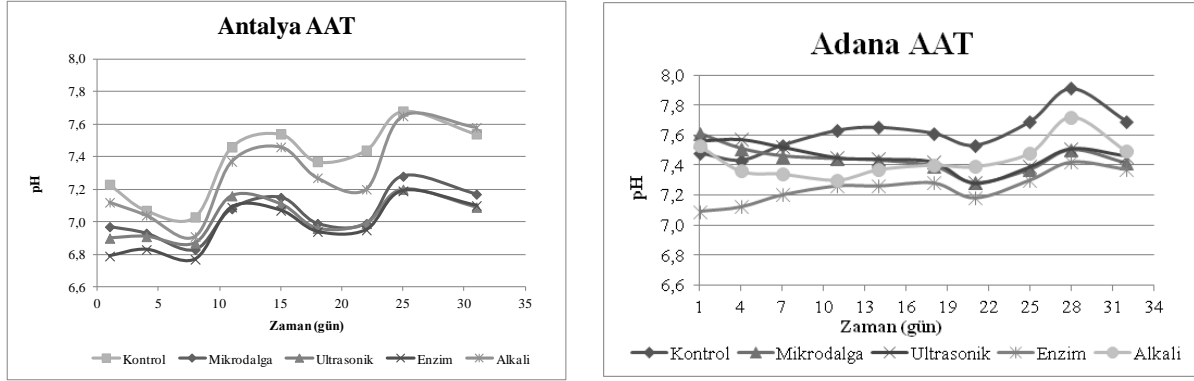
Tablo 9.109 : Foça anaerobik stabilizasyon reaktörlerindeki mikrobiyolojik analiz sonuçları

Numune	Toplam Koliform (adet koloni/1 g çamur)	E-Coli (adet koloni /1 g çamur)	Fekal Streptokok (adet koloni /1 g çamur)	Salmonella (adet koloni/1 g çamur)	Enterovirüs (MPN/g)	Helmint yumurta sayısı (adet/g)	Helmint yumurta tanısı	
Sulu çamur	6.3x10 ⁵	9 x10 ³	7x10 ²	5x10 ³	2.14x10 ³	120	<i>Hymenolepis diminuta</i>	
Kontrol	1.gün	2.2 x10 ⁴	3.3x10 ³	8.1x10 ²	4.0x10 ²	1.22x10 ³	260	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>
	30.gün	1.0 x10 ⁵	2.9 x10 ³	6.33x10 ²	3.17x10 ²	9x10 ²	90	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>
Mikrodalga	1.gün	2.16x10 ²	7.2x10 ¹	4.5x10 ¹	6.3x10 ¹	1x10 ³	110	<i>Schistosoma mansoni</i>
	30.gü	1.23x10 ²	2.4x10 ¹	1.0x10 ¹	1.8x10 ¹	4x10 ¹	20	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>
Ultrasonikasyon	1.gün	9.90x10 ²	Üreme yok	1.8x10 ¹	Üreme yok	2x10 ²	150	<i>Schistosoma mansoni</i>
	30.gün	4x10 ²	Üreme yok	Üreme yok	Üreme yok	3	30	<i>Schistosoma mansoni</i>
Enzim	1.gün	5.40x10 ²	6.3x10 ¹	9	1.7x10 ¹	2x10 ²	130	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>
	30.gün	3.40x10 ²	3.3x10 ¹	6	5	5	20	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>

9.2.2.2.Akdeniz Bölgesi Analiz Sonuçları (Adana-Antalya)

pH Analiz Sonuçları

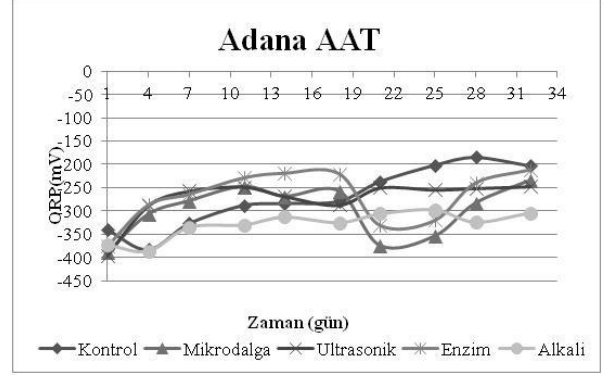
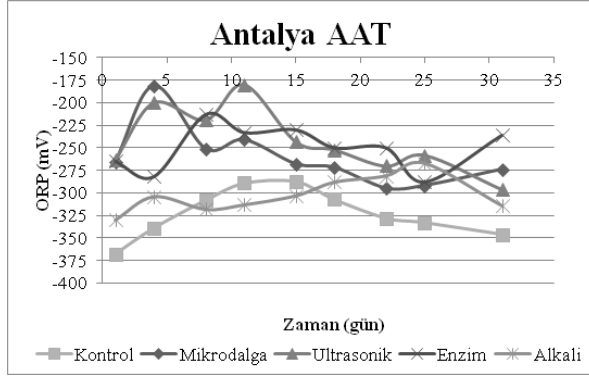
Adana AAT ve Antalya AAT çamurları ile işletilen reaktörlerde günlük olarak ölçülen pH değerleri Şekil 9.145’da verilmektedir. Adana AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde pH 7.1-7.9 aralığında değişmiş, tüm reaktör sistemlerinde işletim süresince pH değerlerinde salınım gözlenmiştir. Ancak bu salınımlar, biyolojik aktiviteyi olumsuz etkileyecek bir düzeyde olmamıştır. Antalya AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde pH 6.8-7.7 aralığında kalmıştır. Hem Çiğli AAT ve hem Foça AAT reaktörlerinde, kontrol reaktörde ve alkali uygulanan reaktörlerde pH değerleri mikrodalga dezentegrasyonu, ultrasonik dezentegrasyonu ve enzimatik arıtım uygulamasına göre daha yüksek seviyede kalmıştır.



Şekil 9.145 : İşletim periyodunun bir fonksiyonu olarak stabilizasyon reaktörlerinde pH değişimleri

ORP Analiz Sonuçları

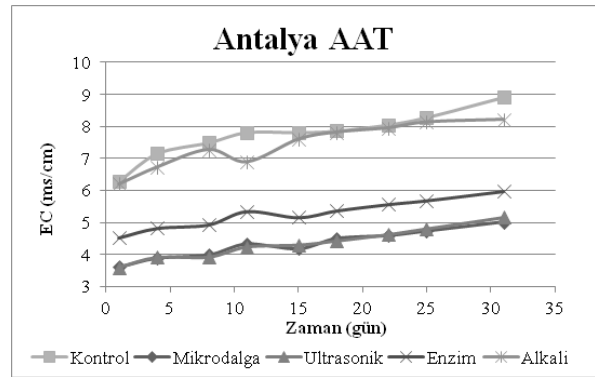
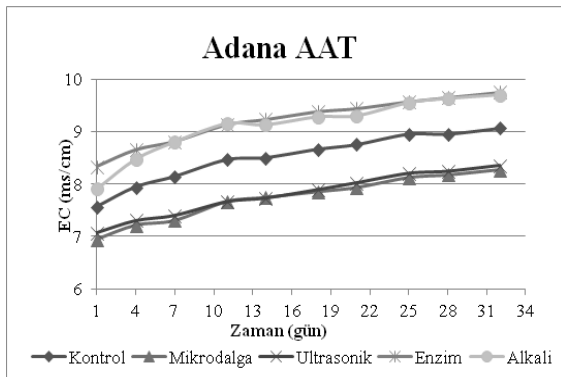
Dezente gre edilmiş çamurlarla çalıştırılan reaktörler ve kontrol reaktörlerinde, işletim süresinin bir fonksiyonu olarak ölçülen ORP değerleri Şekil 9.146’da grafiğe aktarılmıştır. Hem Adana AAT hem de Antalya AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde ORP değerleri yaklaşık -180 ile -400 mV arasında salınım göstermiştir. Bu ORP değerleri de ortamın tamamen anaerobik olarak korunduğunu göstermektedir.



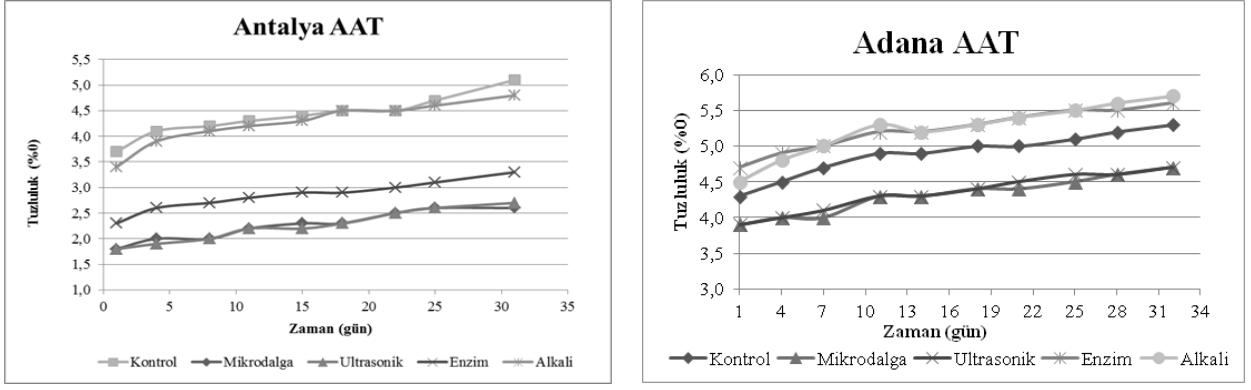
Şekil 9.146 : İşletim Periyodunun Bir Fonksiyonu Olarak Adana ve Antalya Stabilizasyon Reaktörlerinde ORP Değişimleri

Elektriksel İletkenlik (EC) Analiz Sonuçları

Dezentegre edilmiş çamurlar ile çalıştırılan reaktörler ve kontrol reaktörlerinde, ölçülen elektriksel iletkenlik (EC) değerleri işletim süresinin bir fonksiyonu olarak Şekil 9.147’de grafiğe aktarılmıştır. Adana AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde EC değerleri 7.0-9.8 mS/cm arasında kalırken Antalya AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde 3.6-8.9 mS/cm arasında değişim göstermiştir. Kontrol reaktörleri de dahil olmak üzere tüm dezentegrasyon uygulanmış tüm reaktörlerde işletim süresindeki artışa paralel olarak EC değerlerinde bir miktar artış olduğu saptanmıştır. Ancak, Adana AAT çamurları için daha büyük değişimler gözlenmiştir. EC değerleri ile tuzluluk değerleri arasında uyum görülmüştür. Anaerobik reaktörlerde ölçülen tuzluluk değerleri de Şekil 9.148’te verilmektedir.



Şekil 9.147 : İşletim süresinin bir fonksiyonu olarak Adana ve Antalya Stabilizasyon reaktörlerinde EC değişimi



Şekil 9.148: İşletim süresinin fonksiyonu olarak Adana ve Antalya stabilizasyon reaktörlerinde tuzluluk değişimi

Katı Madde Analiz Sonuçları

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarında Adana AAT ve Antalya AAT çamurları kullanılan reaktörler için elde edilen TKM ve TUKM sonuçları Tablo 9.110’da verilmektedir. TKM parametresi incelendiğinde Adana AAT reaktörlerinde %15-%30, Antalya AAT reaktörlerinde ise %31-%68 arasında azalmalar elde edilmiştir. TUKM sonuçlarında ise Adana AAT reaktörlerinde %22-%37, Antalya AAT reaktörlerinde %31-%69 oranında indirgemeler elde edilmiştir. En yüksek TUKM indirgeme verimi, Adana AAT reaktörlerinde enzim uygulanan reaktörde elde edilirken (%37), Antalya AAT reaktörlerinde ise mikrodalga uygulamasında (%69) elde edilmiştir.

UAKM/AKM oranları Adana AAT ve Antalya AAT reaktörleri için Tablo 9.111 ve Tablo 9.112’te verilmektedir. Bu oran Adana AAT çamurları ile çalışılan reaktörlerde 0.61-0.88 arasında değişirken, Antalya AAT ile işletilen reaktörlerde 0.73-0.85 arasında değişim göstermiştir.

Tablo 9.110: Adana Seyhan ve Antalya Lara Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Gözlenen TKM Ve TUKM Değişimleri

Reaktör	TKM			TUKM			
	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	
	Stabilizasyon	Stabilizasyon	Azalma	Stabilizasyon	Stabilizasyon	Giderim	
	Öncesi	Sonrası		Öncesi	Sonrası		
ADANA SEYHAN	Kontrol	16350	13310	19	10480	7240	31
	Mikrodalga	18030	13170	27	10600	7870	26
	Ultrasonikasyon	16990	14480	15	10460	8210	22
	Enzim	19880	14000	30	12510	7840	37
	Alkali	17010	12880	24	10530	7600	28
ANTALYA LARA	Kontrol	18480	7000	62	19080	13100	31
	Mikrodalga	29680	9380	68	19480	6010	69
	Ultrasonikasyon	13930	14320	-	20790	10360	50
	Enzim	42580	18040	58	28890	13030	55
	Alkali	17230	11900	31	14730	7800	47

Tablo 9.111: Adana Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde UAKM/AKM Değişimi

Gün	Adana AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	0.75	0.71	0.71	0.69	0.74
7	0.72	0.66	0.63	0.65	0.70
14	0.88	0.71	0.74	0.70	0.72
21	0.71	0.70	0.71	0.68	0.69
32	0.61	0.76	0.65	0.66	0.69

Tablo 9.112: Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde UAKM/AKM Değişimi

Gün	Antalya AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	0.83	0.85	0.78	0.84	0.80
7	0.83	0.85	0.84	0.85	0.80
14	0.81	0.83	0.83	0.85	0.79
21	0.79	0.81	0.82	0.80	0.73
32	0.73	0.79	0.77	0.79	0.75

KOİ ve ÇKOİ Analiz Sonuçları

Adana AAT ve Antalya AAT çamurları anaerobik stabilizasyon denemelerinde belirlenen KOİ ve ÇKOİ değişimleri Tablo 9.113’de verilmektedir. Ham aktif çamur örneklerinde KOİ ve ÇKOİ değerleri Adana AAT için sırasıyla 4320 mg/L ve 160 mg/L, Antalya AAT için ise 640 mg/L ve 480 mg/L olarak ölçülmüştür. Ancak reaktörlerin ilk işletim gününde yüksek KOİ değerleri elde edilmiştir. Bunda en önemli etkenin aşırı çamurunun etkisi olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte işletim süresinin artmasıyla, anaerobik aktivitenin bir sonucu olarak KOİ konsantrasyonlarında önemli indirgemeler olduğu gözlenmektedir. Stabilizasyon öncesi ve sonrası değerler dikkate alındığında, TKOİ değerlerinde Adana AAT ile işletilen kontrol, mikrodalga, ultrasonik, enzim ve alkali reaktörlerinde %44, %41, %50, %53 ve %56 azalma elde edilmiştir. Antalya AAT reaktörlerinde ise %89, %85, %49, %70 ve %72 TKOİ giderme verimi elde edilmiştir.

Çözünmüş KOİ değerleri incelendiğinde Adana AAT reaktörlerinde %21-%53 arasında değişen önemli giderimlerin olduğu saptanmıştır. En yüksek verim (%53) enzim uygulanan reaktörde belirlenmiştir. ÇKOİ parametresine göre tüm Antalya AAT reaktörlerinde %23-%85 arasında verimler elde edilmiştir. En yüksek verim mikrodalga (%85) ve enzim (%81) uygulamalarında belirlenmiştir.

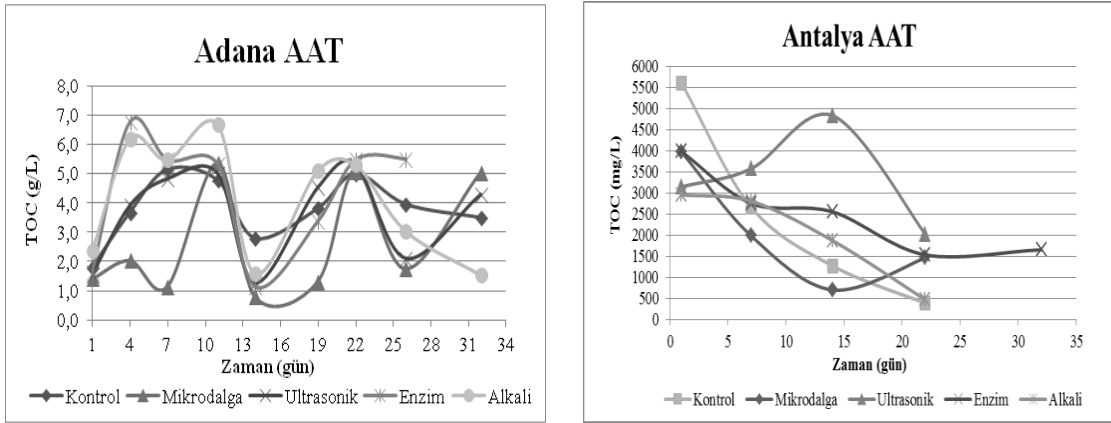
Tablo 9.113: Adana ve Antalya Anaerobik Reaktörlerinde TKOİ ve ÇKOİ Değişimleri

Reaktör	TKOİ			ÇKOİ			
	mg/L	mg/L	%	mg/L	mg/L	%	
	Stabilizasyon	Stabilizasyon	Giderim	Stabilizasyon	Stabilizasyon	Giderim	
	Öncesi	Sonrası		Öncesi	Sonrası		
ADANA	Kontrol	12800	7200	44	1760	1320	25
	Mikrodalga	13600	8000	41	1160	720	38
	Ultrasonikasyon	12800	6400	50	960	600	38
	Enzim	15200	7200	53	1520	720	53
	Alkali	14400	6400	56	1920	1520	21
ANTALYA	Kontrol	434000	46000	89	1800	880	51
	Mikrodalga	354000	54000	85	520	80	85
	Ultrasonikasyon	176000	90000	49	480	160	67
	Enzim	160000	48000	70	640	120	81
	Alkali	178000	50000	72	1560	1200	23

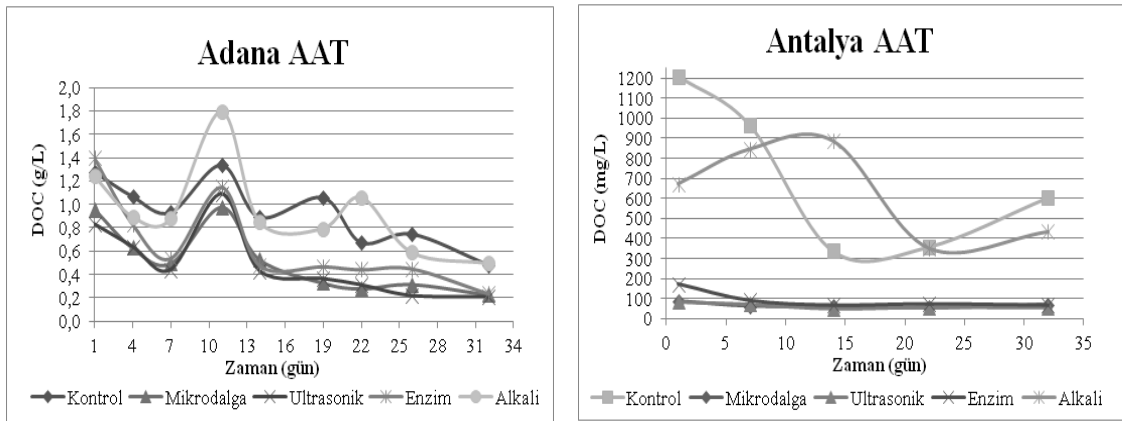
TOK ve ÇOK Analiz Sonuçları

Adana AAT ve Antalya AAT'den alınan çamurlarla işletilen reaktörlerdeki TOK ve ÇOK analizi sonuçları Şekil 9.149 ve Şekil 9.150'de grafiğe aktarılmıştır. Adana AAT reaktörlerinden sadece alkali reaktöründe %35 TOK giderimi elde edilmiş diğer reaktörlerde ise herhangi bir verim elde edilmemiştir. Antalya AAT reaktörlerinde ise kontrol, mikrodalga, ultrasonik, enzim ve alkali reaktörlerinde %93, %63, %35, %61 ve %84 TOK giderimi belirlenmiştir.

ÇOK değerleri incelendiğinde ise Adana AAT reaktörlerinde kontrol, mikrodalga, ultrasonik, enzim ve alkali reaktörlerinde %62, %76, %75, %83 ve %60; Antalya AAT reaktörlerinde ise %50, %19, %32, %59 ve %36 giderme verimleri elde edilmiştir. Her iki çamur örneği için de en iyi sonuçlar enzim uygulaması yapılan reaktörlerle sağlanmıştır.



Şekil 9.149 : İşletim Süresi Boyunca Adana ve Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde TOK Değişimi



Şekil 9.150 : İşletim Süresi Boyunca Adana ve Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde ÇOK Değişimi

Alkalinite ve Uçucu Yağ Asitleri (VFA) Analiz Sonuçları

Reaktörlerde izlenen alkalinite değişimleri Tablo 9.114 ve Tablo 9.115’de, toplam uçucu yağ asiti analiz sonuçları ise Tablo 9.116 ve Tablo 9.117’de verilmektedir. İşletilen anaerobik reaktörlerde işletimin son günündeki değerler dikkate alındığında sırasıyla kontrol, mikrodalga, ultrasonik, enzim ve alkali uygulamalarında VFA/Alkalinite oranları Adana AAT reaktörleri için 0.05, 0.04, 0.17, 0.03, 0.04; Antalya AAT için ise hepsinde yaklaşık 0.06 olarak belirlenmiştir. Bu durum reaktörlerde metanlaşmanın gerçekleşmesi için uygun stabil ortamın sağlandığını göstermektedir.

Tablo 9.114 : Adana Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde İzlenen Alkalinite Değişimleri

Gün	Adana AAT- Alkalinite (mgCaCO ₃ /L)				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	4712.5	4025	4300	4462.5	4512.5
7	4587.5	4212.5	4487.5	5087.5	4587.5
14	4887.5	4250	4425	4887.5	5150
21	5037.5	4587.5	4762.5	5125	5050
32	4575	4800	5275	5162.5	5100

Tablo 9.115 : Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde İzlenen Alkalinite Değişimleri

Gün	Antalya AAT- Alkalinite (mgCaCO ₃ /L)				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	3300	2025	1900	2000	3475
7	3975	2075	2337.5	2412.5	3875
14	2387.5	2237.5	2575	3812.5	4237.5
21	4525	2587.5	2562.5	2862.5	4050
32	4450	2662.5	2787.5	2887.5	4487.5

Tablo 9.116 : Adana Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde İzlenen VFA Değişimleri

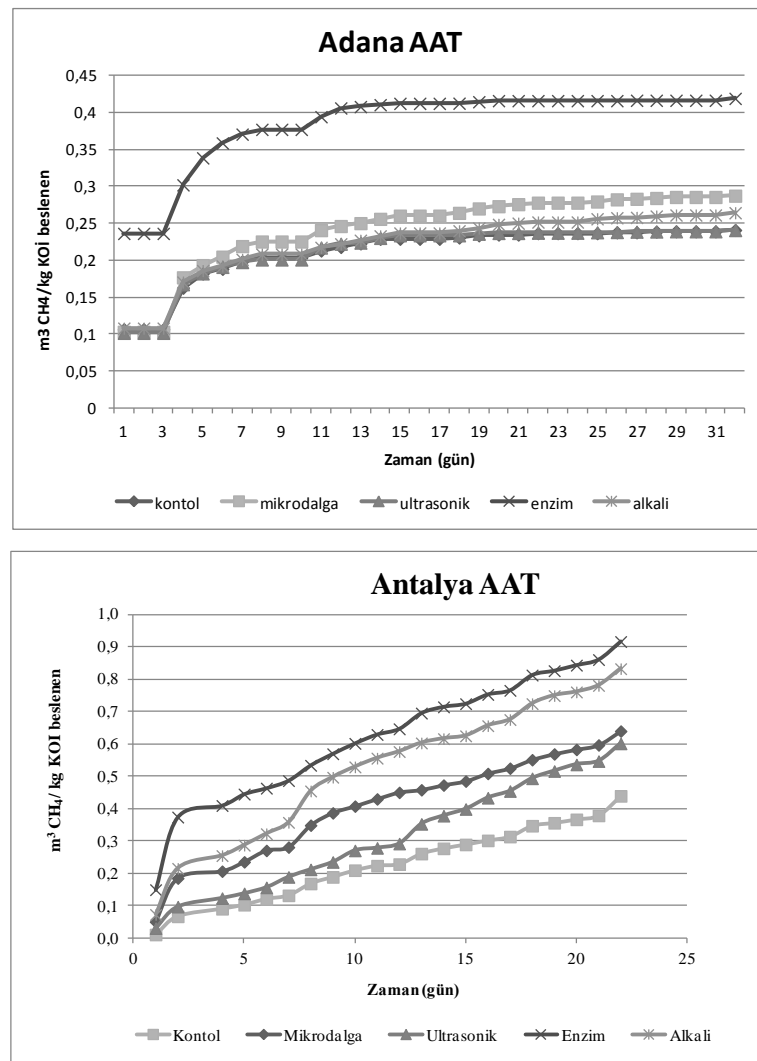
Gün	Adana AAT- VFA (mg asetik asit/L)				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	391	472	43	590	638
7	442	243	442	374	820
14	391	243	225	374	556
21	215	225	208	174	215
32	245	208	921	174	201

Tablo 9.117 : Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde İzlenen VFA Değişimleri

Gün	Antalya AAT- VFA (mg asetik asit/L)				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	494	198	198	198	295
7	642	198	180	346	487
14	180	180	163	277	225
21	245	146	163	146	243
32	245	163	146	146	260

Biyogaz Analiz Sonuçları

Reaktörlerde günlük toplam gaz ve metan gazı ölçümleri yapılmıştır. Adana AAT çamurları ile işletilen reaktörlere ait gaz ölçüm sonuçları Şekil 9.151’de verilmektedir.



Şekil 9.151 : Antalya AAT ve Adana AAT Çamurları ile İşletilen Anaerobik Reaktörlerde Zamanın Bir Fonksiyonu Olarak Toplam Gaz Oluşumu

Amonyak ve Toplam Azot Analiz Sonuçları

Reaktörlerden alınan çamur örneklerinde yapılan amonyak ve Toplam azot analizi sonuçları Tablo 9.118 ve Tablo 9.119’de verilmektedir.

Tablo 9.118 : Adana Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Amonyak Ve Toplam Azot Analiz Sonuçları

Gün	Adana AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
NH₄⁺-N analiz sonuçları (mg/L)					
1	143	17.3	19	20	33
30	805	770	710	800	2500
Toplam Azot (mg/kg)					
1	8.90	8.40	8.04	7.39	6.38
30	6.66	6.73	6.52	5.58	5.85

Tablo 9.119 : Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Amonyak Ve Toplam Azot Analiz Sonuçları

Gün	Antalya AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
NH₄⁺-N analiz sonuçları (mg/L)					
1	680	220	350	335	570
30	1160	400	630	530	1090
Toplam Azot (mg/kg)					
1	6.05	7.64	5.13	7.56	4.36
30	8.53	6.31	8.59	6.28	6.06

Toplam Fosfor Analiz Sonuçları

Reaktörlerde işletimin ilk ve son günlerinde analizlenen toplam fosfor parametresine ait sonuçlar Tablo 9.120 ve Tablo 9.121’de verilmektedir.

Tablo 9.120: Adana Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Toplam Fosfor Değişimi

Gün	Adana AAT- Toplam Fosfor (mg/kg)				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	2475.1	2797	3719.5	2456.3	2889.7
30	1330.1	1045.9	753.16	16118	1168

Tablo 9.121: Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Toplam Fosfor Değişimi

Gün	Antalya AAT- Toplam Fosfor (mg/kg)				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
1	1110.5	466.75	1439.3	1645.6	2133.4
30	4255.9	11199	4844.2	4763.9	3942.3

Klorür ve Sülfat Analiz Sonuçları

Reaktörlerde ilk ve son işletim günlerinde analiz edilen klorür (Cl^-) ve sülfat (SO_4^-) analizi sonuçları Tablo 9.122 ve Tablo 9.123'da verilmektedir. Klorür ve sülfat analizi sonuçları incelendiğinde her iki parametre açısından da anaerobik reaktör işletimini inhibe edecek koşullar görülmemektedir. Bu parametrelerle birlikte tuzluluk ve EC parametresi de göz önüne alındığında reaktör işletimine yönelik olarak tuzluluk ve sülfat değerlerinde bir problem olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 9.122 : Adana Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Klorür ve Sülfat Konsantrasyonlarındaki Değişim

Gün	Adana AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
Klorür analiz sonuçları (mg/L)					
1	70	55	80	85	10
30	60	80	75	90	75
SO_4^- analiz sonuçları (mg/L)					
1	612	409	533	632	1018
30	170	256	386	437	327

Tablo 9.123: Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Klorür ve Sülfat Konsantrasyonlarındaki Değişim

Gün	Antalya AAT				
	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
Klorür analiz sonuçları (mg/L)					
1	15	20	30	60	15
30	50	43	37	58	45
SO_4^- analiz sonuçları (mg/L)					
1	382	480	342	409	405
30	368	540	940	1630	913

Partikül Boyutu Analiz Sonuçları

Reaktörlerde partikül boyut dağılımındaki değişim izlenmiştir. İlk ve son işletim günlerinde alınan örneklerde yapılan partikül boyut dağılımı sonuçları Tablo 9.124 ve Tablo 9.125'de verilmektedir. Partikül boyutu analiz sonuçları $d(0.5)$ parametresine göre incelendiğinde, dezentegrasyon işlemi uygulanan reaktörlerin partikül boyutlarında kontrol reaktörlerine kıyasla bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu düşüş, dezentegrasyona bağlı olarak hücrelerde meydana gelen parçalanmanın bir göstergesidir. Adana AAT çamurları için bu indirgemeler çok önemli mertebede olmamasına rağmen, Antalya AAT için önemli indirgemeler elde edilmiştir.

Tablo 9.124 : Adana Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Partikül Boyutu Dağılımı

Analiz Sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Adana AAT Kontrol					
1. gün	13.654	70.458	161.409	42.731	9.278
30. gün	10.989	80.294	213.487	42.616	7.908
Adana AAT Mikrodalga					
1. gün	16.206	68.045	144.939	42.287	11.057
30. gün	13.495	46.609	95.937	38.970	9.277
Adana AAT Ultrasonik					
1. gün	13.205	53.533	120.826	38.787	8.766
30. gün	15.313	86.993	237.946	45.366	10.919
Adana AAT Enzim					
1. gün	15.373	79.984	191.353	45.127	10.701
30. gün	15.233	79.400	184.405	45.073	11.207
Adana AAT Alkali					
1.gün	13.269	74.020	171.622	42.110	9.159
30.gün	12.517	50.797	105.562	42.064	9.620

Tablo 9.125: Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Partikül Boyutu Dağılımı
Analiz Sonuçları

	Yüzeysel ağırlık ortalaması D[3.2]	Hacimsel ağırlık ortalaması D[4.3]	d (0.9) µm	d (0.5) µm	d (0.1) µm
Antalya AAT Kontrol					
1. gün	56.296	140.956	296.859	97.868	27.737
30. gün	29.334	88.345	186.089	70.975	19.335
Antalya AAT Mikrodalga					
1. gün	49.443	110.717	230.451	90.482	24.577
30. gün	44.216	143.028	364.025	78.653	20.630
Antalya AAT Ultrasonik					
1. gün	57.816	223.216	713.006	103.673	27.789
30. gün	43.431	116.232	255.864	75.104	20.688
Antalya AAT Enzim					
1. gün	51.752	124.845	244.951	92.499	25.934
30. gün	35.958	83.140	181.084	63.744	17.661
Antalya AAT Alkali					
1.gün	61.840	172.342	415.495	106.687	29.847
30.gün	49.684	142.580	312.388	87.935	24.947

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarında patojen giderimine yönelik mikrobiyolojik analizler yapılmış olup, bu amaçla anaerobik reaktörlerde başlangıçta ve reaktör işletiminin son gününde alınan örneklerde toplam koliform, fekal koliform, fekal streptokok, Salmonella ve Enterovirüs parametreleri izlenmiş; Helmint yumurta sayısı ve tanısı yapılmıştır. Reaktörlerde elde edilen mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 9.126 ve Tablo 9.127'de verilmektedir.

Adana AAT çamurları ile yapılan anaerobik reaktörlerin sonuçları değerlendirildiğinde:

- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 3.6×10^5 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Toplam Koliform parametresi için bu değer, kontrol reaktöründe ilk gün 3×10^4 adet koloni/1 g çamur ve son gün 8×10^3 adet koloni/1 g çamur olduğu görülmüştür. Kontrol reaktöründe ilk gün $1 \log_{10}$ 'luk ve son gün $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur. Mikrodalga, ultrasonik ve alkali reaktörlerinin ilk gün örneklerinde $1 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur. Mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörlerin son gün örneklerinde $3 \log_{10}$ 'luk bir azalma belirlenirken, alkali reaktöründe son gün $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 9.4×10^4 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen E-Coli parametresi, kontrol ilk gün $1 \log_{10}$ 'luk ve son gün $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur. Mikrodalga ve enzim reaktörlerinde ilk gün $2 \log_{10}$ 'luk ve son gün $3 \log_{10}$ 'luk bir azalma belirlenmiştir. Ultrasonik reaktöründe ilk gün $1 \log_{10}$ 'luk ve son gün $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur. Alkali reaktöründe ise ilk ve son gün örneklerinde $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma kaydedilmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 5.3×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Fekal Streptokok parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün $1 \log_{10}$ 'luk azalma gösterirken son gün herhangi bir üreme olmamıştır. Mikrodalga, enzim ve alkali reaktörlerinde ilk gün $1 \log_{10}$ 'luk azalma olurken, mikodalga reaktöründe son gün $2 \log_{10}$ bir azalma olmuş; enzim reaktöründe ise son gün 7 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenmiştir. Ultrasonik reaktörün ilk ve son gün örneklerinde herhangi bir üreme olmamıştır. Alkali reaktöründe ise ilk ve son gün örneklerinde $1 \log_{10}$ 'luk bir azalma kaydedilmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 1.1×10^4 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Salmonella parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün ve son gün örneklerinde $2 \log_{10}$ oranında; mikrodalga reaktöründe ilk gün $2 \log_{10}$ ve son gün

1log10 oranında azalma göstermiştir. Ultrasonik reaktörde ilk gün 2 log10 azalma olmuş, son gün 3 adet koloni/1 g çamur gözlenmemiştir. Enzim reaktöründe ilk gün 1×10^2 adet koloni/1 g çamur, son gün 1.2×10^1 adet koloni/1 g çamur değerleri kaydedilmiştir. Alkali reaktöründe ise ilk ve son gün örneklerinde 3log10'luk bir azalma kaydedilmiştir.

- Anerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 1.98×10^3 MPN/g çamur olarak belirlenen Enterovirüs parametresi, kontrol ilk ve son gün; diğer reaktörlerin ilk gününde mertebe olarak bir değişikliğe uğramamıştır. Mikrodalga ve alkali reaktörlerinde son gün 2log10'luk bir azalma kaydedilmiştir. Ultrasonik reaktöründe son gün 3 MPN/g çamur olarak belirlenen bu değer, enzim reaktöründe son gün 5 MPN/g çamur elde edilmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 390 adet/g çamur olarak belirlenen Helminth yumurta sayısı, kontrol reaktöründe ilk gün 360 adet/g çamur ve son gün 70 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Kontrol reaktöründe Helminth yumurta sayısında ilk gün %7 ve son gün %82 oranında azalma olduğu görülmüştür. Mikrodalga reaktöründe ilk gün için 100 adet/g çamur ve son gün 32 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Mikrodalga reaktöründe anerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında ilk gün %74, son gün %92 oranında azalma olduğu görülmüştür. Ultrasonik reaktöründe ilk gün için 80 adet/g çamur ve son gün 17 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Ultrasonik reaktöründe ilk gün Helminth yumurta sayısında %79 oranında, son gün %95 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. Enzim reaktöründe ise ilk gün için 78 adet/g çamur ve son gün 16 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Enzim reaktöründe anaerobik stabilizasyon sonrasında ilk gün Helminth yumurta sayısında %80 ve son gün %96 oranında bir azalma olduğu belirlenmiştir.
- Helminth yumurta tanısı sonuçlarına bakıldığında ise ham çamurda *Hymenolepis diminuta* ve *Dicrocoelium dendriticum* belirlenirken; kontrol reaktörünün ilk ve son gün örneklerinde ve alkali son gün örneklerinde *Dicrocoelium dendriticum* belirlenmiştir. Mikrodalga, ultrasonik ve enzim reaktörleri ilk gün ve son gün örneklerinde ise sadece *Hymenolepis diminuta* tespit edilmiştir.

Antalya AAT çamurları ile yapılan anaerobik reaktörlerin sonuçları değerlendirildiğinde:

- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 2.9×10^5 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Toplam Koliform parametresi için bu değer, kontrol reaktöründe ilk gün

6.3×10^4 adet koloni/1 g çamur ve son gün 1.5×10^3 adet koloni/1 g çamur olduğu görülmüştür. Kontrol reaktöründe ilk gün $1 \log_{10}$ 'luk ve son gün $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur. Mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinin ilk gün örneklerinde azalma olmazken; enzim ve alkali reaktörlerinin ilk gün örneklerinde $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur. Mikrodalga ve alkali reaktörlerinin son gün örneklerinde $3 \log_{10}$ 'luk bir azalma belirlenirken, enzim ve alkali reaktörlerinde son gün $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma belirlenmiştir.

- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 7.3×10^4 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen E-Coli parametresi, kontrol ilk gün herhangi bir azalma göstermemiş ve son gün $1 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur. Mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinde ilk gün herhangi bir azalma göstermemiş ve son gün $1 \log_{10}$ 'luk azalma belirlenmiştir. Enzim ve alkali reaktörlerinde ilk gün $1 \log_{10}$ 'luk ve son gün $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma olmuştur.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 3.6×10^2 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Fekal Streptokok parametresi, kontrol reaktöründe ilk gün $1 \log_{10}$ 'luk azalma gösterirken son gün herhangi bir üreme olmamıştır. Mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinde ilk gün bir değişim olmamış; mikrodalga reaktöründe son gün bir üreme yoken ultrasonik reaktörde son gün örneklerinde $1 \log_{10}$ 'luk azalma olmuştur. Enzim ve alkali reaktörlerinde ilk gün $1 \log_{10}$ bir azalma olmuş; enzim reaktöründe son gün bir üreme kaydedilmemiş, alkali reaktörde ise son gün 7 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenmiştir.
- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 3.6×10^3 adet koloni/1 g çamur olarak belirlenen Salmonella parametresi, kontrol ve mikrodalga reaktörlerinde ilk gün ve son gün örneklerinde $1 \log_{10}$ oranında; ultrasonik reaktöründe ilk gün $1 \log_{10}$ ve son gün $2 \log_{10}$ oranında azalma göstermiştir. Enzim reaktöründe ilk gün $2 \log_{10}$ azalma olurken, son gün herhangi bir üreme olmamıştır. Alkali reaktöründe ise ilk ve son gün örneklerinde üreme görülmemiştir.
- Anerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 13.16×10^4 MPN/g çamur olarak belirlenen Enterovirüs parametresi, kontrol ilk ve son gün; diğer reaktörlerin ilk gününde merteye olarak $1 \log_{10}$ oranında azalmıştır. Mikrodalga ve ultrasonik reaktörlerinde son gün $2 \log_{10}$ 'luk bir azalma kaydedilmiştir. Enzim ve alkali reaktörlerinde son gün $3 \log_{10}$ 'luk bir azalma elde edilmiştir.

- Anaerobik reaktörlere beslenen ham çamurda 120 adet/g çamur olarak belirlenen Helminth yumurta sayısı, kontrol reaktöründe ilk gün 40 adet/g çamur ve son gün 30 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Kontrol reaktöründe Helminth yumurta sayısında ilk gün %67 ve son gün %75 oranında azalma olduğu görülmüştür. Mikrodalga reaktöründe ilk gün için 130 adet/g çamur ve son gün 110 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Mikrodalga reaktöründe anerobik stabilizasyon sonrasında Helminth yumurta sayısında önemli bir azalma olmadığı görülmüştür. Ultrasonik reaktöründe ilk gün için 70 adet/g çamur ve son gün 30 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Ultrasonik reaktöründe ilk gün Helminth yumurta sayısında %42 oranında, son gün %75 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. Enzim reaktöründe ise ilk gün için 110 adet/g çamur ve son gün 60 adet/g çamur olarak belirlenmiştir. Enzim reaktöründe anaerobik stabilizasyon sonrasında ilk gün Helminth yumurta sayısında önemli bir azalma olmazken, son gün %50 oranında bir azalma olduğu belirlenmiştir.
- Helminth yumurta tanısı sonuçlarına bakıldığında ise ham çamurda *Diphyllobothrium latum*; *Shistosoma Japonicum* belirlenirken; diğer bütün reaktörlerin ilk ve son gün örneklerinde *Hymenolepis diminuta* belirlenmiştir. Mikrodalga reaktörü ilk gün örneklerinde ise *Hymenolepis diminuta* ile birlikte *Schistosoma mansoni* tespit edilmiştir.

Tablo 9.126: Adana Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerindeki Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Numune	Toplam Koliform (adet koloni / 1 g çamur)	E-Coli (adet koloni / 1 g çamur)	Fekal Streptokok (adet koloni / 1 g çamur)	Salmonella (adet koloni / 1 g çamur)	Enterovirüs (MPN/g)	Helmint yumurta sayısı (adet/g)	Helmint yumurta tanısı	
Sulu çamur	3.6 x10 ⁵	9.4x10 ⁴	5.3x10 ³	1.1 x10 ⁴	1.98x10 ³	390	<i>Dicrocoelium dendriticum</i> . <i>Hymenolepis diminuta</i>	
Kontrol	1.gün	3.0x10 ⁴	9 x10 ³	1.2x10 ¹	2x10 ²	1.69x10 ³	360	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>
	30.gün	8x10 ³	6.3 x10 ²	Üreme yok	1.0x10 ²	1.11x10 ³	70	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>
Mikrodalga	1.gün	6.5x10 ⁴	8.6x10 ²	1.1x10 ²	4.3x10 ²	1.52x10 ³	100	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	3.60x10 ²	2.0x10 ¹	1.0x10 ¹	1.6x10 ¹	1x10 ¹	32	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Ultrasonikasyon	1.gün	5.1x10 ⁴	3.9x10 ³	Üreme yok	9x10 ²	1.20x10 ³	80	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	4x10 ²	1.0x10 ¹	Üreme yok	3	3	17	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Enzim	1.gün	8.7x10 ³	9.0 x10 ²	4.0x10 ²	1.0x10 ²	1.46x10 ³	78	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	2x10 ²	1.7x10 ¹	7	1.2x10 ¹	5	16	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Alkali	1.gün	4.5x10 ⁴	2.8 x10 ²	6.5 x10 ²	9 x10 ¹	1.48x10 ³	200	<i>Hymenolepis diminuta</i> . <i>Dicrocoelium dendriticum</i>
	30.gün	1.1x10 ³	2.1 x10 ²	1.5 x10 ²	8.5x10 ¹	2x10 ¹	23	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>

Tablo 9.127: Antalya Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerindeki Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Numune	Toplam Koliform (adet koloni / 1 g çamur)	E-Coli (adet koloni/1 g çamur)	Fekal Streptokok (adet koloni /1 g çamur)	Salmonella (adet koloni /1 g çamur)	Enterovirüs (MPN/g)	Helmint yumurta sayısı (adet/g)	Helmint yumurta tanısı	
Sulu çamur	2.9 x10 ⁵	7.3x10 ³	3.6 x10 ²	3.6x10 ³	13.16x10 ⁴	120	<i>Diphyllobothrium latum</i> ; <i>Shistosoma Japonicum</i>	
Kontrol	1.gün	6.3x10 ⁴	1.4x10 ³	1.6x10 ¹	5x10 ²	9x10 ³	40	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	1.5 x10 ³	9x10 ²	Üreme yok	3x10 ²	5x10 ³	30	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Mikrodalga	1.gün	1.0 x10 ⁵	6.6 x10 ³	3.4 x10 ²	9x10 ²	6x10 ³	130	<i>Hymenolepis diminuta</i> . <i>Schistosoma mansoni</i>
	30.gün	6 x10 ²	3.3x10 ²	Üreme yok	1x10 ²	2x10 ²	110	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Ultrasonikasyon	1.gün	1.9 x10 ⁵	1.6x10 ³	1.3 x10 ²	3x10 ²	4.22x10 ³	70	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	2x10 ³	7x10 ²	4 x10 ¹	8.7x10 ¹	1.96x10 ²	30	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Enzim	1.gün	5x10 ³	6.4 x10 ²	2.1x10 ¹	9x10 ¹	5x10 ³	110	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	3x10 ³	1x10 ¹	Üreme yok	Üreme yok	9x10 ¹	60	<i>Hymenolepis diminuta</i>
Alkali	1.gün	3x10 ³	2.0 x10 ²	1.1x10 ¹	Üreme yok	5x10 ³	50	<i>Hymenolepis diminuta</i>
	30.gün	1x10 ²	2x10 ¹	7	Üreme yok	1x10 ¹	40	<i>Hymenolepis diminuta</i>

9.2.3. Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması

IP 9 kapsamında stabilizasyon işlemleri uygulanan çamurların susuzlaştırılabilirliği kapiler emme süresi (KES) ile tayin edilmiştir. Aynı ölçümler kontrol grubu numuneleri için de yapılarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

9.2.3.1.Kapiler Emme Süresi Analiz Sonuçları

Aerobik reaktörlerde yapılan kapiler emme süresi analiz sonuçları Tablo 9.128’de verilmektedir. Çalışılan tesislerden Adana AAT’ye ait reaktörlerde ilk ve son gün KES değerlerinde çok önemli artışların olduğu belirlenmiştir. Ancak, kontrol reaktöründeki KES değerleriyle karşılaştırıldığında tüm dezentegrasyon uygulamalarının su verme özelliklerini iyileştirdiği anlaşılmaktadır. Çiğli AAT çamurlarında, ultrasonik ve enzim uygulanan reaktörlerde; Antalya AAT çamurlarında ise mikrodalga ve alkali uygulamalarında kontrole göre daha yüksek KES değerleri elde edilmiştir. Foça AAT reaktörlerinde ise dezentegrasyon işlemi uygulanan tüm sistemlerde KES değerinde düşüş belirlenmiştir.

Tablo 9.128: Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Belirlenen KES Değerleri (sn)

Tesis	Numune alma zamanı	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
Çiğli	1.gün	29.8	24.9	29.7	38.8	-
	15.gün	36.1	39.1	48.4	79	-
Foça	1.gün	17.8	17.8	23.6	19.6	-
	15.gün	18.8	13.8	16.6	16.1	-
Adana	1.gün	54.5	11.7	56.1	69.1	51.3
	15.gün	663.4	411.7	276.2	467.1	376.2
Antalya	1.gün	14.2	16.2	17.8	14.6	27.7
	15.gün	22.2	40.8	26.1	22.8	64.7

Anaerobik reaktörlerden alınan örneklerde gerçekleştirilen kapiler emme süresi analiz sonuçları Tablo 9.129’de verilmektedir. Dezentegrasyon işleminin çamurlarda flok ayrıştırma mekanizmaları ve çamur miktarının azaltılması üzerine olan etkileri dikkate alındığında, çamurların su verme özelliklerinin hücre içeriğindeki polimerik bileşenlerin parçalanması nedeniyle gelişmesi beklenmektedir. Çalışılan tesis çamurlarında özellikle anaerobik stabilizasyonun uygulandığı bazı çamurlarda (Çiğli AAT ve Adana AAT) tüm

dezentegrasyon uygulamalarının önemli ölçüde su verme özelliklerini geliştirdiği görülmekle birlikte, diğer tesis çamurları üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu görülmektedir. Ancak buna rağmen, Antalya AAT kontrol reaktörleriyle karşılaştırıldığında alkali uygulama dışında diğer uygulamaların kontrol reaktöründen daha düşük değerler olarak elde edildiği gözlenmektedir.

Foça AAT reaktörlerinde ise kontrol reaktörü ve enzim uygulamasının yapıldığı reaktörde ilk ve son gün KES değerleri arasında çok önemli bir değişim gözlenmezken, mikrodalga ve ultrasonik uygulamalarının su verme özellikleri açısından olumsuz etkisi olmuştur.

Tablo 9.129 : Anaerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Belirlenen KES Değerleri (sn)

Tesis	Numune alma zamanı	Kontrol	Mikrodalga	Ultrasonik	Enzim	Alkali
Çiğli	1.gün	177.1	263.9	254.8	217.6	-
	30.gün	64.3	69.1	86.6	42.3	-
Foça	1.gün	122.8	338.1	292.9	335.5	-
	30.gün	120.7	454.6	507.8	394	-
Adana	1.gün	641.4	466	541.8	566.1	633.8
	30.gün	178.8	248.2	285.9	185.3	486.8
Antalya	1.gün	22.4	14.9	14.7	10.5	18.8
	30.gün	192.2	40	34.8	66.7	203.9

9.3. İTÜ Grubu Tarafından Yapılan Çalışmalar

9.3.1. Çamur Karakterizasyonu

Stabilizasyon çalışmaları için İTÜ çalışma grubunun sorumlu olduğu Güneydoğu Anadolu (GAB), Doğu Anadolu (DAB) ve İç Anadolu (İAB) Bölgelerinden seçilen tesisler ve alınan numune çeşitleri Tablo 9.130’te verilmektedir.

Karakterizasyonda kimyasal özellikler için Toplam Katı Madde (TKM), Toplam Uçucu Katı Madde (TUAKM), Askıda Katı Madde (AKM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Toplam KOİ (TKOİ), Çözünmüş KOİ (ÇKOİ), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), Çözünmüş Kjeldahl Azotu (ÇKN), Toplam Fosfor (TP), Çözünmüş Fosfor (ÇP), Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK); su verme özellikleri için Özgül filtre Direnci (ÖFD), Kapiler Emme Süresi (KES) ve mikrobiyolojik özellikler için ise Toplam Koliform (TC), Escherichia coli

(E.coli) ve Fekal Streptokok (FS) parametreleri incelenmiştir. Ölçülen bu parametrelere ait sonuçlar Tablo 9.131’te verilmektedir.

Tablo 9.130: Numune Alınan Tesisler

Tesis Kodu	Tesis Adı	Atıksu Niteliği	Eşdeğer Nüfus	Atıksu Arıtma Proses	Alınan Numune
TR_GAB_27_04	GASKİ-1 AAT	Kentsel	1805556	KAÇ	Son çökeltme çamuru
TR_İAB_50_03	Nevşehir Merkez AAT	Evsel	104667	UHAÇ	Son çökeltme çamuru
TR_İAB_06_01	Ankara Tatlar AAT (ASKİ)	Kentsel	2779500	KAÇ	Son çökeltme çamuru Ön çökeltme çamuru
TR_DAB_23_01	Elazığ AAT	Kentsel	79556	KAÇ	Son çökeltme çamuru Ön çökeltme çamuru
TR_İAB_38_01	KASKİ AAT	Kentsel	1363400	A2/O	Anaerobik aşı çamuru

Son çökeltme çamurları kendi aralarında değerlendirildiğinde Nevşehir AAT ve GASKİ AAT çamurlarının TKM, TUKM ve AKM, UAKM değerlerinin yüksek olduğu ve buna paralel olara TKOİ, TP ve TKN gibi toplam ölçülen parametrelerin değerlerinin de Elazığ AAT ve Ankara AAT son çökeltme çamurlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. GASKİ AAT çamurunun ÇKOİ ve buna paralel olarak ÇOK değerleri diğerlerine göre yüksek görülmesine karşılık TKOİ'nin, %8,2 oranla en fazla Ankara AAT çamurunda çözülmüş formda olduğu görülmektedir. Nevşehir AAT, Elazığ AAT ve GASKİ AAT çamurlarında ise ÇKOİ/TKOİ oranlarının sırasıyla %0,8, %4,3 ve %3,6 olduğu görülmektedir. ÇP ve PO₄ değerleri incelendiğinde en yüksek değerlerin GASKİ AAT çamurunda, en düşük değerlerin ise Ankara AAT çamurunda olduğu görülmektedir. Ankara AAT çamurunda ÇP/TP oranı %68 elde edilirken, diğer tesis çamurları için bu oran yaklaşık %25 elde edilmiştir. Azot içeriklerine bakıldığında NO₃ ve NO₂ türlerinin çamurlarda olmadığı veya 1 mg/L'den az olduğu görülmektedir. TKN ve amonyak sonuçlarına göre elde edilen organik azot miktarları Nevşehir AAT, Elazığ AAT, Ankara AAT ve GASKİ AAT çamurları için sırasıyla 738 mg/L, 239 mg/L, 80 mg/L ve 481 mg/L olarak elde edilmektedir. Tüm numunelerin pH'ları yaklaşık çıkarken GASKİ AAT

çamurunun alkalinite ve birbirleriyle paralellik gösteren iletkenlik ile tuzluluk değerleri diğer tüm son çökeltme çamurlarına göre yaklaşık 2 kat fazla çıkmıştır. Ankara AAT çamurunun SO₄ ve Cl konsantrasyonları diğer çamur örneklerine göre çok yüksek olduğu ve diğer çamurların sonuçlarında birbirlerine yakın değerlerde ölçüldüğü görülmektedir. Fiziksel parametreler için GASKİ AAT çamurunun değerlerinin diğerlerine göre yüksek olduğu elde edilmiştir. Tüm çamurlar için KES ve ÖFD sonuçları birbirleri ile paralellik göstermiş ve GASKİ AAT çamurunun susuzlaştırılabilirliğinin diğer çamurlara göre güç olduğu tespit edilmiştir. Çamurların mikrobiyal yapıları incelendiğinde GASKİ AAT çamurunun TC, E.coli ve FS içeriklerinin diğer çamurlara göre fazla olduğu, en düşük mikrobiyal içeriğe ise Nevşehir AAT çamurunun sahip olduğu görülmektedir.

Ön çökeltme çamurlarının karakterizasyon sonuçları incelendiğinde ise Elazığ AAT ön çökeltme çamurunun katı madde içeriğinin Ankara AAT ön çökeltme çamuruna göre çok fazla olduğu buna bağlı olarak da TKOİ, TKN ve TP değerlerinin de yüksek olduğu görülmektedir. Elazığ AAT çamurunda TKM'nin %76'sı, AKM'nin ise %77'si uçucu formada iken, Ankara AAT çamurunun TKM'sinin %52'si, AKM'nin ise %57'sinin uçucu olduğu tespit edilmiştir. Her iki çamur için de TKOİ'nin %7'sin çözülmüş olduğu ÇKOİ sonuçlarından elde edilmektedir. Organik içeriğine paralel olarak Elazığ AAT çamurunun tüm azot ve fosfor formları Ankara AAT çamuruna göre daha fazla olduğu görülmektedir. Elazığ AAT çamurunun düşük pH değerine sahip olmasına karşılık, alkalinitesi Ankara AAT çamuruna göre çok daha fazla ölçülmüştür. İletkenlik ve tuzluluk değerleri birbirleri ile uyumlu olarak her ikisinin de Elazığ AAT çamurunda daha fazla ölçülmüştür. Cl içerikleri yakın olan çamurlardan Ankara AAT çamurunun SO₄ içeriğinin fazla olduğu görülmektedir. Susuzlaştırılabilirlikleri incelendiğinde Elazığ AAT çamurunun, hem ÖFD hem de KES sonuçlarının birbirlerine paralel olarak daha yüksek, sıkışabilirliklerinin ise yaklaşık olarak aynı olduğu tespit edilmiştir. Çamurların mikrobiyal içeriklerinde ise fazla bir fark gözlenmemiştir.

Anaerobik stabilizasyon çalışmalarında aşı çamuru olarak kullanılmak üzere KASKİ AAT'deki anaerobik çürütücüden alınan çamurun TKM'sinin %45'inin, AKM'sinin ise %47'sinin uçucu olduğu görülmüş ve çalışmalar için uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 9.131 : Tesislerden Alınan Çamurların Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Nevşehir AAT Son Çökeltme Çamuru	Elazığ AAT Son Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Son Çökeltme Çamuru	GASKİ AAT Son Çökeltme Çamuru	Elazığ AAT Ön Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Ön Çökeltme Çamuru	Kayseri AAT Anaerobik Aşı Çamuru
TKM	mg/L	9446	5410	4160	10705	36000	7422	65950
TUKM	mg/L	7008	3984	2203	8259	27281	3889	29375
AKM	mg/L	8361 ±495	4833 ±95	3522 ±47	10020 ±170,	32435 ±403	6268 ±45	63415 ±1202
UAKM	mg/L	6745 ±267	4080 ±113	2216 ±23	8270 ±184	25088 ±301	3569 ±9	29716 ±1013
pH	-	6,9	7,1	7,5	6,9	6,0	7,0	7,9
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L	700	625	475	1035	1820	905	5140
İletkenlik	mS/cm	1,93	1,71	1,55	2,75	4,59	2,28	8,03
Tuzluluk	0%	0,98	0,87	0,77	1,43	2,47	1,17	4,46
TKOİ	mg/L	14800	5040	1220	11920	36000	4700	41450
ÇKOİ	mg/L	122	217	100	428	2584	338	1280
ÇOK	mg/L	28	47	26	88	1093	66	634
TKN	mg/L	873 ±54	356 ±7	-	757 ±1	849 ±71	207 ±4	1899 ±70
ÇTKN	mg/L	113	84	55	211	286	125	1047
NH ₄ -N	mg/L	135	117	75	276	360	153	1470
NO ₃ -N	mg/L	1,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,4	0,6
NO ₂ -N	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,9	0,7	0,0	0,0
TP	mg/L	205	150	28	326	225	62	463
ÇTP	mg/L	57	34	19	77	75	23	23
PO ₄ -P	mg/L	35,9	22,4	6,1	56,3	45,2	8,8	14,5
SO ₄	mg/L	60	43	164	38	17	124	5
Cl	mg/L	85	86	119	78	91	101	134
ÖFD	m/kg	7,32E+11	5,94E+13	4,01E+13	4,11E+14	5,57E+14	1,28E+14	7,70E+13
Sıkışabilirlik	%	3,0	4,8	14,1	25,1	11,8	12,5	15,9
KES	sn	12	29	13	275	201	29	1390
TC	[kob/100mL]	9,00E+05	7,00E+06	1,60E+07	4,00E+07	9,00E+07	3,50E+07	2,50E+06
E.coli	[kob/100mL]	5,00E+05	4,50E+06	8,00E+06	3,00E+07	3,50E+07	2,50E+07	7,00E+05
FS	[kob/100mL]	2,20E+06	3,00E+07	5,50E+06	4,00E+07	9,50E+06	3,50E+07	1,80E+06

Tesislerden alınan hem ön çökeltme hem de son çökeltme çamurlarının katı madde içerikleri birbirlerinden farklı çıkmıştır. Stabilizasyon çalışmalarına başlamadan önce çamurların katı madde içerikleri aerobik ve anaerobik reaktörler için uygun katı madde içeriklerine getirmek için farklı oranlarda yoğunlaştırılmıştır. Bu kapsamda, aerobik çalışmalar için, katı madde içerikleri yaklaşık %0,4 ve %0,5 olan Elazığ AAT ve Ankara AAT son çökeltme çamurları yoğunlaştırılarak katı madde içerikleri yaklaşık %1 olan GASKİ AAT ve Nevşehir AAT son çökeltme çamurlarının katı madde içeriklerine yaklaştırılmıştır. Anaerobik stabilizasyon çalışmaları için ise tüm son çökeltme çamurları ile Ankara AAT ön çökeltme çamuru yoğunlaştırılmıştır. Bu yoğunlaştırma işlemi sonrasında elde edilen katı madde ve AKM değerleri uçucu içerikleriyle birlikte aerobik stabilizasyon reaktörleri için Tablo 9.132’de, anaerobik stabilizasyon reaktörleri için ise Tablo 9.133’de verilmektedir.

Tablo 9.132 : Aerobik stabilizasyon çalışmaları için yoğunlaştırma sonrası katı madde içerikleri

Parametre	Birim	Elazığ AAT	
		Son Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Son Çökeltme Çamuru
TKM	mg/L	7200	7680
TUKM	mg/L	5540	4240
AKM	mg/L	6245	7035
UAKM	mg/L	5120	4210

Tablo 9.133 : Anaerobik stabilizasyon çalışmaları için yoğunlaştırma sonrası katı madde içerikleri

Parametre	Birim	Elazığ AAT				
		Son Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Son Çökeltme Çamuru	GASKİ AAT Son Çökeltme Çamuru	Nevşehir AAT Son Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Ön Çökeltme Çamuru
TKM	mg/L	14565	11350	21090	19900	16130
TUKM	mg/L	11280	6205	16450	15280	7920
AKM	mg/L	12950	9950	19515	18600	14900
UAKM	mg/L	10475	6075	15600	14967	7835

Nevşehir, GASKİ, Elazığ ve Ankara Atıksu Arıtma Tesislerinden alınan çamur numuneleri ile her atıksu arıtma tesisi için dört adet (kontrol, enzim ilaveli reaktör (enzim), bir kısmı ultrasonikasyona tabi tutulmuş reaktör (ultrasonikasyon) ve bir kısmı mikrodalgada işlem görmüş reaktör (mikrodalga) olmak üzere toplamda 16 adet aerobik reaktör kurulmuştur. Reaktörlerin kurulumu şartları numunenin alındığı tesisteki çamur cins ve miktarı göz önünde tutularak hazırlanmış olup enzim reaktörü belli bir miktar enzim ilave edilmiş çamuru temsil etmekte iken, mikrodalga ve ultrasonikasyon reaktörleri de son çökeltim çamurunun %25'inin farklı dezentegrasyon yöntemlerine (sırasıyla mikrodalga ve ultrasonikasyon) tabii tutulması ile oluşturulmuştur. Kontrol reaktörleri ise çamur numunelerinin bir dezentegrasyon işlemi ve enzim ilavesi görmemiş halleri olarak tasarlanmıştır. Alınan arıtma tesisinin yapısına göre kontrol çamurlarının oluşturulmasında farklı çamur çeşitleri kullanılmış olup veriler aşağıda sırasıyla özetlenmektedir.

Nevşehir AAT kontrol reaktörü için 4,75 L son çökeltim çamuru kullanılmış olup, enzim reaktöründe gene 4 L'lik son çökeltim çamuruna 0,023 L enzim ilavesi yapılmıştır. Ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde de 3L son çökeltim çamuruna 1 L dezentegre çamur ilavesi gerçekleştirilmiştir.

GASKİ AAT kontrol reaktörü için 2,73 L son çökeltim çamurunda 0,56 L ön çökeltim çamuru ilave edilmiş olup, elde edilen çamur 1,46 L musluk suyu ile seyreltilerek toplam hacim 4,75 L olarak hazırlanmıştır. Enzim reaktöründe son çökeltim, ön çökeltim ve musluk suyu miktarları sırasıyla 2,3 L, 0,475 L ve 1,225 L olup, bu çamura 0,023 L enzim ilavesi yapılmıştır. Ultrasonikasyon reaktöründe son çökeltim, ön çökeltim ve musluk suyu miktarları sırasıyla 2,05 L, 0,56 L, ve 1,46 L olup, ultrasonikasyon ile dezentegre edilmiş olan çamurdan da reaktöre 0,68 L ilave edilmiştir. Benzer şekilde, mikrodalga reaktöründe son çökeltim, ön çökeltim ve musluk suyu miktarları sırasıyla 2,05 L, 0,56 L, ve 1,46 L olup, mikrodalga ile dezentegre edilmiş olan çamurdan da reaktöre 0,64 L hacim ilave edilmiştir.

ELAZIĞ AAT kontrol reaktörü için 1,19 L son çökeltim çamuruna 0,99 L ön çökeltim çamuru ilave edilmiş olup, elde edilen çamur 2,56 L musluk suyu ile seyreltilerek toplam hacim 4,74L olarak hazırlanmıştır. Enzim reaktöründe son çökeltim, ön çökeltim ve musluk suyu miktarları sırasıyla 1 L, 0,835 L ve 2,165 L olup, bu çamura 0,023 L enzim ilavesi yapılmıştır. Ultrasonikasyon reaktöründe son çökeltim, ön çökeltim ve musluk suyu miktarları sırasıyla 0,9 L, 0,99 L, ve 2,56 L olup, ultrasonikasyon ile dezentegre edilmiş olan çamurdan da reaktöre 0,3 L ilave edilmiştir. Benzer şekilde, mikrodalga reaktöründe

son çökeltim, ön çökeltim ve musluk suyu miktarları sırasıyla 0,9 L, 0,99 L, ve 2,56 L olup mikrodalga ile dezentegre edilmiş olan çamurdan da reaktöre 0,27 L ilave edilmiştir.

ANKARA AAT kontrol reaktörü için 2,6L son çökeltim çamuruna 2,15 L ön çökeltim çamuru ilave edilerek toplam hacim 4,75L olarak hazırlanmıştır. Enzim reaktöründe son çökeltim ve ön çökeltim çamuru miktarları sırasıyla 2,2 L ve 1,8 L olup, bu çamura 0,023 L enzim ilavesi yapılmıştır. Ultrasonikasyon reaktöründe son çökeltim, ön çökeltim ve musluk suyu miktarları sırasıyla 0,9 L, 0,99 L, ve 2,56 L olup, ultrasonikasyon ile dezentegre edilmiş olan çamurdan da reaktöre 0,3 L ilave edilmiştir. Benzer şekilde, mikrodalga reaktöründe son çökeltim, ön çökeltim ve musluk suyu miktarları sırasıyla 0,9L, 0,99 L, ve 2,56 L olup mikrodalga ile dezentegre edilmiş olan çamurdan da reaktöre 0,27 L ilave edilmiştir.

Aerobik reaktörler işletim süresi boyunca, basınçlı hava ve difüzör yardımıyla havalandırılmış olup, pH ölçümü sonuçlarına göre, pH'nın 6-6,5 değeri altına düştüğü durumlarda, havalandırma kısa süreli olarak durdurularak sistemin anoksik çalışması ve pH'nın yükselmesi sağlanmıştır. Bu süre boyunca, reaktörler mekanik olarak karıştırılmıştır. Reaktörler $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de işletilmiştir.

Aerobik stabilizasyon çalışmalarına ait deneysel veriler dört (Nevşehir, GASKİ, Elazığ ve Ankara) atıksu arıtma tesisi için ayrı ayrı aşağıda özetlenmiştir.

9.3.2. Aerobik Stabilizasyon Uygulamaları

9.3.2.1.Çamur Karakterizasyonu

Stabilizasyon çalışmaları için İTÜ çalışma grubunun sorumlu olduğu Güneydoğu Anadolu (GAB), Doğu Anadolu (DAB) ve İç Anadolu (İAB) Bölgelerinden seçilen tesisler ve alınan numune çeşitleri Tablo 9.134'de verilmektedir.

Karakterizasyonda kimyasal özellikler için Toplam Katı Madde (TKM), Toplam Uçucu Katı Madde (TUAKM), Askıda Katı Madde (AKM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), Toplam KOİ (TKOİ), Çözünmüş KOİ (ÇKOİ), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), Çözünmüş Kjeldahl Azotu (ÇKN), Toplam Fosfor (TP), Çözünmüş Fosfor (ÇP), Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK); fiziksel özellikler için Özgül filtre Direnci (ÖFD), Kapiler Emme Süresi (KES) ve mikrobiyolojik özellikler için ise Toplam Koliform (TC), Escherichia coli (E.coli) ve Fekal Streptokok (FS) parametreleri incelenmiştir. Ölçülen bu parametrelere ait sonuçlar Tablo 9.135'de verilmektedir.

Tablo 9.134: Numune Alınan Tesisler

Tesis Kodu	Tesis Adı	Atıksu Niteliği	Eşdeğer Nüfus	Atıksu Arıtma Proses	Alınan Numune
TR_GAB_27_04	GASKİ-1 AAT	Kentsel	1805556	KAÇ	Son çökeltme çamuru
TR_İAB_50_03	Nevşehir AAT	Merkez Eysel	104667	UHAÇ	Son çökeltme çamuru
TR_İAB_06_01	Ankara Tatlar AAT	Kentsel	2779500	KAÇ	Son çökeltme çamuru Ön çökeltme çamuru
TR_DAB_23_01	Elazığ AAT	Kentsel	79556	KAÇ	Son çökeltme çamuru Ön çökeltme çamuru
TR_İAB_38_01	KASKİ AAT	Kentsel	1363400	A2/O	Anaerobik aşı çamuru

Son çökeltme çamurları kendi aralarında değerlendirildiğinde Nevşehir AAT ve GASKİ AAT çamurlarının TKM, TUKM ve AKM, UAKM değerlerinin yüksek olduğu ve buna paralel olarak TKOİ, TP ve TKN gibi toplam ölçülen parametrelerin değerlerinin de Elazığ AAT ve Ankara AAT son çökeltme çamurlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir. GASKİ AAT çamurunun ÇKOİ ve buna paralel olarak ÇOK değerleri diğerlerine göre yüksek görülmesine karşılık TKOİ'nin, %8,2 oranla en fazla Ankara AAT çamurunda çözülmüş formda olduğu görülmektedir. Nevşehir AAT, Elazığ AAT ve GASKİ AAT çamurlarında ise ÇKOİ/TKOİ oranlarının sırasıyla %0,8, %4,3 ve %3,6 olduğu görülmektedir. ÇP ve PO₄ değerleri incelendiğinde en yüksek değerlerin GASKİ AAT çamurunda, en düşük değerlerin ise Ankara AAT çamurunda olduğu görülmektedir. Ankara AAT çamurunda ÇP/TP oranı %68 elde edilirken, diğer tesis çamurları için bu oran yaklaşık %25 elde edilmiştir. Azot içeriklerine bakıldığında NO₃ ve NO₂ türlerinin çamurlarda olmadığı veya 1 mg/L'den az olduğu görülmektedir. TKN ve amonyak sonuçlarına göre elde edilen organik azot miktarları Nevşehir AAT, Elazığ AAT, Ankara AAT ve GASKİ AAT çamurları için sırasıyla 738 mg/L, 239 mg/L, 155 mg/L ve 481 mg/L olarak elde edilmektedir. Tüm numunelerin pH'ları yaklaşık çıkarken GASKİ AAT çamurunun alkalinite ve birbirleriyle paralellik gösteren iletkenlik ile tuzluluk değerleri diğer tüm son çökeltme çamurlarına göre yaklaşık 2 kat fazla çıkmıştır. Ankara AAT çamurunun SO₄ ve Cl konsantrasyonları diğer çamur örneklerine göre çok yüksek olduğu

ve diğ er ç amurların sonuçlarında birbirlerine yakın değ erlerde ölçüldü ğ ü görülmektedir. Fiziksel parametreler için GASKİ AAT ç amurunun değ erlerinin diğ erlerine göre yüksek oldu ğ u elde edilmiş tir. Tüm ç amurlar için KES ve ÖFD sonuçları birbirleri ile paralellik göstermiş ve GASKİ AAT ç amurunun susuzlaş tırılabilirliğ inin diğ er ç amurlara göre gü ç oldu ğ u tespit edilmiş tir. Ç amurların mikrobiyal yapıları incelendiğ inde GASKİ AAT ç amurunun TC, E.coli ve FS içeriklerinin diğ er ç amurlara göre fazla oldu ğ u, en düşük mikrobiyal içeriğ e ise Nevşehir AAT ç amurunun sahip oldu ğ u görülmektedir.

Ön ç ökeltme ç amurlarının karakterizasyon sonuçları incelendiğ inde ise Elazığ AAT ön ç ökeltme ç amurunun katı madde içeriğ inin Ankara AAT ön ç ökeltme ç amuruna göre çok fazla oldu ğ u buna bağ lı olarak da TKOİ, TKN ve TP değ erlerinin de yüksek oldu ğ u görülmektedir. Elazığ AAT ç amurunda TKM'nin %76'sı, AKM'nin ise %77'si uçucu formada iken, Ankara AAT ç amurunun TKM'sinin %52'si, AKM'nin ise %57'sinin uçucu oldu ğ u tespit edilmiş tir. Her iki ç amur için de TKOİ'nin %7'sin ç özünmüş oldu ğ u Ç KOİ sonuçlarından elde edilmektedir. Organik içeriğ ine paralel olarak Elazığ AAT ç amurunun tüm azot ve fosfor formları Ankara AAT ç amuruna göre daha fazla oldu ğ u görülmektedir. Elazığ AAT ç amurunun düşük pH değ erine sahip olmasına karş ılık, alkalitesi Ankara AAT ç amuruna göre çok daha fazla ölçülmüş tür. İ letkenlik ve tuzluluk değ erleri birbirleri ile uyumlu olarak her ikisinin de Elazığ AAT ç amurunda daha fazla ölçülmüş tür. CI içerikleri yakın olan ç amurlardan Ankara AAT ç amurunun SO₄ içeriğ inin fazla oldu ğ u görülmektedir. Susuzlaş tırılabilirlikleri incelendiğ inde Elazığ AAT ç amurunun, hem ÖFD hem de KES sonuçlarının birbirlerine paralel olarak daha yüksek, sıkış abilirliklerinin ise yaklaş ık olarak aynı oldu ğ u tespit edilmiş tir. Ç amurların mikrobiyal içeriklerinde ise fazla bir fark gözlenmemiş tir.

Anaerobik stabilizasyon ç alış malarında ař ı ç amuru olarak kullanılmak üzere KASKİ AAT'deki anaerobik ç ürütücüden alınan ç amurun TKM'sinin %45'inin, AKM'sinin ise %47'sinin uçucu oldu ğ u görülmüş ve ç alış malar için uygun oldu ğ una karar verilmiş tir.

Tablo 9.135 : Tesislerden Alınan Çamurların Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Nevşehir AAT Son Çökeltme Çamuru	Elazığ AAT Son Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Son Çökeltme Çamuru	GASKİ AAT Son Çökeltme Çamuru	Elazığ AAT Ön Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Ön Çökeltme Çamuru	Kayseri AAT Anaerobik Aşı Çamuru
TKM	mg/L	9446	5410	4160	10705	36000	7422	65950
TUKM	mg/L	7008	3984	2203	8259	27281	3889	29375
AKM	mg/L	8361 ±495	4833 ±95	3522 ±47	10020 ±170,	32435 ±403	6268 ±45	63415 ±1202
UAKM	mg/L	6745 ±267	4080 ±113	2216 ±23	8270 ±184	25088 ±301	3569 ±9	29716 ±1013
pH	-	6,9	7,1	7,5	6,9	6,0	7,0	7,9
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L	700	625	475	1035	1820	905	5140
İletkenlik	mS/cm	1,93	1,71	1,55	2,75	4,59	2,28	8,03
Tuzluluk	0%	0,98	0,87	0,77	1,43	2,47	1,17	4,46
TKOİ	mg/L	14800	5040	1220	11920	36000	4700	41450
ÇKOİ	mg/L	122	217	100	428	2584	338	1280
ÇOK	mg/L	28	47	26	88	1093	66	634
TKN	mg/L	873 ±54	356 ±7	-	757 ±1	849 ±71	207 ±4	1899 ±70
ÇTKN	mg/L	113	84	55	211	286	125	1047
NH ₄ -N	mg/L	135	117	75	276	360	153	1470
NO ₃ -N	mg/L	1,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,4	0,6
NO ₂ -N	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,9	0,7	0,0	0,0
TP	mg/L	205	150	28	326	225	62	463
ÇTP	mg/L	57	34	19	77	75	23	23
PO ₄ -P	mg/L	35,9	22,4	6,1	56,3	45,2	8,8	14,5
SO ₄	mg/L	60	43	164	38	17	124	5
Cl	mg/L	85	86	119	78	91	101	134
ÖFD	m/kg	7,32E+11	5,94E+13	4,01E+13	4,11E+14	5,57E+14	1,28E+14	7,70E+13
Sıkışabilirlik	%	3,0	4,8	14,1	25,1	11,8	12,5	15,9
KES	sn	12	29	13	275	201	29	1390
TC	[kob/100mL]	9,00E+05	7,00E+06	1,60E+07	4,00E+07	9,00E+07	3,50E+07	2,50E+06
E.coli	[kob/100mL]	5,00E+05	4,50E+06	8,00E+06	3,00E+07	3,50E+07	2,50E+07	7,00E+05
FS	[kob/100mL]	2,20E+06	3,00E+07	5,50E+06	4,00E+07	9,50E+06	3,50E+07	1,80E+06

Tesislerden alınan hem ön çökeltme hem de son çökeltme çamurlarının katı madde içerikleri birbirlerinden farklı çıkmıştır. Stabilizasyon çalışmalarına başlamadan önce çamurların katı madde içerikleri aerobik ve anaerobik reaktörler için uygun katı madde içeriklerine getirmek için farklı oranlarda yoğunlaştırılmıştır. Bu kapsamda, aerobik çalışmalar için, katı madde içerikleri yaklaşık %0,4 ve %0,5 olan Elazığ AAT ve Ankara AAT son çökeltme çamurları yoğunlaştırılarak katı madde içerikleri yaklaşık %1 olan GASKİ AAT ve Nevşehir AAT son çökeltme çamurlarının katı madde içeriklerine yaklaştırılmıştır. Anaerobik stabilizasyon çalışmaları için ise tüm son çökeltme çamurları ile Ankara AAT ön çökeltme çamuru yoğunlaştırılmıştır. Bu yoğunlaştırma işlemi sonrasında elde edilen katı madde ve AKM değerleri uçucu içerikleriyle birlikte aerobik stabilizasyon reaktörleri için Tablo 9.136'da, anaerobik stabilizasyon reaktörleri için ise Tablo 9.137'de verilmektedir.

Tablo 9.136 : Aerobik stabilizasyon çalışmaları için yoğunlaştırma sonrası katı madde içerikleri

Parametre	Birim	Elazığ AAT Son Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Son Çökeltme Çamuru
TKM	mg/L	7200	7680
TUKM	mg/L	5540	4240
AKM	mg/L	6245	7035
UAKM	mg/L	5120	4210

Tablo 9.137 : Anaerobik stabilizasyon çalışmaları için yoğunlaştırma sonrası katı madde içerikleri

Parametre	Birim	Elazığ AAT Son Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Son Çökeltme Çamuru	GASKİ AAT Son Çökeltme Çamuru	Nevşehir AAT Son Çökeltme Çamuru	Ankara AAT Ön Çökeltme Çamuru
TKM	mg/L	14565	11350	21090	19900	16130
TUKM	mg/L	11280	6205	16450	15280	7920
AKM	mg/L	12950	9950	19515	18600	14900
UAKM	mg/L	10475	6075	15600	14967	7835

9.3.2.2.Nevşehir Atıksu Arıtma Tesisi

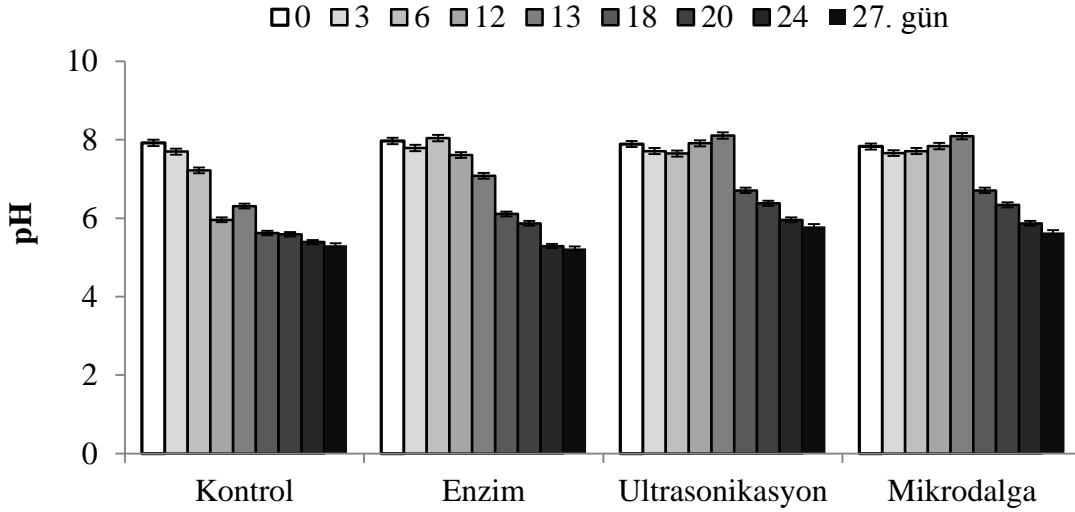
Nevşehir atıksu arıtma tesisinden alınan çamur numuneleri üzerinde stabilizasyon çalışmaları 27 gün boyunca sürdürülmüş olup çeşitli parametreler için ölçülmüş olan başlangıç ve sonuç değerleri Tablo 9.138’de sunulmaktadır.

Tablo 9.138 : Nevşehir aerobik stabilizasyon reaktörlerinde ölçülmüş parametrelerin t:0 ve t:27gün Değerleri

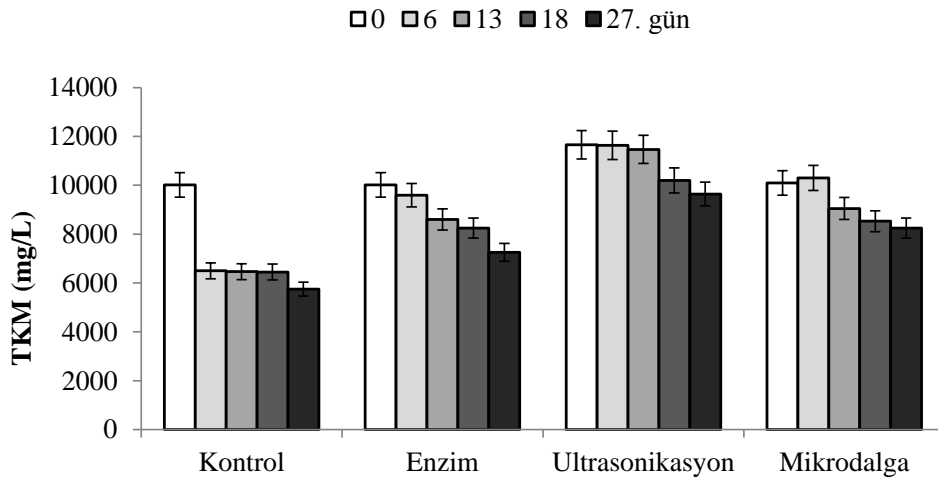
Parametre	Kontrol		Enzim		Ultrasonikasyon		Mikroalgla	
	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün
pH	7,92	5,31	7,97	5,23	7,89	5,79	7,83	5,64
İletkenlik (μ S/cm)	1510	1990	-	2570	1850	1750	1820	1760
Tuzluluk (%)	0,76	1,01	-	1,33	0,94	0,89	0,92	0,89
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	1530	10	1530	10	1900	20	1960	15
TKM (mg/L)	10020	5745	1020	7255	11655	9645	10095	8245
TUKM (mg/L)	8310	4000	8310	4850	8700	6840	9250	5830
AKM (mg/L)	9800	4850	9800	5690	10950	8840	9300	7290
UAKM (mg/L)	8050	3930	8050	4730	8750	6780	8750	5700
KOİ (mg/L)	15470	6000	19870	5860	15470	10500	15570	6820
ÇKOİ (mg/L)	240	98	4208	132	721	69	570	79
TKN (mg/L)	710	246	710	346	710	496	710	402
NH ₄ -N (mg/L)	51	<5	51	<5	96	<5	81	<5
TP (mg/L)	210	-	210	-	210	-	210	-
ÇP (mg/L)	38	53	38	56	38	55	38	48
PO ₄ -P (mg/L)	42	56	42	52	39	53	40	52

Stabilizasyon süresince zamana bağlı olarak pH, TKM, TUKM, AKM ve UAKM parametrelerindeki değişimler sırasıyla Şekil 9.152, Şekil 9.153, Şekil 9.154, Şekil 9.155 ve Şekil 9.156’da verilmiştir. TKM parametresi dikkate alındığında (Tablo 9.153), kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %43 oranında giderim verimi elde edilmiş olup bu sonuç herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmadan, aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütesinin ortalama %43 oranında azalacağını belirtmektedir. Dezentegrasyon

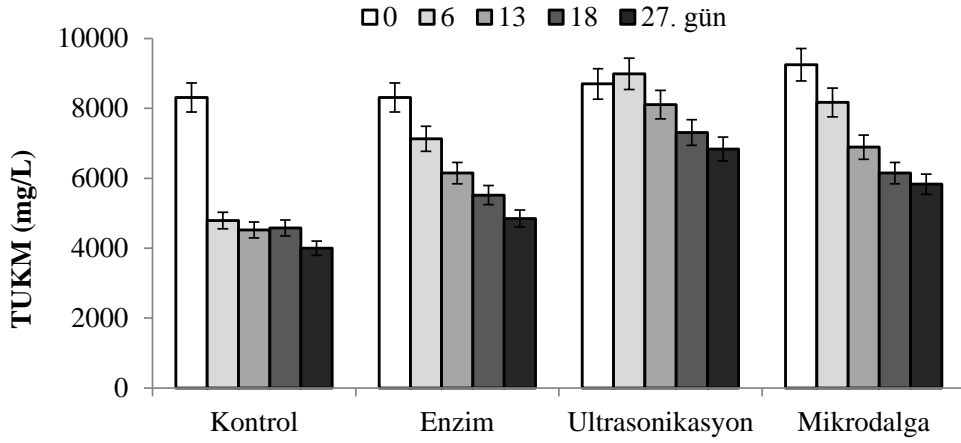
yöntemlerinden enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemleri uygulandığında sırası ile %29, %17 ve %18 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyonun uygulanmasının çamur miktarının azaltılmasında negatif etkisi olduğu görülmektedir. TUKM parametresi giderim verimleri incelendiğinde (Tablo 9.154) kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemlerinde %52, %42, %21 ve %37 değerleri hesaplanmıştır.



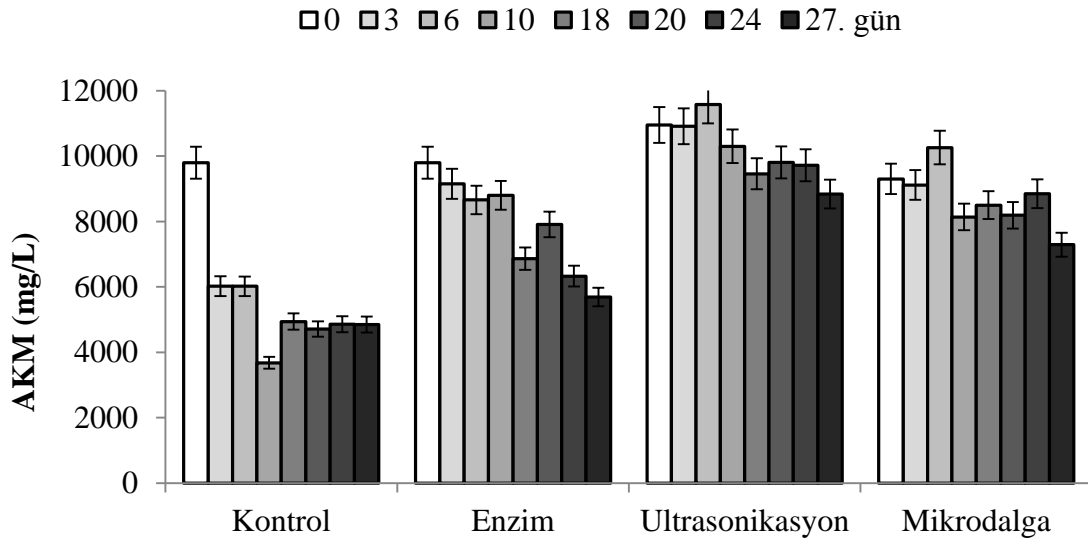
Şekil 9.152 : Nevşehir AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı pH değişimi



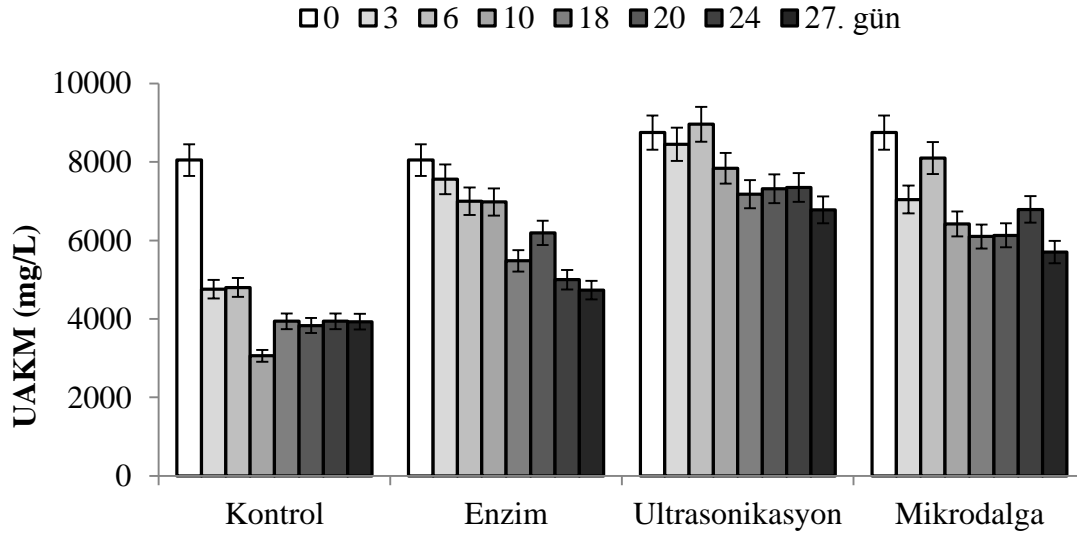
Şekil 9.153 : Nevşehir AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana Bağlı TKM konsantrasyonu değişimi



Şekil 9.154 : Nevşehir AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı TUKM konsantrasyonu değişimi

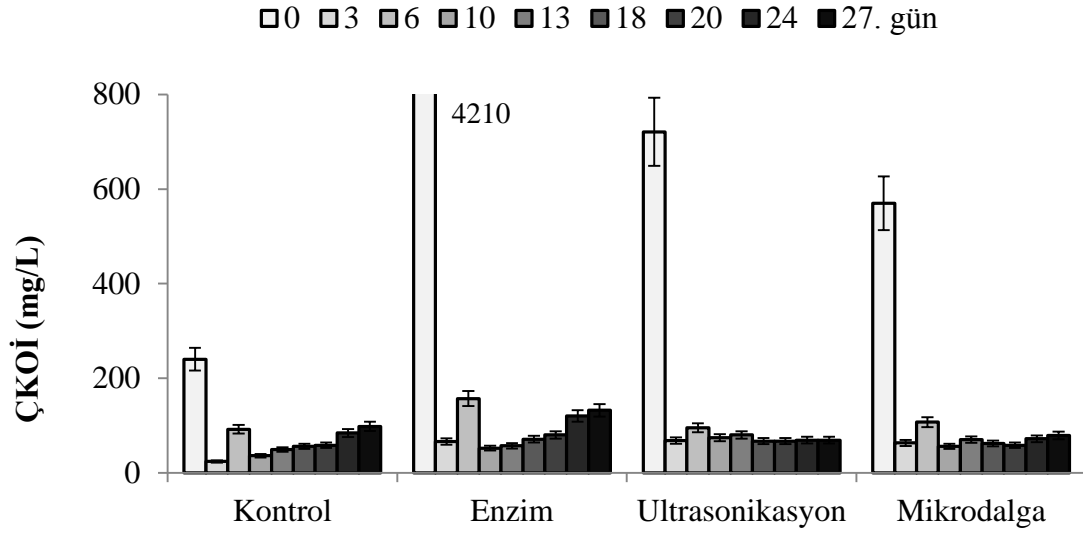


Şekil 9.155 : Nevşehir AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı AKM konsantrasyonu değişimi

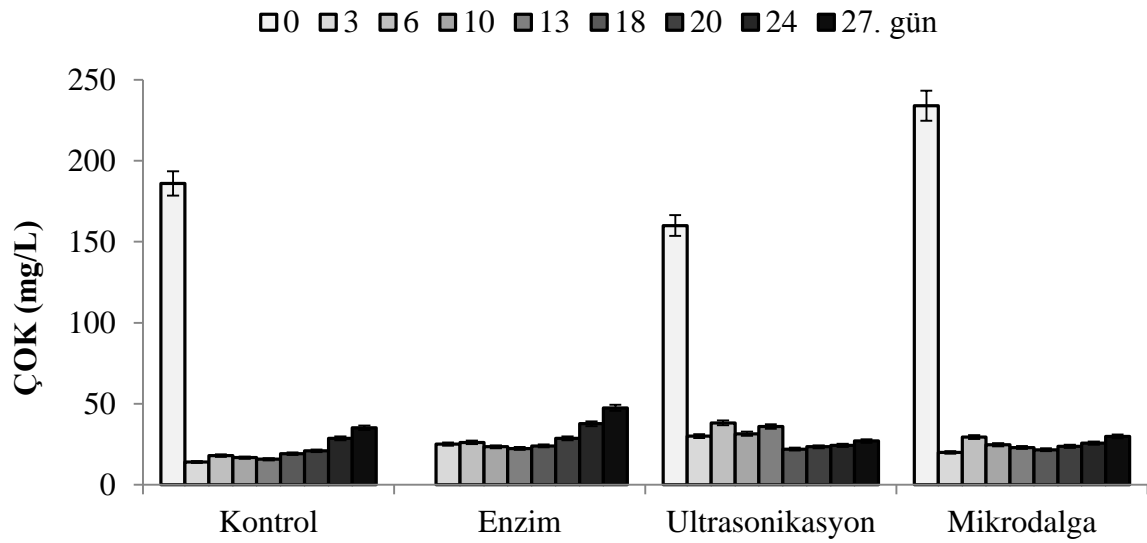


Şekil 9.156 : Nevşehir AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı UAKM konsantrasyonu değişimi

Aerobik stabilizasyonunda elde edilen UAKM parametresi incelendiğinde (Şekil 9.156), kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneyleri için %51, %41, %23 ve %35 giderim verimleri elde edilmiştir. Dolayısı ile yukarıda bahsedildiği şekilde katı madde giderimi açısından enzimin bir etkisi görülmemekle birlikte ultrasonikasyon ve mikrodalga dezentegrasyon yöntemlerinin aerobik stabilizasyon verimini düşürdüğü gözlenmiştir. Aerobik stabilizasyon çalışmalarında paralel yürütülen çözünmüş KOİ (ÇKOİ) ölçümlerinden anlaşıldığı gibi (Şekil 9.157) KOİ konsantrasyonu aerobik stabilizasyon kontrol, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneyleri sonunda 70-90 mg/L seviyelerine ulaşmıştır. Öte yandan, enzim kullanılması durumunda ÇKOİ seviyesi 130 mg/L değerine ulaşmıştır. ÇKOİ deneylerine paralel olarak Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) konsantrasyonları aerobik stabilizasyonun sonunda kontrol, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneylerinde 30 mg/L mertebesinde kalmış olup, enzim uygulanması durumunda deneylerinde 50 mg/L değerine ulaşmıştır (Şekil 9.158).

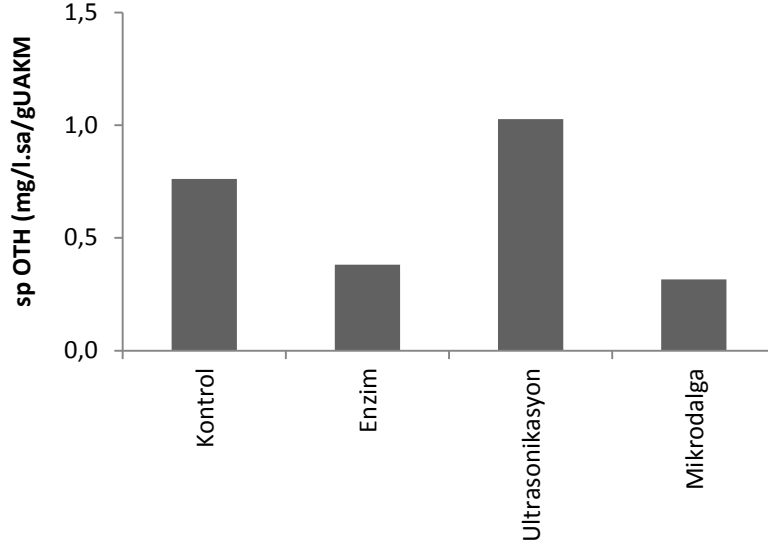


Şekil 9.157 : Nevşehir AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı ÇKOİ konsantrasyonu değişimi



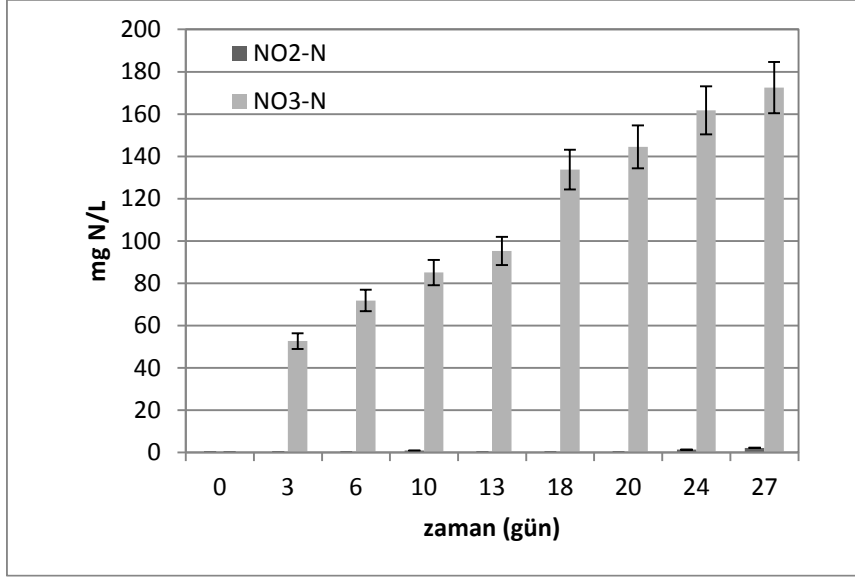
Şekil 9.158 : Nevşehir AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı ÇOK konsantrasyonu değişimi

Yürütülen tüm setler için aerobik stabilizasyon deneyi sonucunda biyokütle aktivitesini ölçmek için spesifik oksijen tüketim hızı (spOTH) ölçülmüştür (Şekil 9.159). Buna göre aerobik stabilizasyon sonunda spOTH değerleri kontrol için 0,8 mg/L/saat/UAKM, enzim için 0,4 mg/L/saat/UAKM, ultrasonikasyon için 1,0 mg/L/saat/UAKM ve mikrodalga deneyleri için 0,3 mg/L/saat/UAKM olarak ölçülmüştür. Buna göre ultrasonikasyon uygulanan numunede spOTH parametresi diğer yöntemlere göre en yüksek seviyede ölçülmüştür.

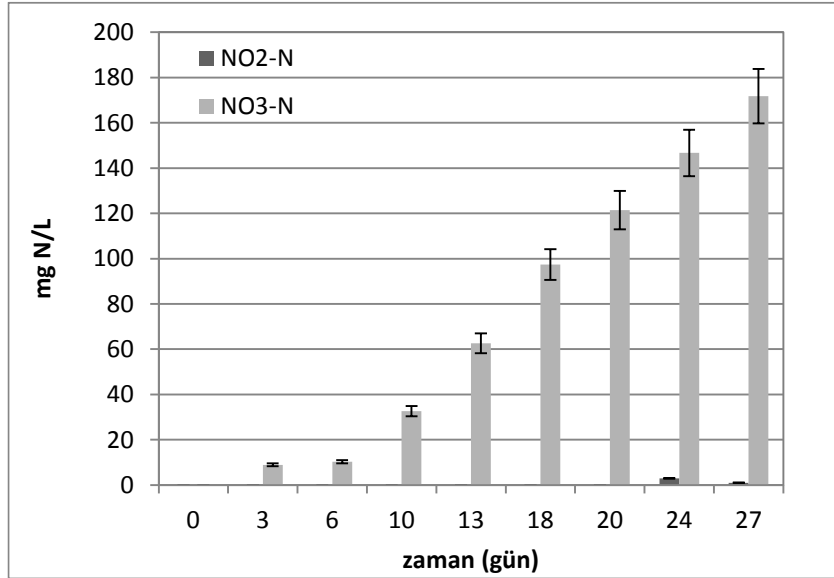


Şekil 9.159 : Nevşehir AAT numuneleri için stabilizasyon sonunda ölçülen spesifik oksijen tüketim hızı

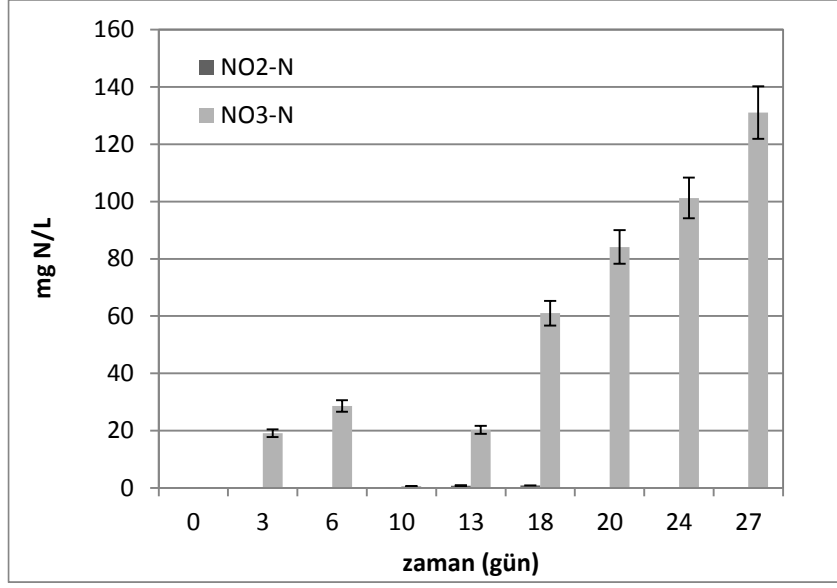
Stabilizasyon süresi boyunca kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde nitrit ve nitrat konsantrasyonlarındaki değişimler sırasıyla Şekil 9.160, Şekil 9.161, Şekil 9.162 ve Şekil 9.163’de verilmiştir. Nevşehir atıksu arıtma tesisinden alınan numunelerle kurulan reaktörlerde, ilk gün nitrit ve nitrat konsantrasyonları mikrodalga dezentegrasyonu uygulanmış numune dışında ölçülebilir limitlerde olmamasına karşın, mikrodalga numunesinde de hem nitrit hem de nitrat 1 mg/L seviyesinin altında kalmıştır. Stabilizasyon sonunda ölçülen nitrat konsantrasyonu ise reaktörlere göre değişmekte olup kontrol ve enzim reaktörlerinde son gün nitrat konsantrasyonları 170 mg/L, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde ise yaklaşık olarak 130 mg/L civarındadır. Nitrit konsantrasyonları ise sadece kontrol ve enzim reaktörlerinde 2 mg/L mertebesine çıkmış olup, diğer iki reaktörde ölçülebilir seviyelere ulaşamamıştır.



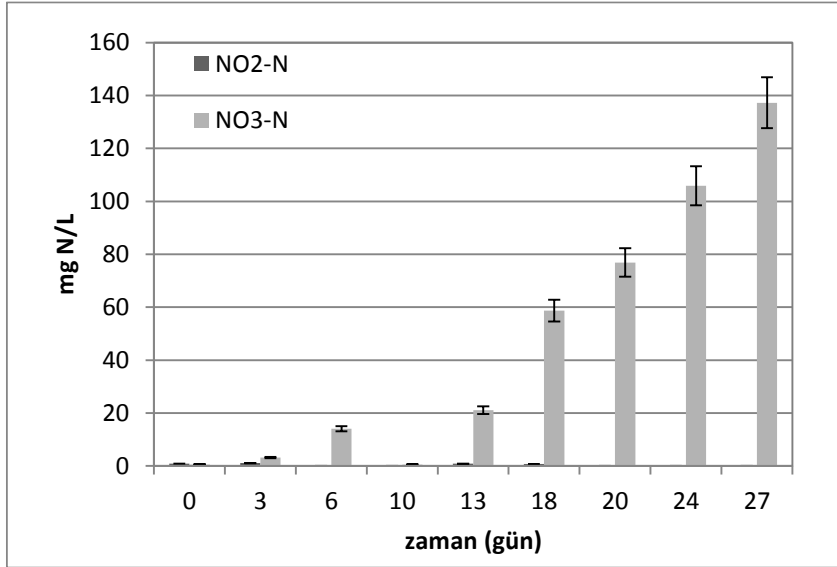
Şekil 9.160 : Nevşehir AAT Numuneleri, Kontrol Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.161 : Nevşehir AAT Numuneleri, Enzim Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.162 : Nevşehir AAT Numuneleri, Ultrasonikasyon Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.163 : Nevşehir AAT Numuneleri, Mikrodalga Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi

Numunelerde ilk ve son gün ölçülmüş olan TKN ve $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri incelendiğinde, kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde TKN değeri toplamda sırasıyla %65, %51, %30 ve %43 azalmış, $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu ise bütün reaktörlerde ölçüm limiti olan 5 mg/L'nin altına düşmüştür.

Reaktörlerde ilk gün ölçülen yüksek fosfat konsantrasyonlarının atıksu arıtma çamurlarının transferi sırasında anaerobik koşullardan dolayı fosfat salınımı gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Reaktörlerde ayrıca hidroliz sonucunda da fosfat konsantrasyonunun artması beklenmektedir. Bu artış, Nevşehir numunelerinin hepsinde gözlenmiş olup, kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörleri için sırayla, %33,% 24, %36 ve %30 olarak hesaplanmıştır.

9.3.2.3.Gaziantep (Gaski) Atıksu Arıtma Tesisı

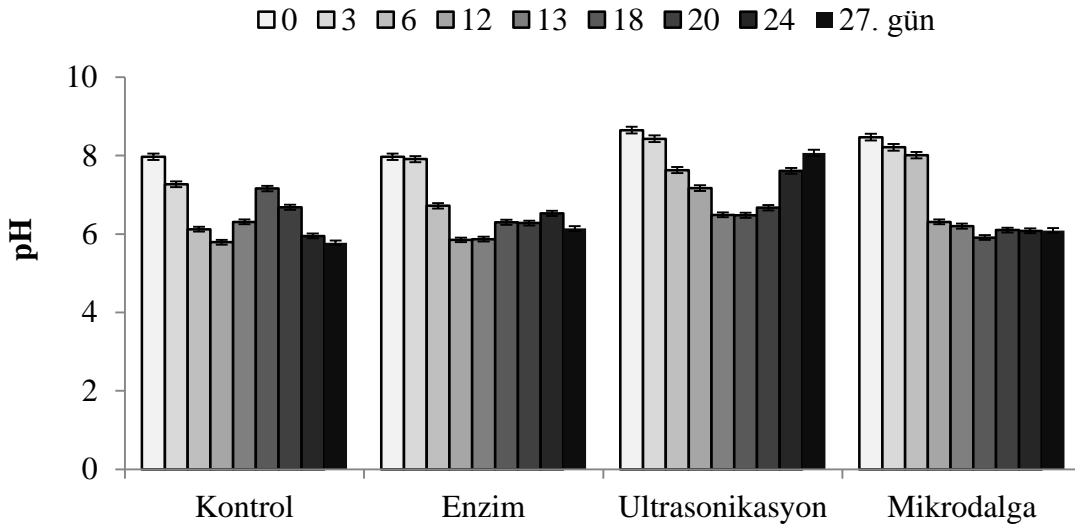
GASKİ atıksu tesisinden alınan çamur numuneleri üzerinde stabilizasyon çalışmaları 27 gün süresince sürdürülmüş olup çeşitli parametreler için ölçülmüş olan başlangıç ve sonuç değerleri Tablo 9.139’de sunulmaktadır.

Tablo 9.139 : GASKİ aerobik stabilizasyon reaktörlerinde ölçülmüş çeşitli parametreler

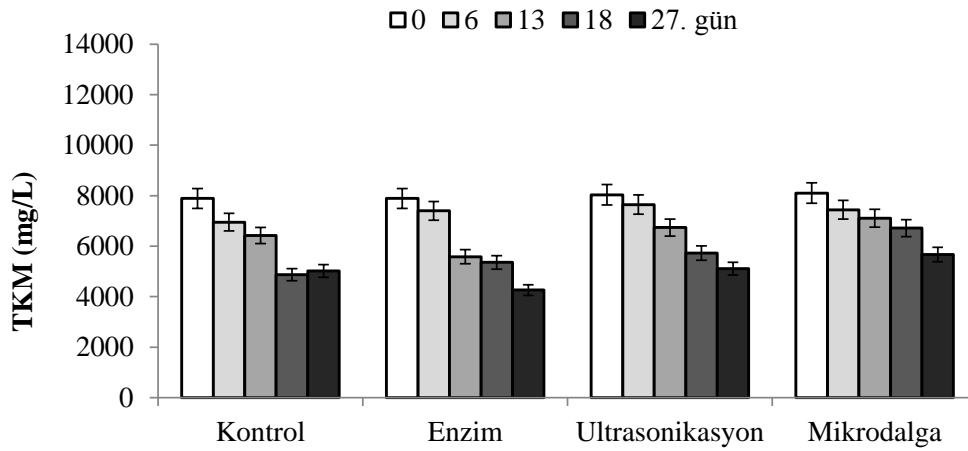
Parametre	Kontrol		Enzim		Ultrasonikasyon		Mikrodalga	
	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün
pH	7,97	5,78	7,97	6,14	8,65	8,07	8,47	6,09
İletkenlik (µS/cm)	2020	2300	-	3580	2160	1550	2170	1870
Tuzluluk (%)	1,03	1,18	-	1,88	1,10	0,78	1,12	0,95
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	1450	25	1450	45	1530	190	1530	30
TKM (mg/L)	7890	5020	7890	4260	8035	5110	8100	5670
TUKM (mg/L)	6600	3500	6600	3240	6826	3330	6630	3685
AKM (mg/L)	7175	3850	7125	3700	7275	4290	7700	4320
UAKM (mg/L)	6025	2830	6025	2740	6025	3040	6275	3330
KOİ (mg/L)	12400	3900	16799	4540	12400	4050	12240	4125
ÇKOİ (mg/L)	770	277	4738	736	1250	310	1040	249
TKN (mg/L)	380	182	380	269	380	266	380	235
NH ₄ -N (mg/L)	81	16	81	42	78	33	66	<5
TP (mg/L)	200	-	200	-	200	-	200	-
ÇP (mg/L)	77	67	77	51	77	23	77	62
PO ₄ -P (mg/L)	44	71	44	35	48	21	41	58

Stabilizasyon süresince zamana bağlı olarak pH, TKM, TUKM, AKM ve UAKM parametrelerindeki değişimler sırasıyla Şekil 9.164, Şekil 9.165, Şekil 9.166, Şekil 9.167 ve Şekil 9.168’de verilmiştir. TKM parametresi dikkate alındığında (Şekil 9.165), kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda %36 oranında giderim verimi elde edilmiş olup bu sonuç herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmadan, aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütesinin ortalama %36 oranında azalacağını belirtmektedir. Dezentegrasyon yöntemlerinden enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemleri uygulandığında ise sırası ile

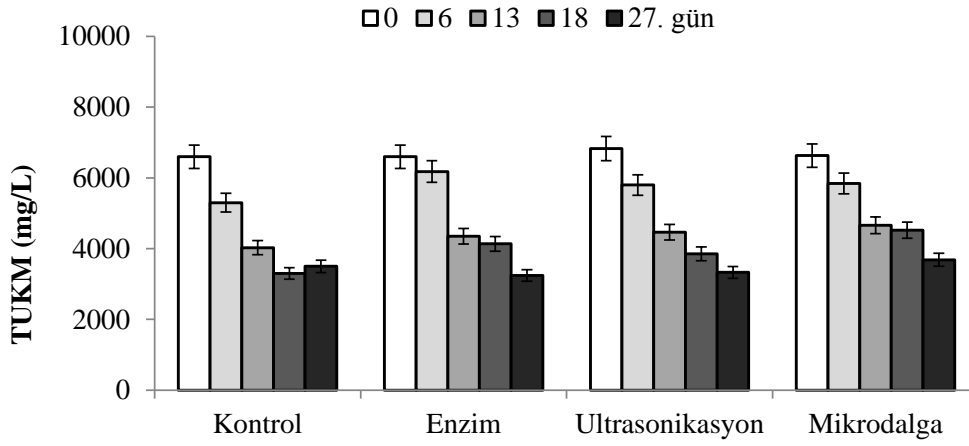
%46, %36 ve %30 oranında giderim verimleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden aerobik stabilizasyon prosesinde enzim uygulanmasının çamur kütlesini azaltma yönünde bir etkisi olduğu sonucu çıkartılabilir. Benzer olarak TUKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde (Şekil 9.166) kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemlerinde %47, %51, %51 ve %44 oranları elde edilmiştir. Mikrodalga işleminin uygulanması TUKM giderim verimini olumsuz etkilemiştir. Diğer dezentegrasyon yöntemleri kontrol deneyine göre giderim verimini artırmıştır.



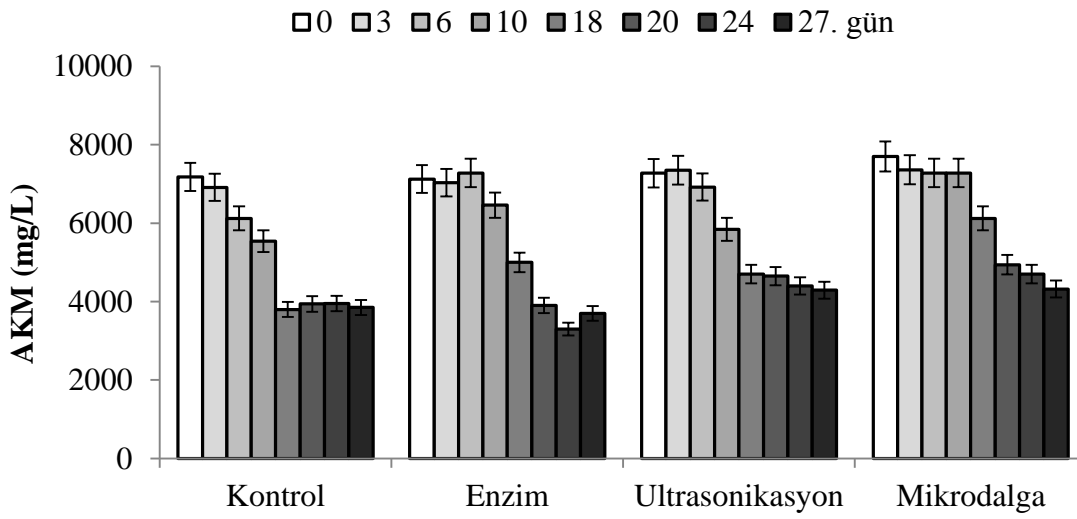
Şekil 9.164 : GASKİ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Süresince Zamana Bağlı pH Değişimi



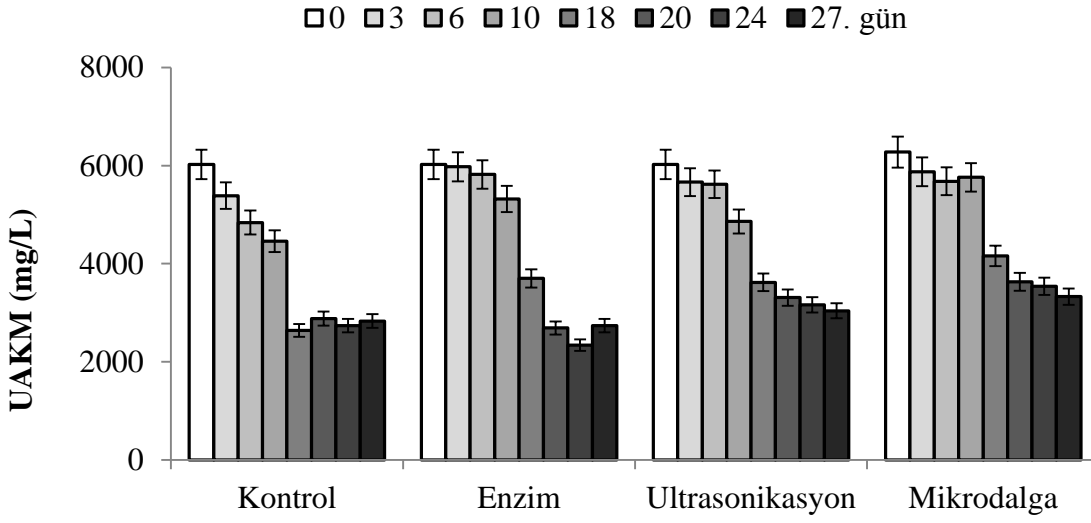
Şekil 9.165 : GASKİ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Süresince Zamana Bağlı TKM Konsantrasyonu Değişimi



Şekil 9.166 : GASKİ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Süresince Zamana Bağlı TUKM Konsantrasyonu Değişimi

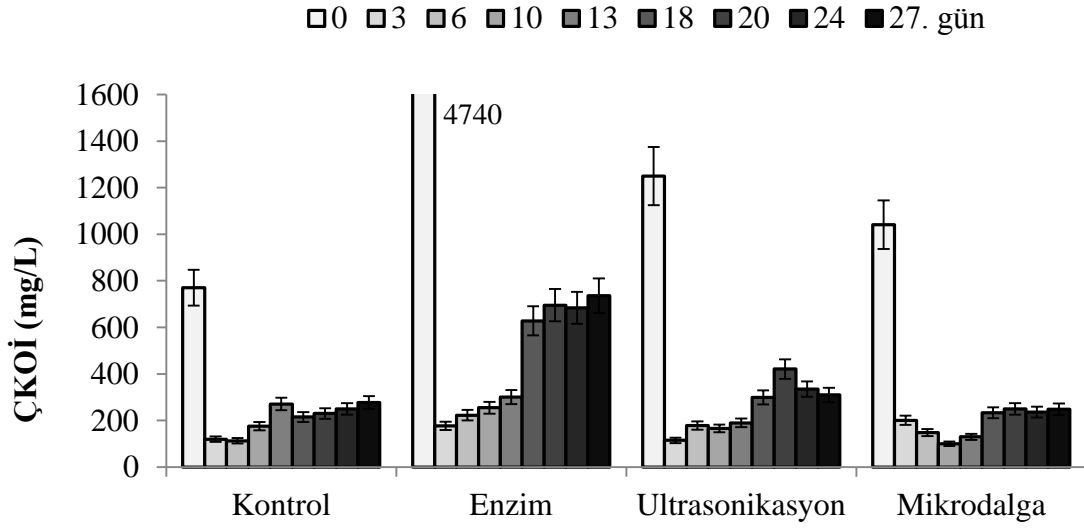


Şekil 9.167 : GASKİ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Süresince Zamana Bağlı AKM Konsantrasyonu Değişimi

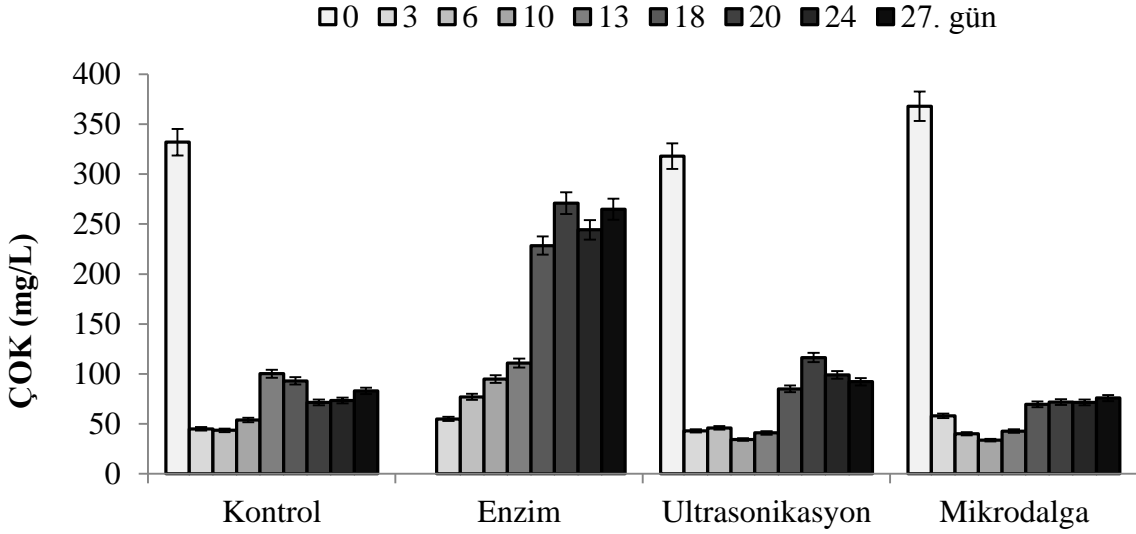


Şekil 9.168 : GASKİ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Süresince Zamana Bağlı UAKM Konsantrasyonu Değişimi

Aerobik stabilizasyonun deneylerinde elde edilen UAKM parametresi (Şekil 9.168) incelendiğinde kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneyleri için sırası ile %53, %54, %50 ve %47 giderim verimleri elde edilmiştir. Yukarıda bahsedildiği şekilde katı madde giderimi açısından aerobik stabilizasyonda kontrol, enzim ve ultrasonikasyon deneylerinde benzer verimler elde edilmiştir. Aerobik stabilizasyon çalışmalarında paralel yürütülen çözülmüş KOİ (ÇKOİ) ölçümlerinden anlaşıldığı üzere (Şekil 9.169) KOİ konsantrasyonu stabilizasyon sonunda kontrol, ultrasonikasyon, mikrodalga deneyleri için 250-300 mg/L seviyelerine ulaşmış olup bu değer enzim deneyinde 740 mg/L değerine ulaşmıştır. Çözülmüş Organik Karbon (ÇOK) ölçümleri aerobik stabilizasyonun sonunda kontrol, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneylerinde 75-90 mg/L mertebesinde kalmış olup, enzim uygulamasında deney sonunda 265 mg/L değerine ulaşmıştır (Şekil 9.170).

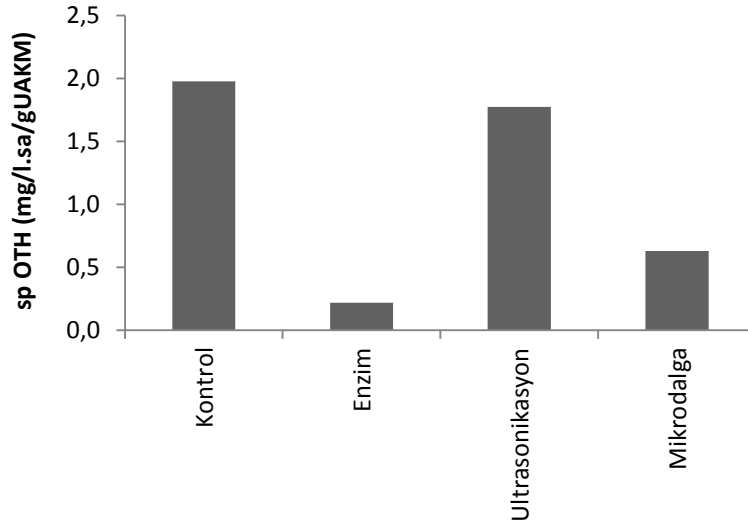


Şekil 9.169 : GASKİ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Süresince Zamana Bağlı ÇKOİ Konsantrasyonu Değişimi



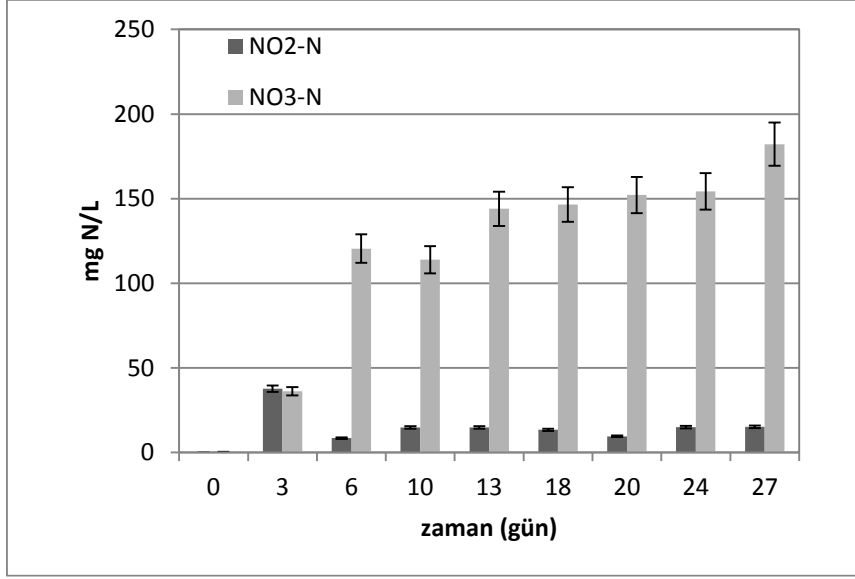
Şekil 9.170 : GASKİ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Süresince Zamana Bağlı ÇOK Konsantrasyonu Değişimi

Yürütülen tüm setler için aerobik stabilizasyon deneyi sonucunda biyokütle aktivitesini ölçmek için spesifik oksijen tüketim hızı (spOTH) ölçülmüştür (Şekil 9.171). Buna göre aerobik stabilizasyon sonunda spOTH değerleri kontrol için 2,0 mg/L/saat/UAKM, enzim için 0,2 mg/L/saat/UAKM, ultrasonikasyon için 1,8 mg/L/saat/UAKM ve mikrodalga deneyleri için 0,6 mg/L/saat/UAKM olarak ölçülmüştür. Verilere göre kontrol deneyi için elde edilen spOTH değerini ultrasonikasyona ait spOTH değeri takip etmektedir.

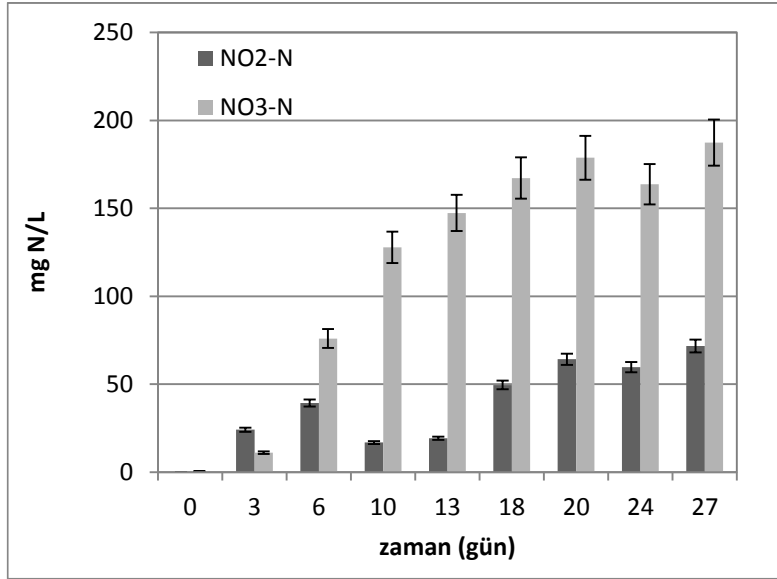


Şekil 9.171 : GASKİ AAT numuneleri için stabilizasyon sonunda ölçülen spesifik oksijen tüketim hızı

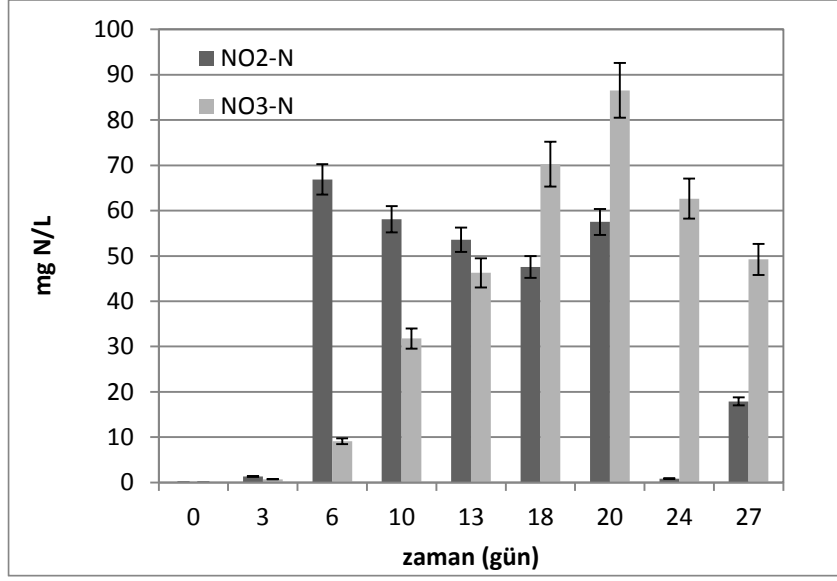
Stabilizasyon süresi boyunca kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde nitrit ve nitrat konsantrasyonlarındaki değişimler sırasıyla Şekil 9.172, Şekil 9.173, Şekil 9.174 ve Şekil 9.175’de verilmiştir. GASKİ atıksu arıtma tesisinden alınan numunelerle kurulan reaktörlerde, ilk gün nitrit ve nitrat konsantrasyonları 1mg/L’nin altında kalmıştır. Stabilizasyon sonunda ölçülen nitrat konsantrasyonları kontrol ve enzim reaktörlerinde yaklaşık olarak 180 mg/L, mikrodalga ve ultrasonikasyon reaktörlerinde ise 120 mg/L ve 50 mg/L olarak ölçülmüştür. Nitrit konsantrasyonları stabilizasyon sonunda kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde 15 mg/L, 70 mg/L, 18 mg/L ve 28 mg/L olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, nitrit konsantrasyonları hiç bir reaktörde tükenmemiştir. Diğer üç reaktörden farklı olarak ultrasonikasyon reaktöründe nitrat konsantrasyonu stabilizasyon süresince önce artıp sonra bir miktar azalmış olup, bu azalmanın -her ne kadar havalandırma yapılmış da olsa- karıştırmadan dolayı gerçekleşen denitrifikasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir.



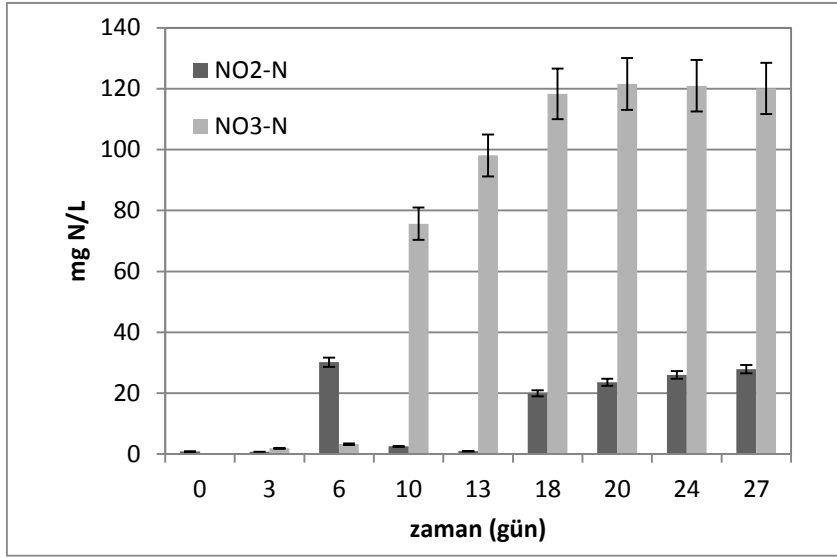
Şekil 9.172 : GASKİ AAT Numuneleri, Kontrol Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.173 : GASKİ AAT Numuneleri, Enzim Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.174 : GASKİ AAT Numuneleri, Ultrasonikasyon Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.175 : GASKİ AAT Numuneleri, Mikrodalga Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi

Numunelerde başlangıçta ve son gün ölçülmüş olan TKN ve $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri incelendiğinde, kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde TKN değeri toplamda sırasıyla %52, %29, %30 ve % 38 azalmıştır. $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonları ise kontrol, enzim ve ultrasonikasyon reaktörlerinde, sırasıyla, %80, % 48 ve %58 azalmış olup, mikrodalga reaktöründe stabilizasyon sonunda $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu ölçüm limitinin altına düşmüştür.

Reaktörlerde ilk gün ölçülen yüksek fosfat konsantrasyonlarının atıksu arıtma çamurlarından transferi sırasında oluşan anaerobik koşullardan dolayı fosfat salınımını işaret ettiği düşünülmektedir. Bu artış, GASKİ numunelerinde kontrol ve mikrodalga reaktörlerinde gözlenmiş olup kontrol reaktöründeki % 61, mikrodalga reaktöründeki ise % 41 artış ölçülmüştür.

9.3.2.4.Elazığ Atıksu Arıtma Tesisi

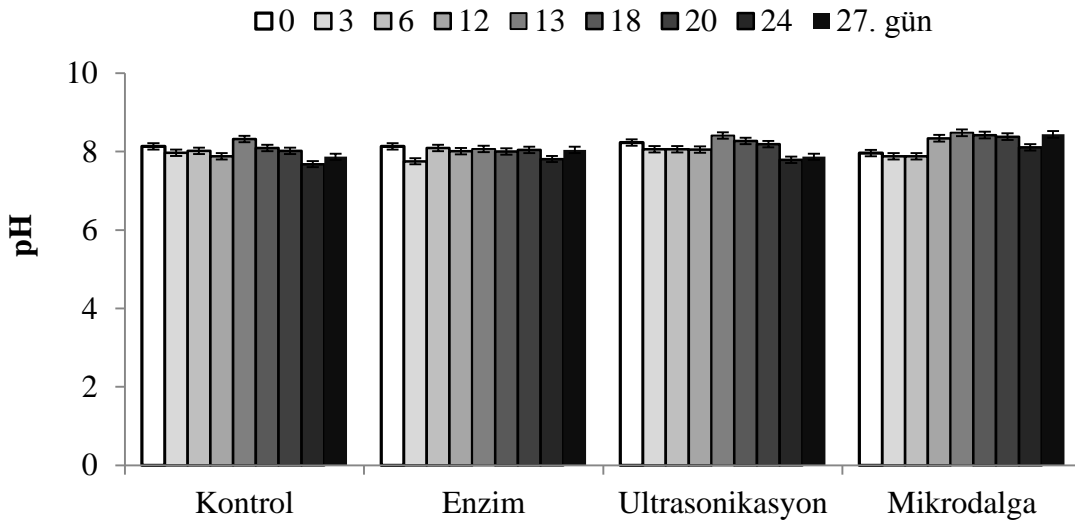
Elazığ atıksu tesisinden alınan çamur numuneleri üzerinde stabilizasyon çalışmaları 27 gün boyunca sürdürülmüş olup çeşitli parametreler için ölçülmüş olan ilk ve son değerler Tablo 9.140'da sunulmaktadır.

Tablo 9.140: Elazığ Aerobik Stabilizasyon Reaktörlerinde Ölçülmüş Çeşitli Parametreler

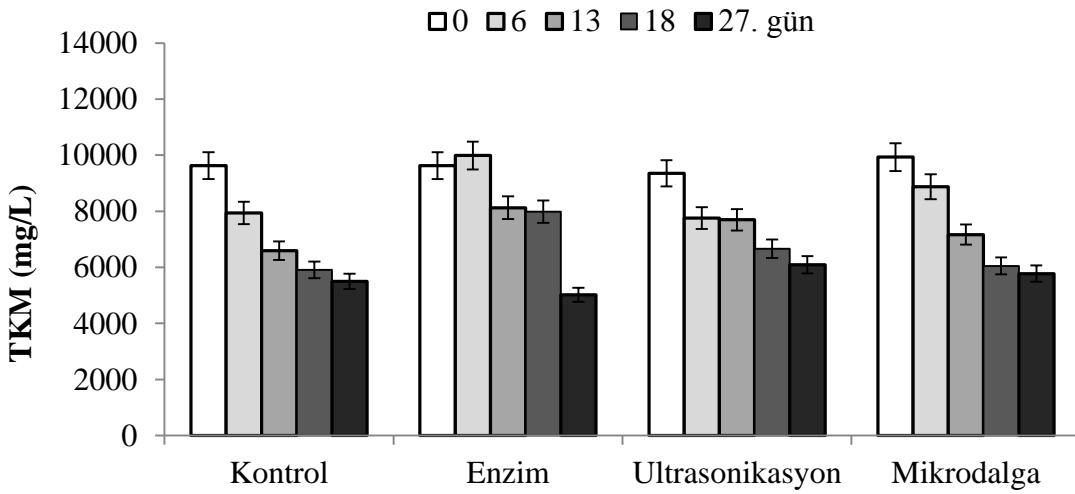
Parametre	Kontrol		Enzim		Ultrasonikasyon		Mikrodalga	
	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün
pH	8,13	7,87	8,13	8,04	8,23	7,87	7,96	8,44
İletkenlik (µS/cm)	1620	1190	-	1990	1830	1300	1870	1120
Tuzluluk (‰)	0,82	0,59	-	1,02	0,93	0,65	0,95	0,56
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	1120	115	1120	155	1080	50	1090	200
TKM (mg/L)	9625	5500	9625	5015	9350	6090	9935	5775
TUKM (mg/L)	6537	3700	6537	3320	7550	4380	7029	3720
AKM (mg/L)	7925	5030	7925	3940	9050	5570	8550	4660
UAKM (mg/L)	6400	3425	6400	2780	7275	4080	6775	3350
KOİ (mg/L)	11213	3138	15612	3510	12000	3850	11870	3740
ÇKOİ (mg/L)	500	162	4468	184	967	110	1040	92
TKN (mg/L)	685	123	685	153	685	152	685	186
NH ₄ -N (mg/L)	87	<5	87	<5	66	<5	72	<5
TP (mg/L)	100	-	100	-	100	-	100	-
ÇP (mg/L)	24	10	24	9	24	9	24	7
PO ₄ -P (mg/L)	21	13	21	9	24	11	23	6

Elazığ atıksu arıtma tesisinden alınan çamur numuneleri üzerinde stabilizasyon çalışmaları 27 gün boyunca sürdürülmüş olup, stabilizasyon süresince zamana bağlı olarak pH, TKM, TUKM, AKM ve UAKM parametrelerindeki değişimler sırasıyla Şekil 9.176, Şekil 9.177, Şekil 9.178, Şekil 9.179 ve Şekil 9.180'de verilmiştir. TKM parametresi dikkate alındığında (Şekil 9.177), kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda % 43 oranında giderim verimi elde edilmiş olup bu sonuç herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmadan, aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütlelerinin ortalama % 43 oranında azalacağını göstermektedir. Dezentegrasyon yöntemlerinden enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemleri

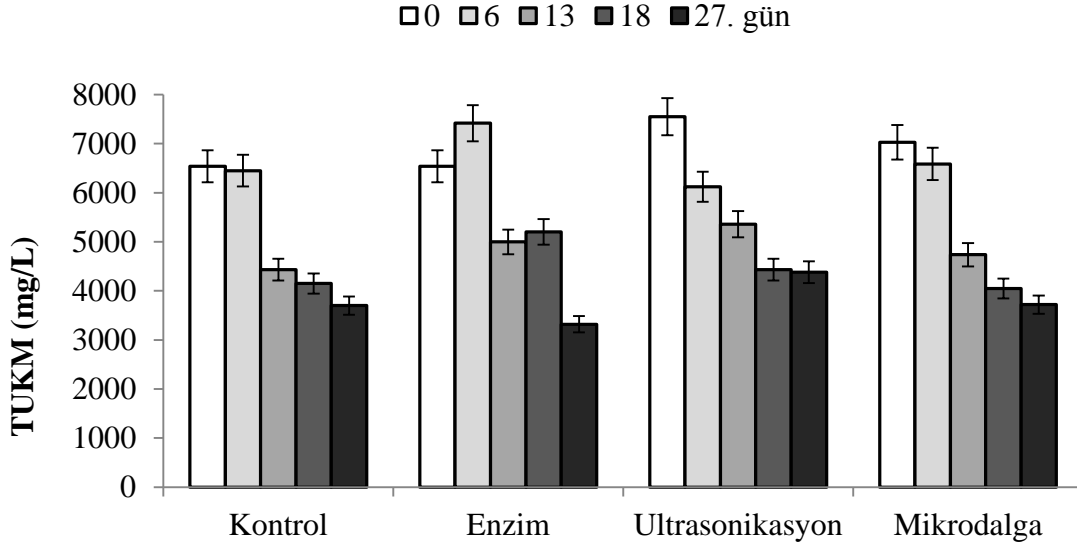
uygulandığında ise TKM parametresinde sırası ile % 48, % 35 ve % 42 oranında giderim verimleri saptanmıştır. Aerobik stabilizasyon prosesinde enzim uygulanması giderim verimini artırmakta, ultrasonikasyon azaltmakta olup mikrodalga'nın çamur miktarının azaltılması üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. Benzer şekilde TUKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde (Şekil 9.178) kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemlerinde % 43, % 49, % 42 ve % 47 değerleri hesaplanmıştır. TUKM giderimini enzim ilavesi ve mikrodalga dezintegrasyonu artırmakta ultrasonikasyon ise etkilememektedir.



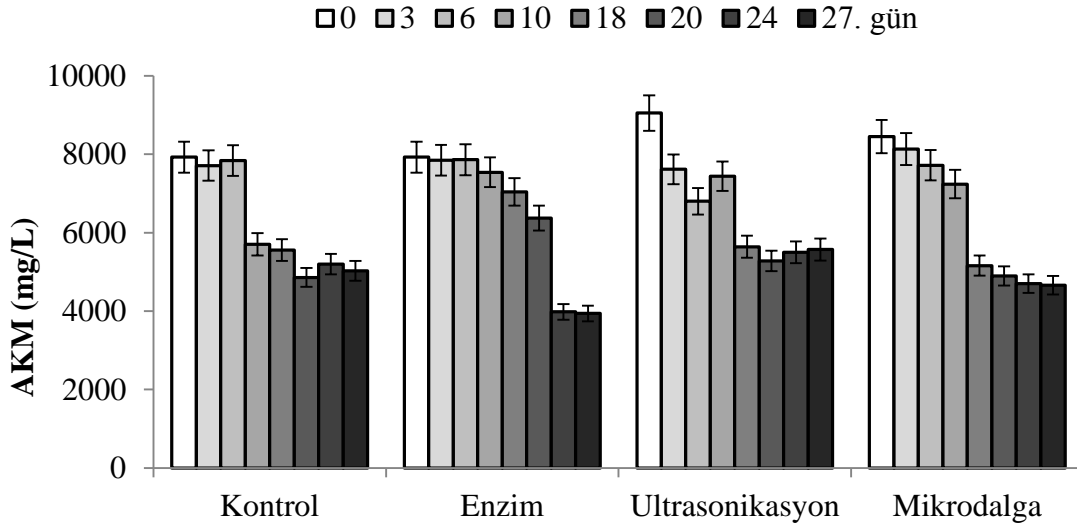
Şekil 9.176 : Elazığ AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı pH değişimi



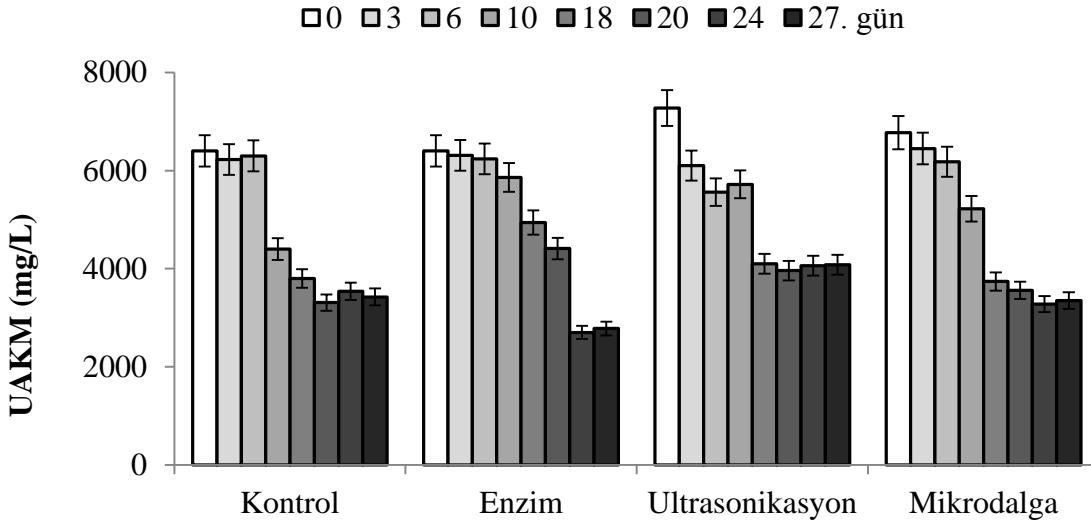
Şekil 9.177 : Elazığ AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı TKM konsantrasyonu değişimi



Şekil 9.178 : Elazığ AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana Bağlı TUKM konsantrasyonu değişimi

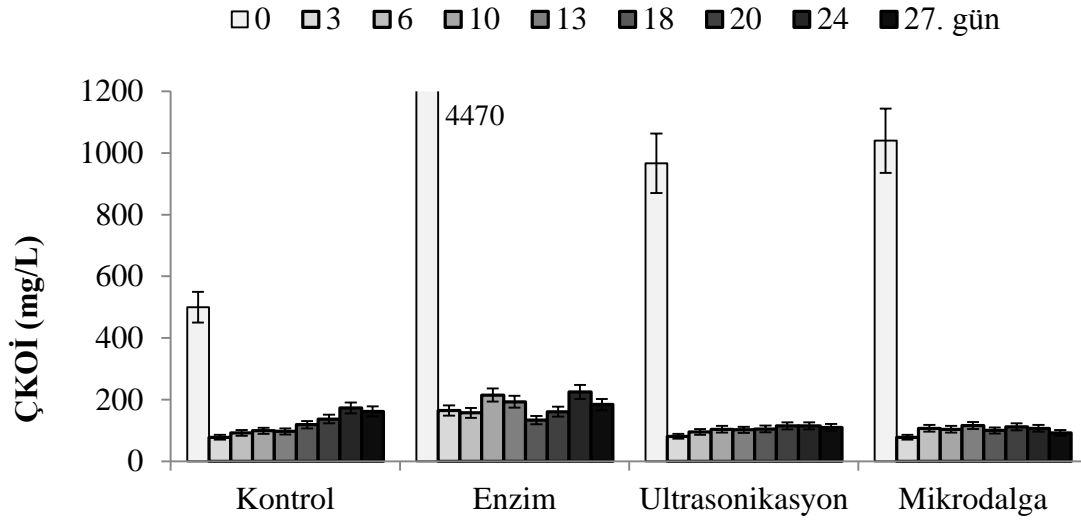


Şekil 9.179 : Elazığ AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana Bağlı AKM konsantrasyonu değişimi

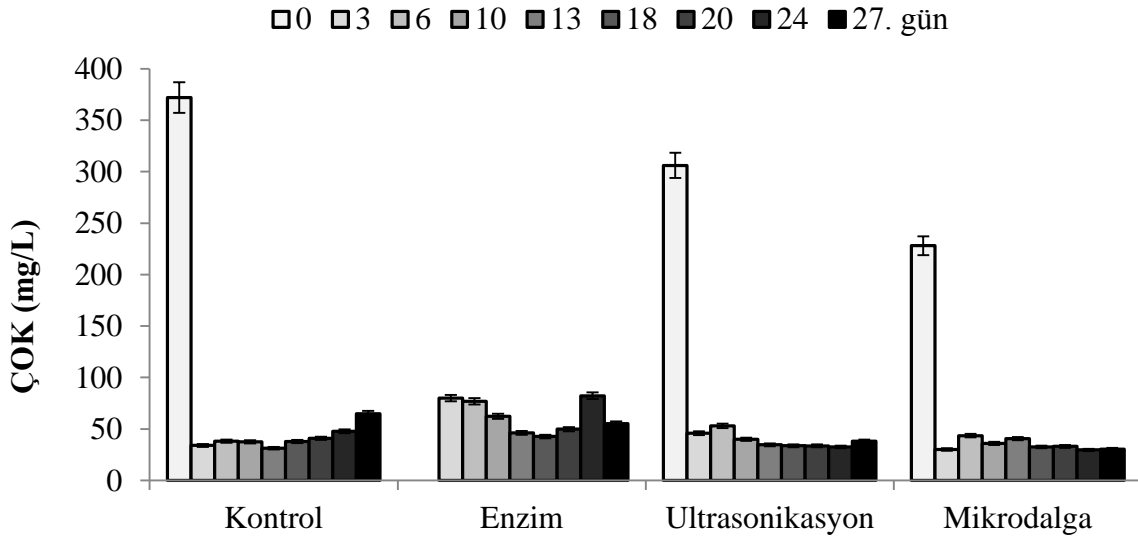


Şekil 9.180 : Elazığ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Süresince Zamana Bağlı UAKM Konsantrasyonu Değişimi

Aerobik stabilizasyonunda elde edilen UAKM parametresi incelendiğinde (Şekil 9.180) kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneyleri için %46, %57, %44 ve %51 giderim verimleri elde edilmiştir. Uçucu katı madde giderimi açısından en yüksek giderim verimi enzimin eklenmesi ile elde edilmiştir. Ultrasonikasyon dezentegrasyon yönteminin aerobik stabilizasyonda UAKM parametresi üzerinde etkisi gözlenmemiş olup mikrodalga dezentegrasyonu UAKM giderim verimini artırmıştır. Aerobik stabilizasyon çalışmalarında paralel yürütülen çözülmüş KOİ (ÇKOİ) ölçümlerinden anlaşıldığı gibi (Şekil 9.181) KOİ konsantrasyonu, kontrol, ve enzim deneyleri sonunda sırası ile 160 mg/L ve 185 mg/L seviyelerine ulaşmıştır. Öte yandan, ultrasonikasyon ve mikrodalga uygulamasında ÇKOİ seviyesi 100 mg/L seviyesinde kalmıştır. ÇKOİ deneylerine paralel olarak Çözülmüş Organik Karbon (ÇOK) ölçümleri aerobik stabilizasyonun sonunda kontrol ve enzim deneylerinde 55-65 mg/L mertebesinde kalmış olup, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneylerinde 30-40 mg/L seviyelerinde kalmıştır (Şekil 9.182).

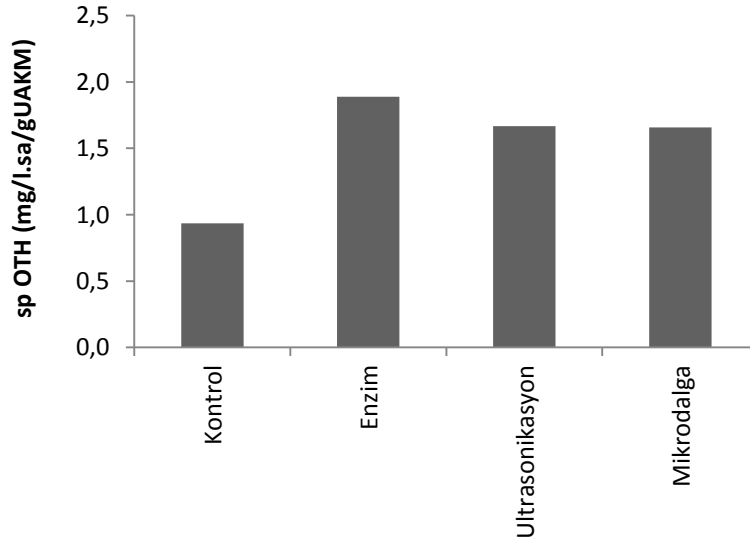


Şekil 9.181 : Elazığ AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı ÇKOİ konsantrasyonu değişimi



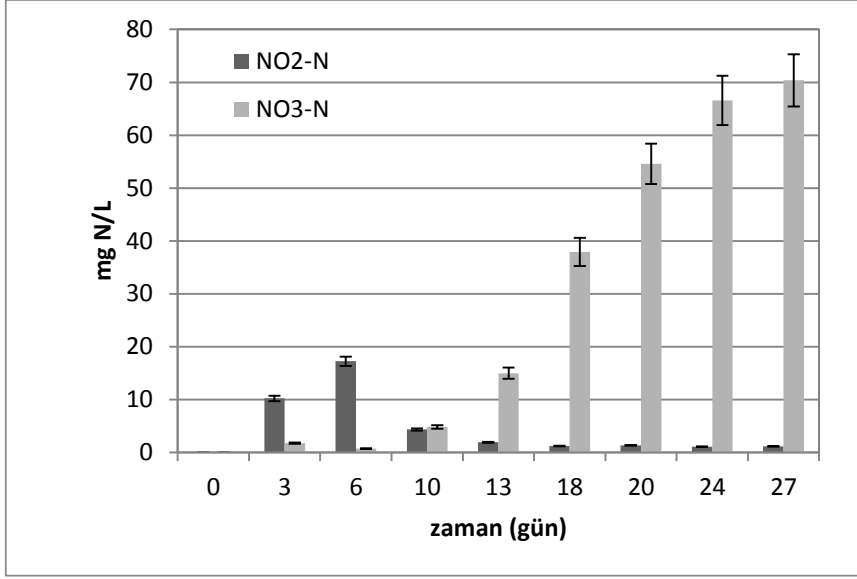
Şekil 9.182 : Elazığ AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı ÇOK konsantrasyonu değişimi

Yürütülen tüm setler için aerobik stabilizasyon deneyi sonucunda biyokütle aktivitesini ölçmek için spesifik oksijen tüketim hızı (spOTH) ölçülmüştür (Şekil 9.183). Buna göre aerobik stabilizasyon sonunda spOTH değerleri kontrol için 0,9 mg/L/saat/UAKM, enzim için 1,9 mg/L/saat/UAKM, ultrasonikasyon için 1,7 mg/L/saat/UAKM ve mikrodalga deneyleri için 1,7 mg/L/saat/UAKM olarak ölçülmüştür. Buna göre kontrol reaktöründe spOTH parametresi dezentegrasyon uygulanan sistemlere göre daha düşük seviyede ölçülmüştür.

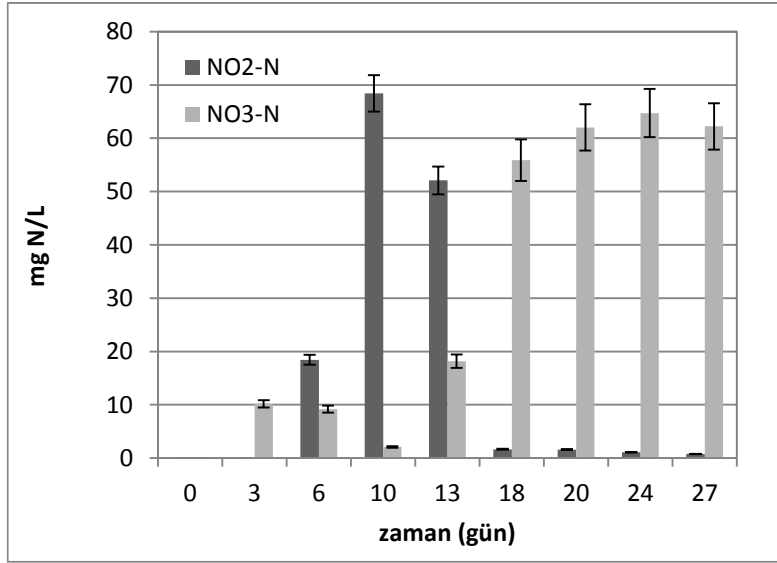


Şekil 9.183 : Elazığ AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Sonunda Ölçülen Spesifik Oksijen Tüketim Hızı

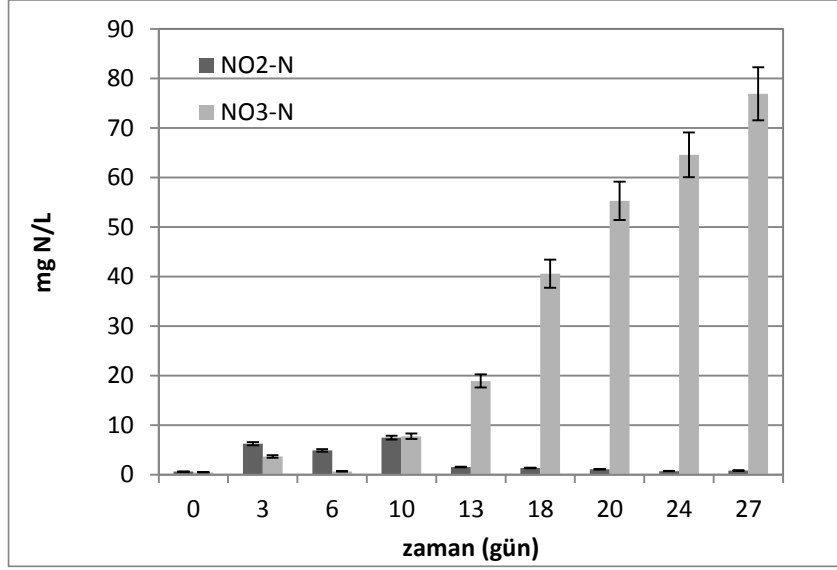
Stabilizasyon süresi boyunca kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde nitrit ve nitrat konsantrasyonlarındaki değişimler sırasıyla Şekil 9.184, Şekil 9.185, Şekil 9.186 ve Şekil 9.187’te verilmiştir. Elazığ atıksu arıtma tesisinden alınan numunelerle kurulan reaktörlerde, ilk gün nitrit ve nitrat konsantrasyonları tüm reaktörlerde <1mg/L olarak ölçülmüştür. Stabilizasyon sonunda ölçülen nitrit konsantrasyonları da yaklaşık olarak 1-2 mg/L mertebesindedir. Nitrat konsantrasyonu ise reaktörlere göre değişmekte olup kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde sırasıyla, 70 mg/L, 62 mg/L, 77 mg/L ve 40 mg/L olarak ölçülmüştür.



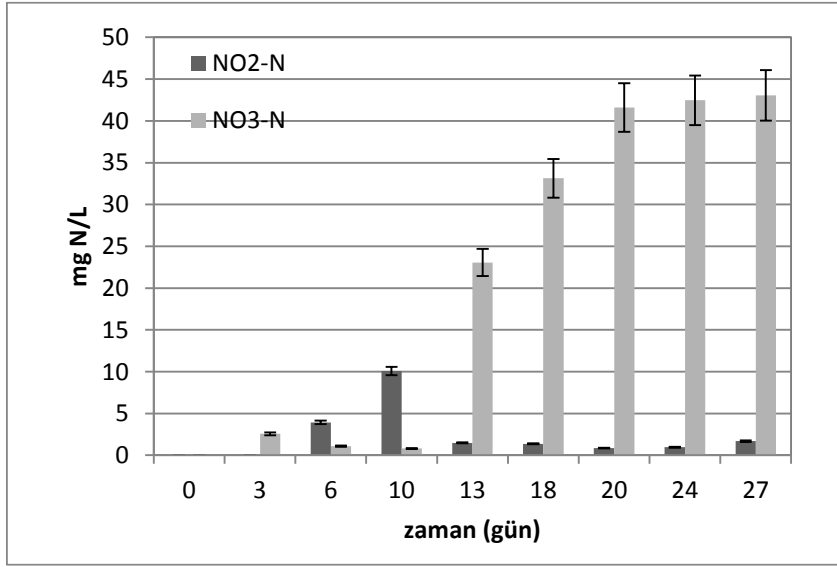
Şekil 9.184 : Elazığ AAT Numuneleri, Kontrol Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.185: Elazığ AAT Numuneleri, Enzim Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.186: Elazığ AAT Numuneleri, Ultrasonikasyon Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi



Şekil 9.187: Elazığ AAT Numuneleri, Mikrodalga Reaktörü İçin Nitrit ve Nitrat Konsantrasyonlarının Zamana Bağlı Değişimi

Numunelerde ilk ve son gün ölçülmüş olan TKN ve $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri incelendiğinde, kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde TKN değeri toplamda sırasıyla %82, %78, %78 ve %73 azalmıştır. $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu ise stabilizasyon sonunda bütün reaktörlerde ölçülebilir limitin altına inmiştir.

Elazığ numunelerinde bütün numunelerde son gün fosfat konsantrasyonları başlanıca göre daha düşmüş olup, bu düşüş kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde sırasıyla %20, % 52, % 54 ve %73 olarak hesaplanmıştır.

9.3.2.5.Ankara Atıksu Arıtma Tesisi

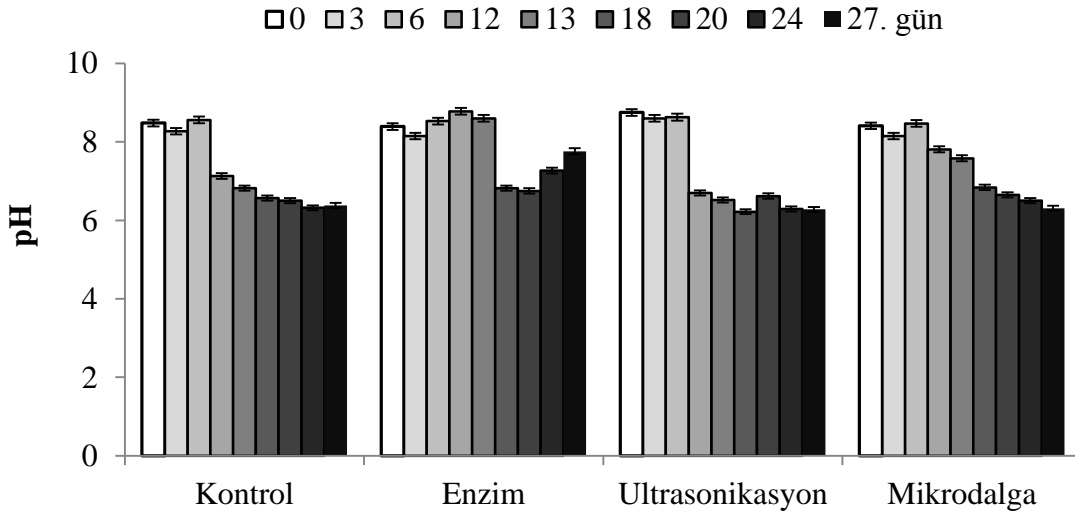
Ankara atıksu tesisinden alınan çamur numuneleri üzerinde stabilizasyon çalışmaları 27 gün boyunca sürdürülmüş olup çeşitli parametreler için ilk ve son gün ölçülmüş olan değerler Tablo 9.141’de sunulmaktadır.

Tablo 9.141 : Ankara aerobik stabilizasyon reaktörlerinde ölçülmüş çeşitli parametreler

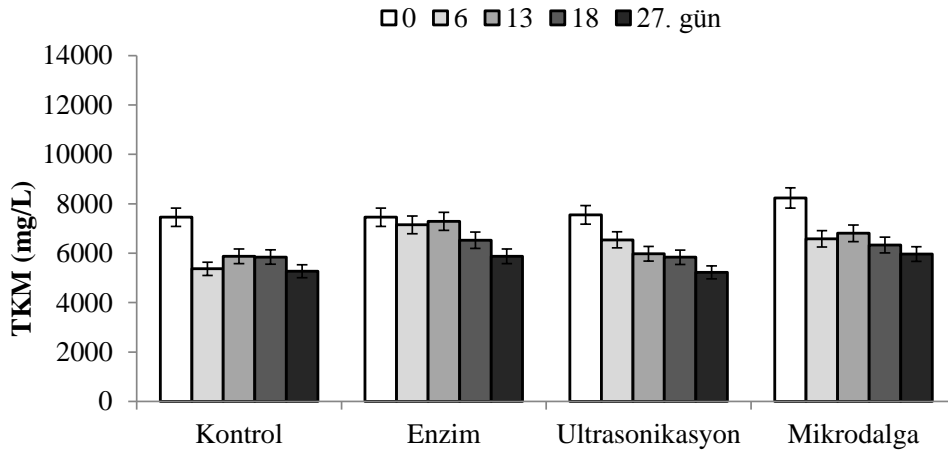
Parametre	Kontrol		Enzim		Ultrasonikasyon		Mikrodalga	
	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün	0. gün	27. gün
pH	8,48	6,38	8,39	7,76	8,75	6,28	8,41	6,31
İletkenlik (µS/cm)	2210	1840	-	2260	2380	1960	2450	1720
Tuzluluk (%)	1,13	0,94	-	1,16	1,22	1,0	1,26	0,87
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	1900	35	1900	90	1960	40	1960	100
TKM (mg/L)	7455	5270	7455	5875	7555	5225	8240	5965
TUKM (mg/L)	4110	2250	4110	1965	3905	2040	4164	2100
AKM (mg/L)	6950	4950	6950	4410	6825	5180	7175	4850
UAKM (mg/L)	3900	2200	3900	1960	3750	2040	3875	2080
KOİ (mg/L)	8280	1975	12680	2550	9450	2050	11160	2800
ÇKOİ (mg/L)	414	266	4382	305	652	343	876	300
TKN (mg/L)	300	134	300	148	300	140	300	175
NH ₄ -N (mg/L)	51	123	51	<5	81	120	78	21
TP (mg/L)	110	-	110	-	110	-	110	-
ÇP (mg/L)	24	46	24	13	24	24	24	23
PO ₄ -P (mg/L)	15	24	15	13	19	17	18	24

Stabilizasyon süresince zamana bağlı olarak pH, TKM, TUKM, AKM ve UAKM parametrelerindeki değişimler sırasıyla Şekil 9.188, Şekil 9.189, Şekil 9.190, Şekil 9.191 ve Şekil 9.192’de verilmiştir. TKM parametresi dikkate alındığında (Şekil 9.189), kontrol reaktöründe stabilizasyon süresi sonunda % 29 oranında giderim verimi elde edilmiş olup bu sonuç herhangi bir dezentegrasyon işlemi uygulanmadan, aerobik stabilizasyon sonunda çamurun kütlelerinin ortalama % 29 oranında azalacağını belirtmektedir. Dezentegrasyon yöntemlerinden enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemleri uygulandığında ise sırası ile % 21, % 31 ve % 28 oranında giderim verimleri ölçülmüştür. Aerobik stabilizasyon prosesinde dezentegrasyonun uygulanmasının çamur kütlesi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucu çıkartılabilir. Benzer şekilde TUKM parametreleri giderim verimleri incelendiğinde (Şekil

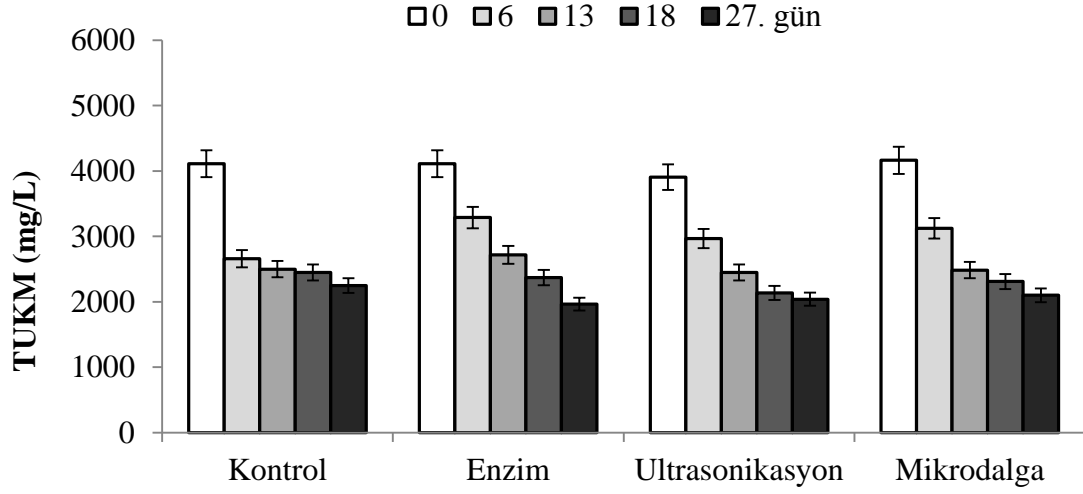
9.190) kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga işlemlerinde % 45, % 52, % 48 ve % 50 değerleri elde edilmiştir.



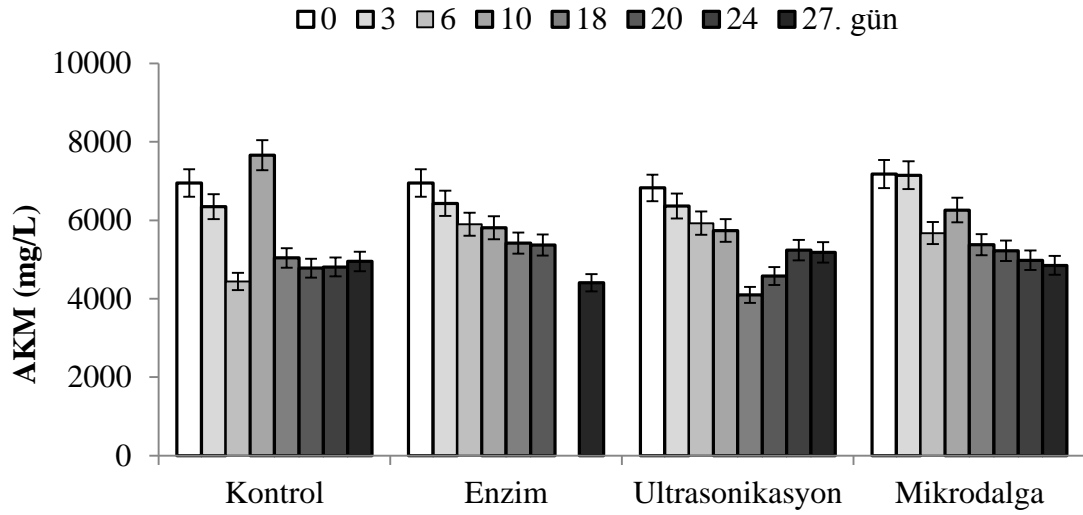
Şekil 9.188: Ankara AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı pH değişimi



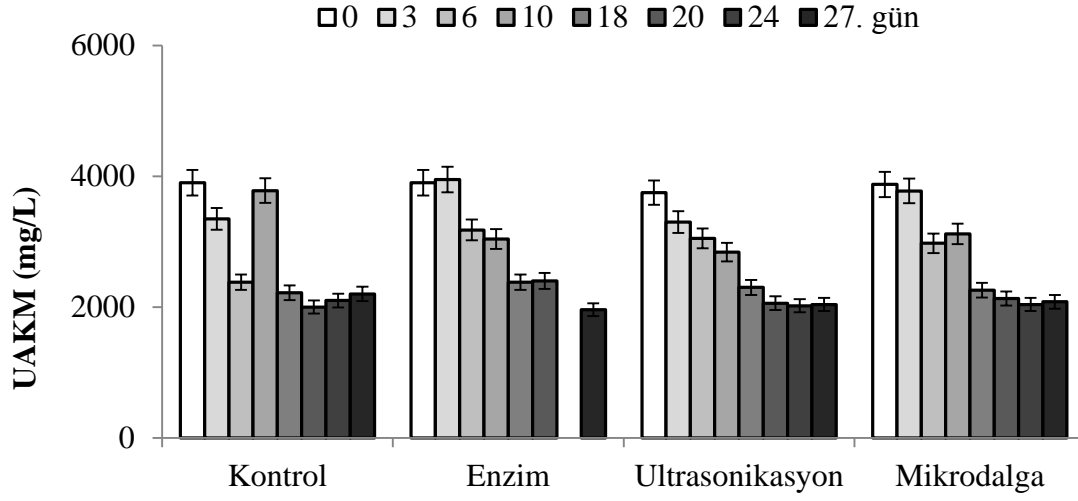
Şekil 9.189: Ankara AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana Bağlı TKM konsantrasyonu değişimi



Şekil 9.190: Ankara AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana Bağlı TUKM konsantrasyonu değişimi

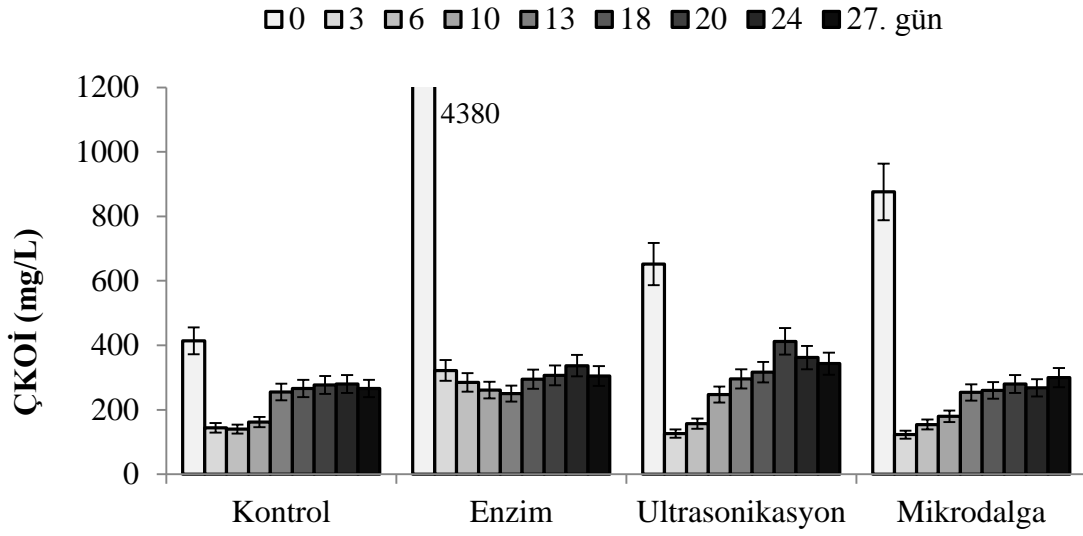


Şekil 9.191: Ankara AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı AKM konsantrasyonu değişimi

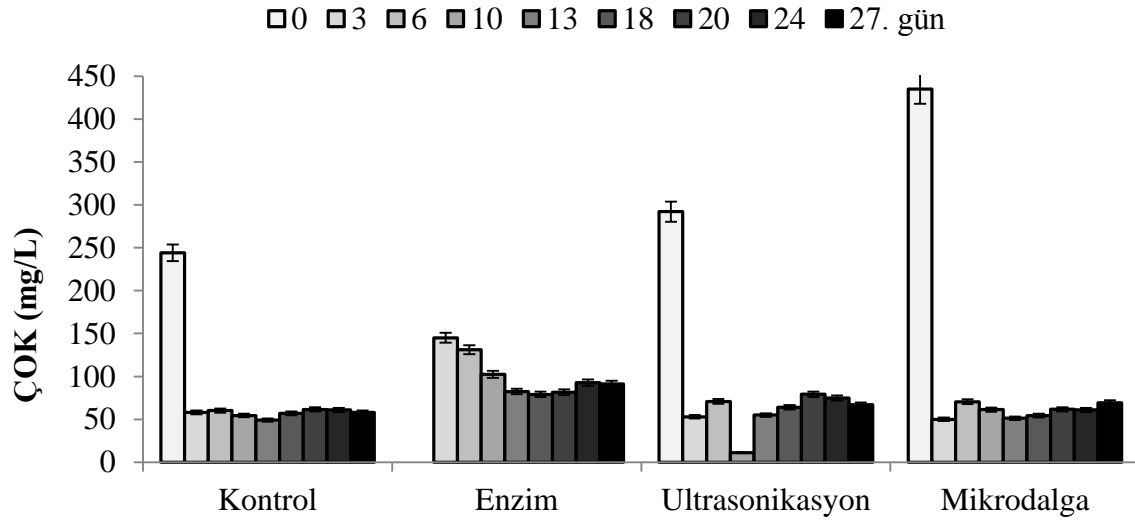


Şekil 9.192: Ankara AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı UAKM konsantrasyonu değişimi

Ankara arıtma tesisi çamurları aerobik stabilizasyonunda elde edilen UAKM parametresi (Şekil 9.192) incelendiğinde kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneyleri için %44, %50, %46 ve %46 giderim verimleri elde edilmiştir. Dolayısı ile yukarıda bahsedildiği şekilde katı madde giderimi açısından dezentegrasyon yöntemlerinin belirgin bir etkisi görülmemiştir. Aerobik stabilizasyon çalışmalarında paralel yürütülen çözünmüş KOİ (ÇKOİ) ölçümlerinden anlaşıldığı üzere (Şekil 9.193) KOİ konsantrasyonu stabilizasyon sonunda 300-350 mg/L seviyelerine ulaşmıştır. Benzer şekilde Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) ölçümleri aerobik stabilizasyonun sonunda kontrol deneyinde 60 mg/L, ultrasonikasyon ve mikrodalga deneylerinde 70 mg/L mertebesinde kalmış olup, enzim deneylerinde 90 mg/L değerine ulaşmıştır (Şekil 9.194).

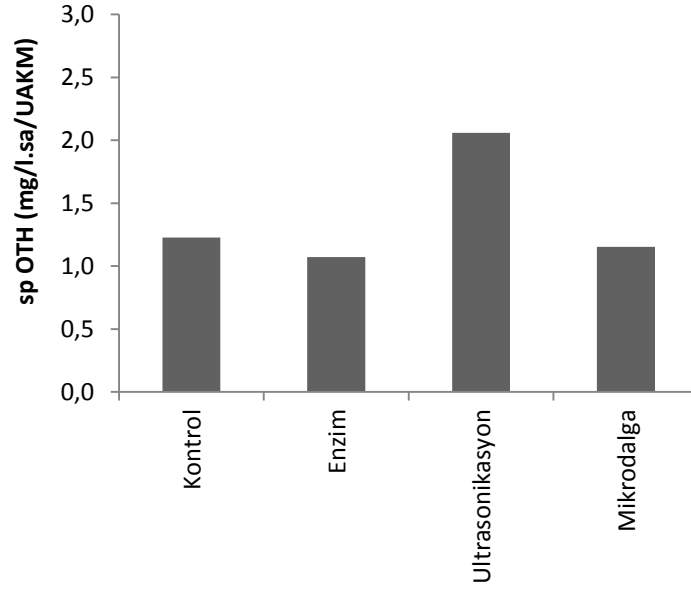


Şekil 9.193: Ankara AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana bağlı ÇKOİ konsantrasyonu değişimi



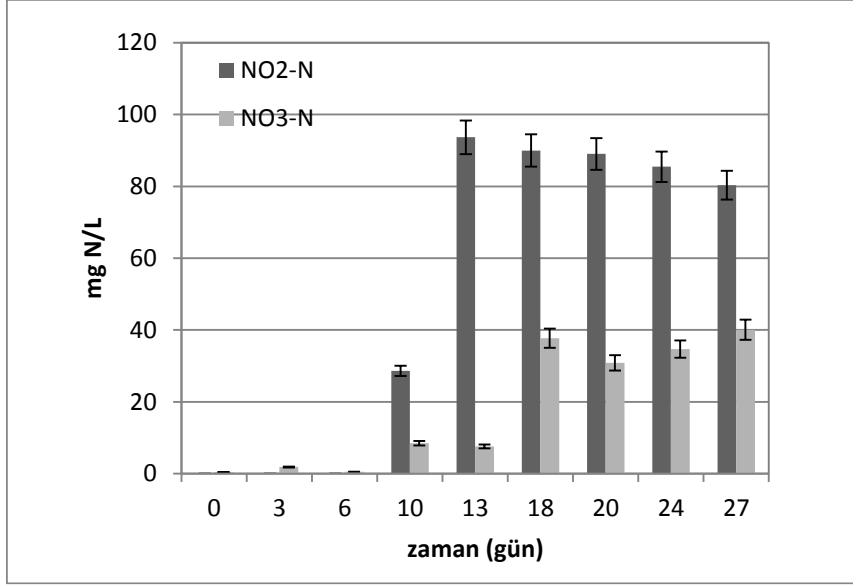
Şekil 9.194: Ankara AAT numuneleri için stabilizasyon süresince zamana Bağlı ÇOK konsantrasyonu değişimi

Yürütülen tüm setler için aerobik stabilizasyon deneyi sonucunda biyokütle aktivitesini ölçmek için spesifik oksijen tüketim hızı (spOTH) ölçülmüştür (Şekil 9.195). Spesifik oksijen tüketim hızı birim çamur başına saatte harcanan oksijen miktarıdır. Buna göre aerobik stabilizasyon sonunda spOTH değerleri kontrol için 1,2 mg/L/saat/UAKM, enzim için 1,1 mg/L/saat/UAKM, ultrasonikasyon için 2,1 mg/L/saat/UAKM ve mikrodalga deneyleri için 1,2 mg/L/saat/UAKM olarak ölçülmüştür. Buna göre ultrasonikasyon uygulanan numunede spOTH parametresi diğer yöntemlere göre en yüksek seviyede bulunmuştur.

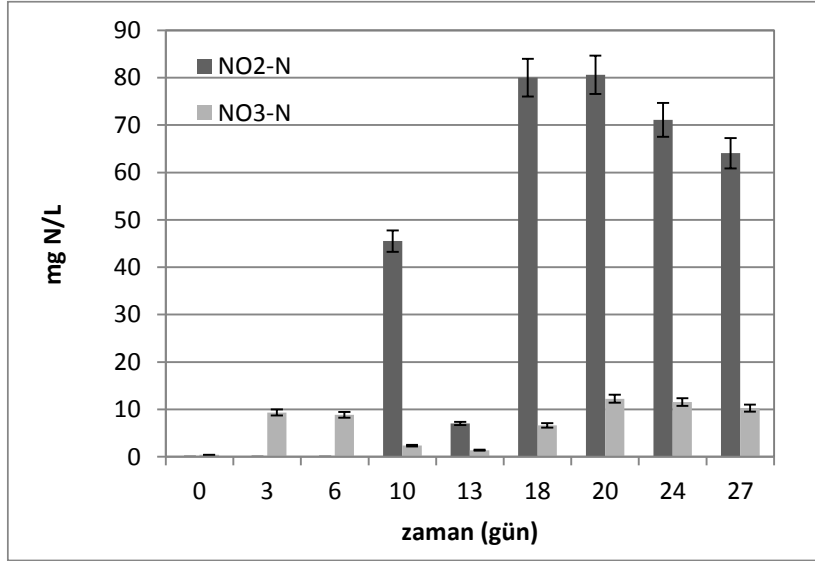


Şekil 9.195 : Ankara AAT Numuneleri İçin Stabilizasyon Sonunda Ölçülen Spesifik Oksijen Tüketim Hızı

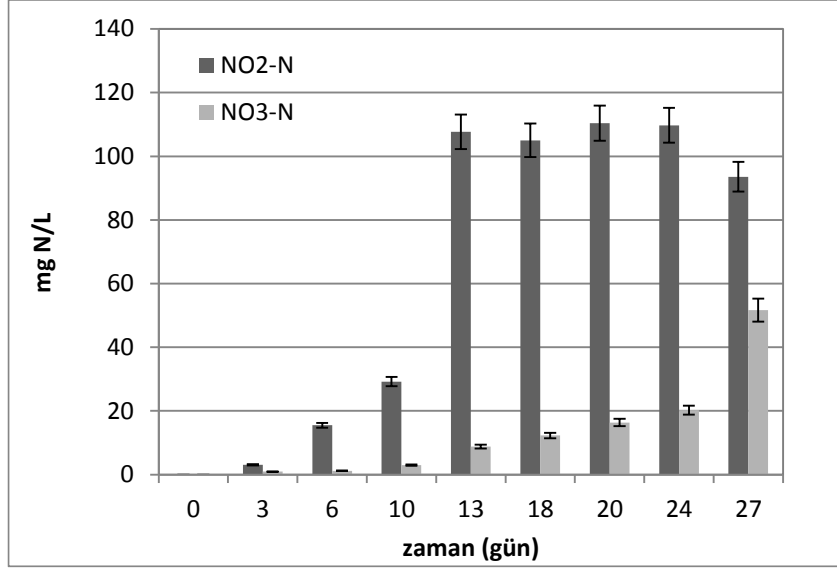
Stabilizasyon süresi boyunca kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde nitrit ve nitrat konsantrasyonlarındaki değişimler sırasıyla Şekil 9.196, Şekil 9.197, Şekil 9.198 ve Şekil 9.199’te verilmiştir. Ankara atıksu arıtma tesisinden alınan numunelerle kurulan reaktörlerde, ilk gün nitrit ve nitrat konsantrasyonları bütün numunelerde 1 mg/L’nin altında kalmıştır. Stabilizasyon sonunda ölçülen nitrat konsantrasyonları Ankara AAT’den alınan numuneler ile kurulan bütün reaktörlerde nitrit konsantrasyonlarından daha düşük olup bu durum nitrifikasyonun ikinci adımının yeterince hızlı olmadığını göstermektedir. Son gün nitrit konsantrasyonları enzim reaktörü dışında bütün reaktörlerde 80-90 mg/L değerinde iken, enzim reaktöründeki deney sonunda nitrit konsantrasyonu 64 mg/L’dir. Nitrat konsantrasyonları da reaktörlere göre değişmekte olup deney sonunda nitrat konsantrasyonları, kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde sırasıyla 40, 20, 52 ve 10 mg/L olarak ölçülmüştür. Diğer üç reaktörden farklı olarak enzim reaktöründe nitrat konsantrasyonu stabilizasyon süresince önce artıp sonra bir miktar azalmış olup, bu azalmanın -her ne kadar havalandırma yapılmış olsa dahi - bölgesel olarak gerçekleşen denitrifikasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir.



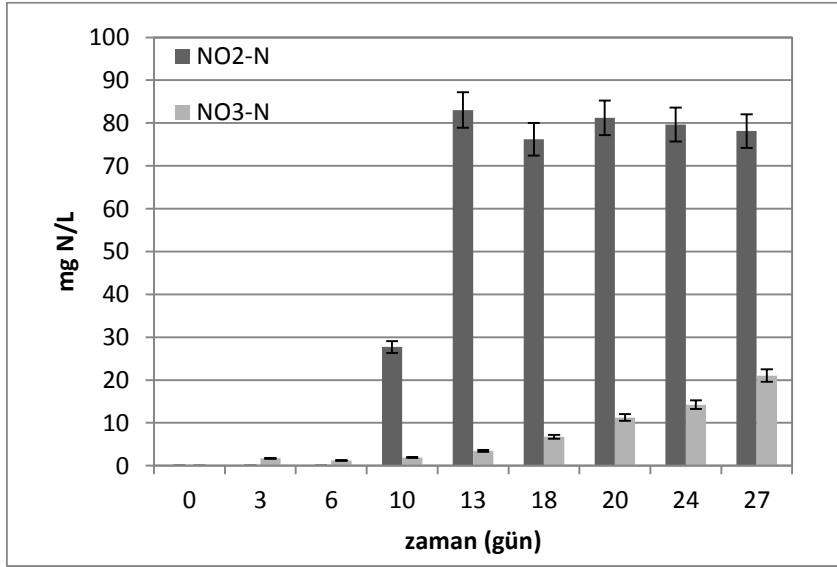
Şekil 9.196: Ankara AAT numuneleri, kontrol reaktörü için Nitrit ve Nitrat konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 9.197: Ankara AAT numuneleri, enzim reaktörü için Nitrit ve Nitrat konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 9.198: Ankara AAT Numuneleri, ultrasonikasyon reaktörü için Nitrit ve Nitrat konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 9.199: Ankara AAT numuneleri, mikrodalga reaktörü için Nitrit ve Nitrat konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

Numunelerde deney başlangıcı ve sonu ölçülmüş olan TKN ve $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri incelendiğinde, kontrol, enzim, ultrasonikasyon ve mikrodalga reaktörlerinde TKN değeri toplamda sırasıyla %55, %51, %53 ve %42 oranında azalmıştır. $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu ise kontrol ve ultrasonikasyon reaktörlerinde sırasıyla %140 ve %48 mertebesinde artmış, mikrodalga

reaktöründe ise %73 oranında azalmıştır. Enzim reaktöründe de son gün $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu ölçüm limitinin altında kalmıştır.

Reaktörlerde ilk gün ölçülen yüksek fosfat konsantrasyonlarının atıksu arıtma çamurlarından transferi sırasında anaerobik koşullardan dolayı fosfat salınımını işaret ettiği düşünülmektedir. Reaktörlerde ayrıca hidroliz sonucunda fosfat konsantrasyonunun artması beklenmektedir. Bu artış, Ankara numunelerinde kontrol ve mikrodalga reaktörlerinde gözlenmiş olup sırasıyla %60 ve % 33 olarak hesaplanmıştır. Enzim ve ultrasonikasyon reaktörlerinde ise fosfat konsantrasyonlarında ilk güne kıyasla yaklaşık olarak % 10 oranında azalma gözlenmiştir.

9.3.3. Anaerobik Stabilizasyon Uygulamaları

İTÜ Proje Grubu tarafından, anaerobik stabilizasyon çalışmaları **İç Anadolu Bölgesi**'nde Ankara (Tatlar) Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) ve Nevşehir Atıksu Arıtma Tesisi (evsel); **Güneydoğu Anadolu Bölgesi**'nde GASKİ-1 Atıksu Arıtma Tesisi (kentsel) ve **Doğu Anadolu Bölgesi**'nde Elazığ Atıksu Arıtma Tesisi'nden (kentsel) temin edilen kentsel ve evsel nitelikli çamur örnekleriyle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle IP8'de belirlenen en uygun minimizasyon yöntemleri kullanılarak son çökeltme çamurları ön işleme tabi tutulduktan sonra laboratuvar ölçekli sistemler kullanılarak anaerobik stabilizasyon çalışmaları yürütülmüştür.

9.3.3.1. Materyal ve Yöntem

Laboratuvar Ölçekli Kesikli Anaerobik Reaktörler

Anaerobik stabilizasyon deneyleri 3 litre toplam hacime ve 2 litre sıvı hacmine sahip olacak şekilde özel olarak tasarlanmış cam reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Reaktörlerin tamamen havasız olarak işletilebilmesi amacıyla reaktörler gaz geçirmeyecek şekilde kauçuk tıplar ile kapatılmış ve ağızları bu kauçuk tıpanın atmasını engellemek amacıyla alüminyum kelepçe ile sabitlenmiştir. Bu tıplar vasıtasıyla reaktörlerde oluşan gaz basıncı manometre yardımı ile ölçülmüş ve yine fazla gaz bu tıpayı batırılan iğne yardımıyla reaktörden boşatılmıştır. Reaktörlerde gaz sızdırmasının olup olmadığını test etmek üzere reaktörler işletmeye alınmadan önce su ile doldurulan reaktörler N_2 gazı ile basınçlandırılarak iki gün gözlenmiş ve manometre ile gaz basıncı takibi yapılmış ve herhangi bir gaz kaçağı olmadığı görüldükten sonra cam reaktörler işletilmeye başlanmıştır. Reaktörler günde dört kez elle karıştırılmıştır. Reaktörler kesikli olarak havasız şartlarda ve 37°C sabit sıcaklık odasında mezofilik şartlarda işletilmiştir.

9.3.3.2. Analitik Yöntemler

Anaerobik stabilizasyon deneylerine arıtma tesislerinden gelen çamurlarda AKM, UAKM, TKM ve TUKM değerlerinin belirlenmesinin hemen akabinde başlanmış ve reaktörler yaklaşık 30 gün süresince izlenmiştir. Reaktörde giderim performansının değerlendirilmesi amacıyla deneyin başlangıç anında ve deney sonunda pH, Toplam KOİ (TKOİ), Çözünmüş KOİ (ÇKOİ), TKM, TUKM, AKM, UAKM, tuzluluk, iletkenlik, alkalinite, NH₄-N parametreleri analiz edilmiştir. Reaktörlerde aynı zamanda mikrobiyolojik parametrelerin stabilizasyon başında ve sonundaki miktarları belirlenmiştir. Buna ilaveten stabilizasyon esnasında reaktörde oluşan toplam biyogaz miktarı ve kompozisyonu düzenli olarak izlenmiştir.

Reaktörlerde üretilen biyogaz 5 mbar-7000 mbar aralığında ölçüm hassasiyetine sahip Lutron PM-9107 marka (Lutron Electronic Enterprise, Tayvan) manometre (Şekil 9.200) yardımıyla sabah ve akşam olmak üzere günde iki defa düzenli olarak izlenmiştir.



Şekil 9.200 : Reaktörlerde oluşan gaz ölçümü için kullanılan manometre

Reaktörlerde oluşan toplam gaz miktarlarının belirlenmesi amacıyla manometre yardımı ile ölçülen basınç değerleri Eşitlik 1'de verilen ideal gaz kanunu yardımı ile hacme çevrilmiştir.

$$PV_b = nRT \quad (1)$$

Burada;

P; reaktörde ölçülen basınç (milibar)

V_b ; reaktördeki boşluk hacmi (L)

n ; oluşan gazın mol sayısı (mol)

R ; Gaz sabiti (0.0832 L bar/K mol)

T ; Sıcaklık (37°C; 310.15 K)

ifade etmektedir.

Reaktörde oluşacak olan gazın mol sayısı belirlendikten sonra, 1 mol gazın standart koşullarda (0°C, 1 atm basınç) 22.4 L hacim kapladığı için bu değer 37 °C’de 25.44 L olacak şekilde yapılan hesaplama neticesinde oluşan gaz miktarı belirlenmiştir.

Reaktörlerdeki gaz kompozisyonu (CH_4 , CO_2) Termal Kondaktivite Dedektörlü (TCD) Gaz kromatograf (HP 5890) yardımıyla belirlenmiştir.

9.3.3.3. Aşı Çamuru ve Özellikleri

Çalışmada kullanılan havasız reaktörler, Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi (AAT)’nin ön-çökeltim çamurunun çürütüldüğü havasız reaktör çıkışından alınan çamur ile aşılanmıştır ($v/v = 1/3$). Kayseri İli Türkiye’nin Orta Anadolu (merkez) bölgesinde yer alır ve nüfusu yaklaşık 1 milyon kişidir. İki kademeli olarak inşa edilen Kayseri AAT, Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) tarafından 2004 yılından beri işletilmektedir. İlk kademe eşdeğer nüfusu 800,000 olan, sıcak ve yağışsız iklimde ortalama 110,000 m³/gün’lük bir debiye hizmet vermektedir. Kayseri AAT’de biyolojik besi maddesi giderim prosesinin de yer aldığı bir aktif çamur sistemi bulunmaktadır. Yoğunlaştırılmış ön-çökeltim çamurunun beslendiği mezofilik (35°C) anaerobik çürütücünün efektif hacmi 6,750 m³, günlük metan debisi ise 4370 m³’dür. Üretilen biyogaz tesiste bulunan iki adet kojenerasyon biriminde kullanılmaktadır (her biri 400 kW gücünde). Tesiste enerji üretimi 12700 kW-sa/gün olarak verilmektedir. Çürütülmüş çamur daha sonra ikinci bir yoğunlaştırıcıya beslenmektedir. Burada yoğunlaşan çamur ile aktif çamurun fazlası bir çamur karıştırma tankında karıştırılarak polielektrolit ile kimyasal olarak şartlandırılarak belt-filtrede susuzlaştırılmaktadır. Aşı çamuruna ait karakterizasyon Tablo 9.142’te gösterilmektedir.

Tablo 9.142 : Aşı Çamurunun Karakterizasyonu

Parametre	Birim	Değer
TKM içeriği	%	6,6
TKM	mg/L	65950
TUKM	mg/L	30430
TUKM/TKM	-	0,45
AKM	mg/L	64265
UAKM	mg/L	29375
UAKM/AKM	-	0,46
TKOİ	mg/L	41450
ÇKOİ	mg/L	1280
TKN	mg/L	1900
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	1470
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	0,55
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	≤0.3
TP	mg/L	463
PO ₄ ⁻³ -P	mg/L	14,5
SO ₄ ⁻²	mg/L	5,1
Cl ⁻	mg/L	134
Özgül Filtre Direnci (ÖFD)	m/kg	7,7x10 ¹³
Çamur kompaktivite	%	15,85
Kapiler Emme Süresi (KES)	sn	1390
Alkalinite (CaCO ₃ olarak)	mg/L	5140
pH	-	7,94
İletkenlik	mS/cm	8,03
Tuzluluk	‰	4,46
TC	kob/100mL	2,50E+06
<i>E.coli</i>	kob/100mL	7,00E+05
FS	kob/100mL	1,80E+06

9.3.3.4. Anaerobik Reaktörlerin Kurulumu

Anaerobik stabilizasyon deneyleri kapsamında minimizasyon yöntemlerinden İP 8’de belirlenmiş olan ve literatürdeki verilere göre yaygın olarak kullanıldığı bilinen ultrasonikasyon ve mikrodalga yönteminin ve enzim ilavesinin anaerobik stabilizasyona etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, Nevşehir, GASKİ, Elazığ ve Ankara Atıksu Arıtma Tesisleri’nden (AAT) alınan çamur numuneleri ile her atıksu arıtma tesisi için dört adet (kontrol, enzim ilaveli reaktör (enzim), bir kısmı ultrasonikasyona tabi tutulmuş reaktör (ultrasonikasyon), bir kısmı mikrodalgada işlem görmüş reaktör (mikrodalga) ve bir tanesi de sadece aşı olmak üzere toplam 17 adet anaerobik reaktör kurulmuştur.

Reaktörlerin kurulumu, numunenin alındığı tesislerdeki çamur tür ve oluşan miktarı göz önünde tutularak hazırlanmıştır. Enzim reaktörü belli bir miktar enzim ilave edilmiş çamuru temsil etmekte iken, mikrodalga ve ultrasonikasyon reaktörleri son çökeltme çamurunun farklı

minimizasyon yöntemlerine tabii tutulması ile oluşturulmuştur. Her bir çamur numunesi için işletilen reaktörlerden bir tanesi kontrol reaktörü olarak ayrılmış ve bu reaktörde hiçbir minimizasyon işlemi uygulanmamıştır. Mikrodalga ve ultrasonifikasyon dezentegrasyon işlemleri son çökeltme çamurunun hacimsel olarak %25'lik kısmına uygulanmıştır. Enzim eklemesi yapılan reaktörlere hacimsel olarak %0.5 olacak şekilde enzim karışımı ilave edilmiştir. Çamur alınan arıtma tesisinin yapısına göre kontrol çamurlarının oluşturulmasında farklı çamur çeşitleri kullanılmış olup veriler Tablo 9.143'da özetlenmektedir.

Tablo 9.143 : Reaktörlerin kurulumunda kullanılan çamur oranları

Çamur Numunesi	Açıklama	Aşı Çamuru (ml)	Ön Çökeltme Çamuru (ml)	Son Çökeltme Çamuru (ml)	Mikrodalga uygulanmış dezentegre çamur (ml)	Ultrasonikasyon uygulanmış dezentegre çamur (ml)	Enzim (ml)
ANKARA	Kontrol	500	675	825	-	-	-
	Enzim	500	675	825	-	-	10
	Ultrasonikasyon	500	675	619	-	206	-
	Mikrodalga	500	675	619	206	-	-
GASKİ	Kontrol	500	630	870	-	-	-
	Enzim	500	630	870	-	-	10
	Ultrasonikasyon	500	630	652	-	218	-
	Mikrodalga	500	630	652	218	-	-
ELAZIĞ	Kontrol	500	375	1125	-	-	-
	Enzim	500	375	1125	-	-	10
	Ultrason	500	375	844	-	281	-
	Mikrodalga	500	375	844	281	-	-
NEVŞEHİR	Kontrol	500	-	1500	-	-	-
	Enzim	500	-	1500	-	-	10
	Ultrasonikasyon	500	-	1125	-	375	-
	Mikrodalga	500	-	1125	375	-	-

Reaktörlerin kurulumu öncesinde toplam katı madde oranı yaklaşık %2,5-4 aralığında olacak şekilde arıtma tesislerinden alınan ön çökeltme ve son çökeltme çamurları öncelikli olarak çökeltilerek yoğunlaştırılmış ve her bir reaktörde aşı/substrat oranı hacimsel olarak 1/3 olacak şekilde sabit tutularak reaktörler kurulmuştur. Reaktörlere beslenen çamurların karışım oranlarının hesabında mevcut arıtma tesisindeki önçökeltme ve son çökeltme ünitelerinden oluşan çamur miktarları oranı göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda ön çökeltme tankı mevcut olan arıtma tesislerinden alınan ön çökeltme ve son çökeltme çamur örnekleri tesiste oluşan çamur miktarları oranında karıştırılarak reaktörler kurulmuştur.

9.3.3.5.Deneysel Sonuçlar ve Değerlendirme

pH ve Alkalinite Değişimleri

Anaerobik sistemlerde kararlılığın en önemli göstergelerinden biri olan pH, havasız arıtmada temel proses kontrol parametrelerinden biridir. Havasız reaktör içersinde meydana gelen pH değişiminin metan üretimindeki reaksiyonlara önemli etkileri bulunmaktadır. Metan gazının, hidrojen veya asetik asit kullanılarak, üretimi pH değişimi ile farklılık gösterir. Metanojenlerin optimum pH aralığı 6,5-8,2 olarak verilmektedir. pH 8 değerinden yüksek olursa, ortamdaki serbest amonyak miktarıyla ilişkili olarak aktivite aniden düşer. $pH < 5,5$ halinde ise hem metan, hem de asit bakterileri inhibisyona uğrarlar. pH ile ilişkili olarak proses kontrol parametrelerinden önemli olan bir diğer parametre de alkalinitedir. Çalışmada kullanılan anaerobik reaktörlerde işletme süresince gözlenen pH ve alkalinite değişimleri Tablo 9.144'de verilmiştir. Anaerobik stabilizasyon çalışması sonunda, GASKİ ve Elazığ AAT'lerden alınan çamur numunelerinde pH değerlerinde artış gözlenirken; Ankara ve Nevşehir AAT'lerden alınan çamur numunelerinde pH değerleri aynı seviyelerde kalmıştır. pH aralığı tüm reaktörlerde stabilizasyon öncesinde 6,4-7,6 olarak elde edilirken; stabilizasyon sonunda bu aralık 7,2-7,5 olarak gözlenmiştir. Böylece, metanojenler için optimum pH olan 6,5-8,2 aralığına uygun değerler elde edilmiş ve reaktörlerde pH'a bağlı olarak herhangi bir inhibisyon gözlenmemiştir. Alkalinite göz önüne alındığında ise; havasız ürütme sonunda tüm reaktörlerde beklenildiği üzere bir artış gözlenmiştir.

Tablo 9.144 : Anaerobik reaktörlerde gözlenen pH ve Alkalinite değişimleri

Reaktör		pH		Alkalinite	
		-		mg CaCO ₃ /L	
		Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası
GASKİ	Kontrol	6,72	7,38	2120	4360
	Enzim	6,72	7,51	2120	4780
	Ultrasonikasyon	6,65	7,42	2240	4480
	Mikrodalga	6,91	7,43	2240	4500
ELAZIĞ	Kontrol	6,48	7,29	2620	4640
	Enzim	6,48	7,25	2620	4320
	Ultrasonikasyon	6,40	7,40	2360	4120
	Mikrodalga	6,49	7,30	2380	4140
ANKARA	Kontrol	7,52	7,27	1960	2760
	Enzim	7,52	7,31	1960	3000
	Ultrasonikasyon	7,35	7,23	1980	2780
	Mikrodalga	7,47	7,27	1900	2820
NEVŞEHİR	Kontrol	7,64	7,16	1700	3420
	Enzim	7,64	7,34	1700	3580
	Ultrasonikasyon	7,25	7,25	1720	3500
	Mikrodalga	7,22	7,23	1740	3480

Toplam ve Çözünmüş KOİ Değişimleri

Anaerobik stabilizasyon sonrasında toplam ve çözünmüş KOİ parametrelerindeki giderim profili Tablo 9.145’de gösterilmektedir. Havasız reaktörlerde her iki KOİ parametresinde uygulanan stabilizasyon süresi sonunda giderim gözlenmiştir. Partikül maddelerin çözünmesi ve asidifikasyon neticesinde artan ÇKOİ stabilizasyon süresinin sonunda önemli oranda giderilmektedir. Çalışmada kullanılan tüm çamur numunelerinin herhangi bir ön işlem uygulanmamış kontrol reaktörlerinde, 30 gün süreli anaerobik stabilizasyon uygulanması sonucunda, TKOİ parametresinde gözlenen giderim %35-55 aralığındadır. Reaktörlere ilave edilen enzim başlangıç anında kontrol reaktörüne kıyasla bakıldığında çözünmüş olarak önemli oranda bir KOİ girdisi sağlamaktadır. Bu noktada bu KOİ girdisinin KOİ giderim verimindeki etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. GASKİ AAT’den alınan ön çökeltme ve son çökeltme çamurunun stabilizasyonu sonucunda, toplam KOİ giderimi açısından kontrol reaktörü ile kıyaslandığında uygulanan minimizasyon yöntemlerinin, önemli bir katkısının olmadığı görülmüştür. Bunun yanında, ÇKOİ açısından bakıldığında %55 giderim verimi ile en düşük giderim mikrodalga uygulanmış olan çamur numunesinde elde edilmiştir. Giderim verimleri TKOİ ve ÇKOİ açısından sırasıyla %46-55 ve %55-76 aralığında değişim göstermiştir. Elazığ AAT’den alınan çamurda ise 30 gün süren anaerobik stabilizasyon sonucunda TKOİ giderimi açısından uygulanan minimizasyon yöntemleri içerisinde en düşük verim (% 39) ultrasonikasyon uygulanmış olan numunede elde edilmiştir. Kontrol reaktörü ile kıyaslandığında Elazığ AAT’den alınan çamur numesi açısından uygulanan diğer minimizasyon yöntemleri (mikrodalga ve enzim) TKOİ gideriminde önemli bir farklılık göstermemiştir. ÇKOİ açısından ise %55 giderim verimi ile en düşük ÇKOİ giderim verimi mikrodalga uygulanmış olan çamur numunesinde elde edilmiştir. Giderim verimleri TKOİ ve ÇKOİ açısından sırasıyla %35-51 ve %78-89 aralığında değişim göstermiştir. Ankara AAT’den alınan çamurda toplam KOİ giderimi açısından enzim ilavesi yapılan reaktörde en fazla giderim gözlenirken, diğer reaktörlerde giderim verimleri aynı seviyelerde kalmıştır. Buna benzer olarak, ÇKOİ parametresinde % 91 giderim verimi ile en yüksek giderim verimi enzim uygulanmış olan çamur numunesinde elde edilmiştir. Ankara AAT’den alınan çamurda giderim verimleri TKOİ ve ÇKOİ açısından sırasıyla %33-38 ve %74-91 aralığında değişim göstermiştir. Nevşehir AAT’den alınan çamurun anaerobik stabilizasyonu sonucunda ise uygulanan minimizasyon yöntemleri, kontrol reaktörüne kıyasla minimizasyon uygulanan reaktörlerde toplam KOİ giderimi açısından önemli bir değişim göstermezken ÇKOİ açısından bakıldığında % 86 giderim verimi ile en yüksek giderim enzim uygulanmış olan çamur

numunesinde elde edilmiştir. Giderim verimleri TKOİ ve ÇKOİ açısından sırasıyla % 30-42 ve % 29-86 aralığında değişim göstermiştir.

Tablo 9.145 : Anaerobik reaktörlerde gözlenen TKOİ ve ÇKOİ değişimleri

Reaktör		TKOİ			ÇKOİ*		
		mg/lt	mg/lt	%	mg/lt	mg/lt	%
		Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim
GASKİ	Kontrol	60895±4300	27615±110	55	3200	895	72
	Enzim	64720±4300	34945±2190	46	7025	1665	76
	Ultrasonikasyon	60306±3030	29620±1980	51	4000	1260	68
	Mikrodalga	60413±3400	29660±2340	51	3800	1695	55
ELAZIĞ	Kontrol	55850±1210	27315±815	51	4090	485	88
	Enzim	59675±1210	30100±1170	50	7915	1703	78
	Ultrasonikasyon	55785±1900	34096±1370	39	4150	687	83
	Mikrodalga	55280±730	30145±850	45	4470	488	89
ANKARA	Kontrol	19980±170	13020±100	35	1365	350	74
	Enzim	23800±170	14730±1800	38	5190	460	91
	Ultrasonikasyon	20120±1170	13490±100	33	1850	370	80
	Mikrodalga	19150±190	12620±1470	34	1630	350	78
NEVŞEHİR	Kontrol	33670±720	20915±385	38	770	550	29
	Enzim	37490±720	21625±670	42	4595	640	86
	Ultrasonikasyon	33880±1900	23650±1185	30	1260	630	50
	Mikrodalga	32940±730	22225±1155	33	1450	620	57

* ÇKOİ ölçümlerinde standart sapma \pm %2 seviyesindedir.

Katı Madde Değişimleri

Anaerobik stabilizasyon sonrasında katı madde parametrelerindeki giderim profili Tablo 9.146'da gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan tüm çamur numunelerinin herhangi bir ön işlem uygulanmamış kontrol reaktörlerinde, 30 gün süreli anaerobik stabilizasyon uygulanması sonucunda, TKM parametresinde gözlenen giderim % 12-48 aralığındadır. GASKİ AAT'den alınan çamurun dışındaki diğer çamur numunelerinin anaerobik stabilizasyonu sonucunda uygulanan minimizasyon yöntemlerinin, kontrol reaktörlerine kıyasla, TKM açısından önemli bir giderim verimi artışına yol açmadığı gözlenmiştir. GASKİ AAT'den alınan çamurun mikrodalga uygulanmış reaktöründe TKM giderimi kontrol reaktörü ile kıyaslandığında % 26'dan % 48'e çıktığı gözlenmiş ve en yüksek TKM giderim verimi bu reaktörde elde edilmiştir. Ayrıca yine GASKİ AAT'den alınan çamura uygulanan enzim ilavesi neticesinde de TKM gideriminde kontrol reaktörüne kıyasla ilave % 11 artış belirlenmiştir. Tüm çamur numunelerinde stabilizasyon

sonrasında gözlenen TUKM değerlerindeki değişim TKM değerlerindeki değişime paralel olarak gerçekleşmiştir. GASKİ AAT'den alınan çamurun mikrodalga uygulanmış reaktöründe gözlenen TUKM giderimi % 56, enzim uygulanan reaktörde ise % 40 şeklinde olup; her iki reaktörde de % 32 TUKM giderim verimi olan kontrol reaktörüne kıyasla artış elde edilmiştir. Bunun yanında, Elazığ, Ankara ve Nevşehir AAT'lerinden alınan çamur numunelerinin hem kontrol hem de minimizasyon uygulanmış olan reaktörlerinde stabilizasyon sonucunda TUKM giderimleri açısından belirgin bir farklılık gözlenmemiş ve % 35'in altında giderim verimleri elde edilmiştir.

Tablo 9.146 : Anaerobik reaktörlerde gözlenen TKM ve TUKM değişimleri

Reaktör		TKM*			TUKM*		
		mg/lt	mg/lt	%	mg/lt	mg/lt	%
		Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim
GASKİ	Kontrol	41560	30745	26	25170	16990	32
	Enzim	41560	26385	37	25170	15140	40
	Ultrasonikasyon	40905	32825	20	25995	17500	32
	Mikrodalga	40305	20890	48	26657	11815	56
ELAZIĞ	Kontrol	41070	33500	18	24380	17480	28
	Enzim	41070	34870	15	24380	18560	24
	Ultrasonikasyon	40225	33400	17	24355	18765	23
	Mikrodalga	41477	33910	18	23835	18405	23
ANKARA	Kontrol	22805	19645	14	11095	8333	25
	Enzim	22805	19745	13	11095	8295	25
	Ultrasonikasyon	22450	19825	12	10760	8338	22
	Mikrodalga	23390	20535	12	11021	8665	21
NEVŞEHİR	Kontrol	30890	24300	21	18662	13155	30
	Enzim	30890	24190	22	18662	13340	29
	Ultrasonikasyon	30615	23685	23	18500	13000	30
	Mikrodalga	29570	24525	17	17492	13365	24

* TKM ve TUKM ölçümlerinde standart sapma \pm %6 seviyesindedir.

Askıda katı maddelerin giderimleri değerlendirildiğinde ise; toplam katı madde giderimlerinde olduğu gibi GASKİ AAT'den alınan çamurun dışındaki diğer çamur numunelerinin anaerobik stabilizasyonu sonucunda, uygulanan minimizasyon yöntemlerinin kontrol reaktörlerine kıyasla, AKM giderimi açısından önemli bir değişime neden olmadığı gözlenmemiştir. GASKİ AAT'den alınan çamurun mikrodalga uygulanmış reaktöründe AKM giderimi % 49 ile en yüksek değerde bulunmuştur. Tüm çamur numunelerinde stabilizasyon sonrasında gözlenen UAKM değerlerindeki değişimi AKM değerlerindeki değişime paralel olarak gerçekleşmiştir. GASKİ AAT'den alınan çamurun mikrodalga uygulanmış reaktöründe gözlenen UAKM giderimi % 57 ile

en yüksek verimi gösterirken; % 40 olan kontrol reaktörüne kıyasla artış elde edilmiştir. Bunun yanında, Elazığ, Ankara ve Nevşehir AAT'lerinden alınan çamur numunelerinin hem kontrol hem de minimizasyon uygulanmış havasız reaktörlerinde stabilizasyon sonucunda UAKM giderimleri açısından belirgin bir farklılık gözlenmemiş ve % 30'in altında giderim verimleri elde edilmiştir. Giderim verimleri AKM ve UAKM açısından sırasıyla % 12-49 ve % 23-57 aralığında değişim göstermiştir (Tablo 9.147).

Tablo 9.147 : Anaerobik Reaktörlerde Gözlenen AKM ve UAKM Değişimleri

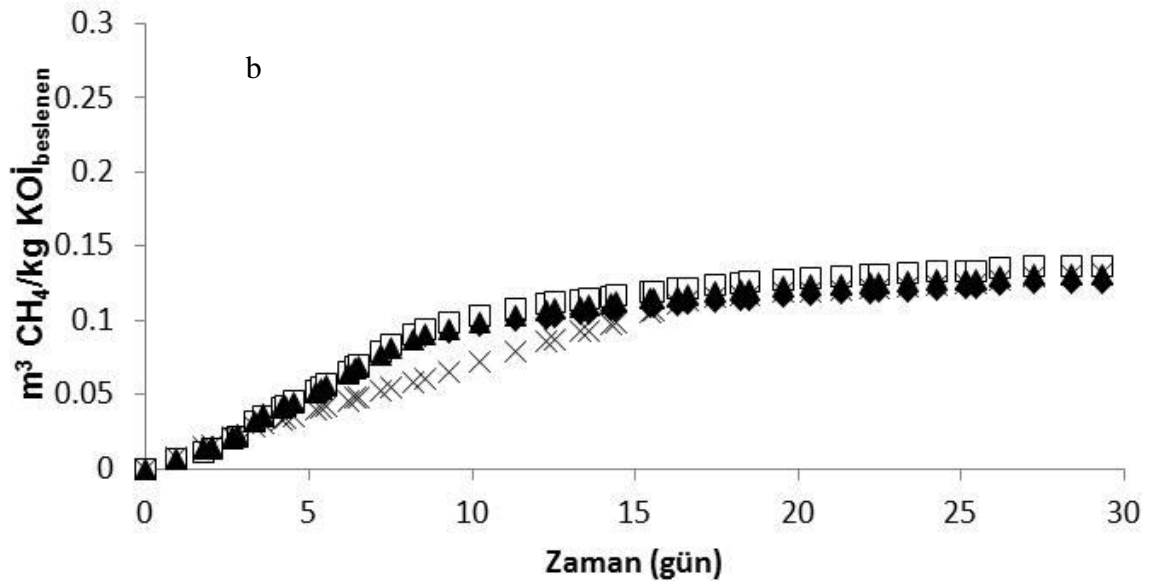
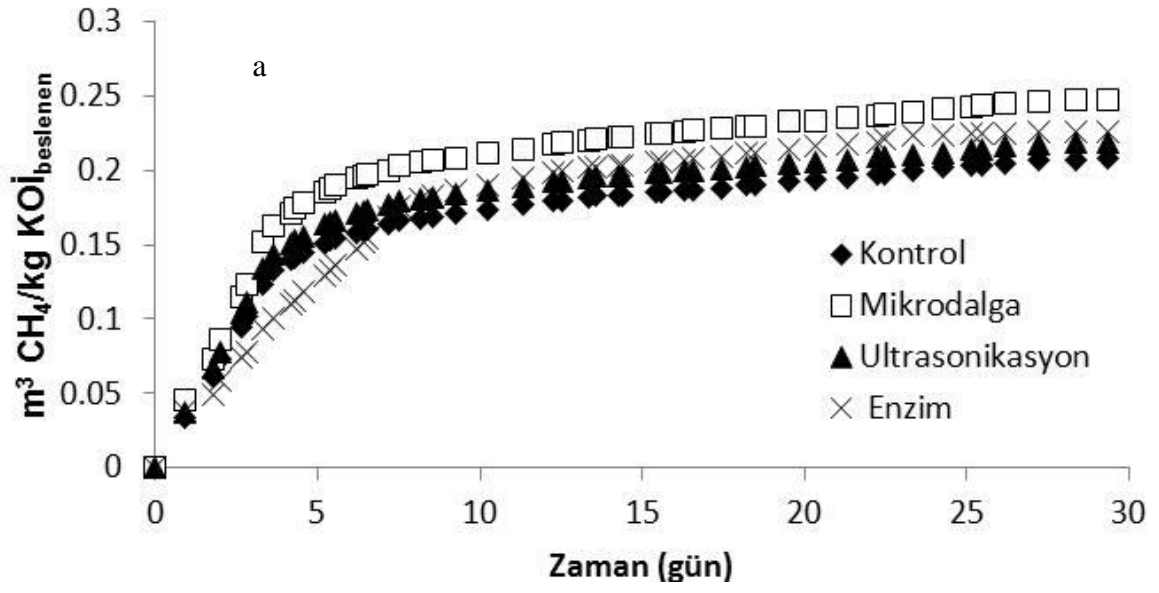
Reaktör		AKM*			UAKM*		
		mg/Lt	mg/Lt	%	mg/Lt	mg/Lt	%
		Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Giderim
GASKİ	Kontrol	39650	29888	25	26694	16050	40
	Enzim	39650	24573	38	26694	14248	47
	Ultrasonikasyon	39450	30738	22	25850	17325	33
	Mikrodalga	39375	19920	49	26575	11420	57
ELAZIĞ	Kontrol	38625	33200	14	25070	18345	27
	Enzim	38625	33288	14	25070	18400	27
	Ultrasonikasyon	38375	32225	16	24775	18575	25
	Mikrodalga	38250	32225	16	24775	18225	26
ANKARA	Kontrol	21200	18625	12	10784	7900	27
	Enzim	21200	18125	15	10784	7775	28
	Ultrasonikasyon	21125	18575	12	10750	7813	27
	Mikrodalga	21350	18888	12	10900	7900	28
NEVŞEHİR	Kontrol	28075	22600	20	17700	12500	29
	Enzim	28075	23613	16	17700	13300	25
	Ultrasonikasyon	27400	23013	16	17075	12813	25
	Mikrodalga	27575	23825	14	16950	12988	23

* AKM ve UAKM ölçümlerinde standart sapma \pm %6 seviyesindedir.

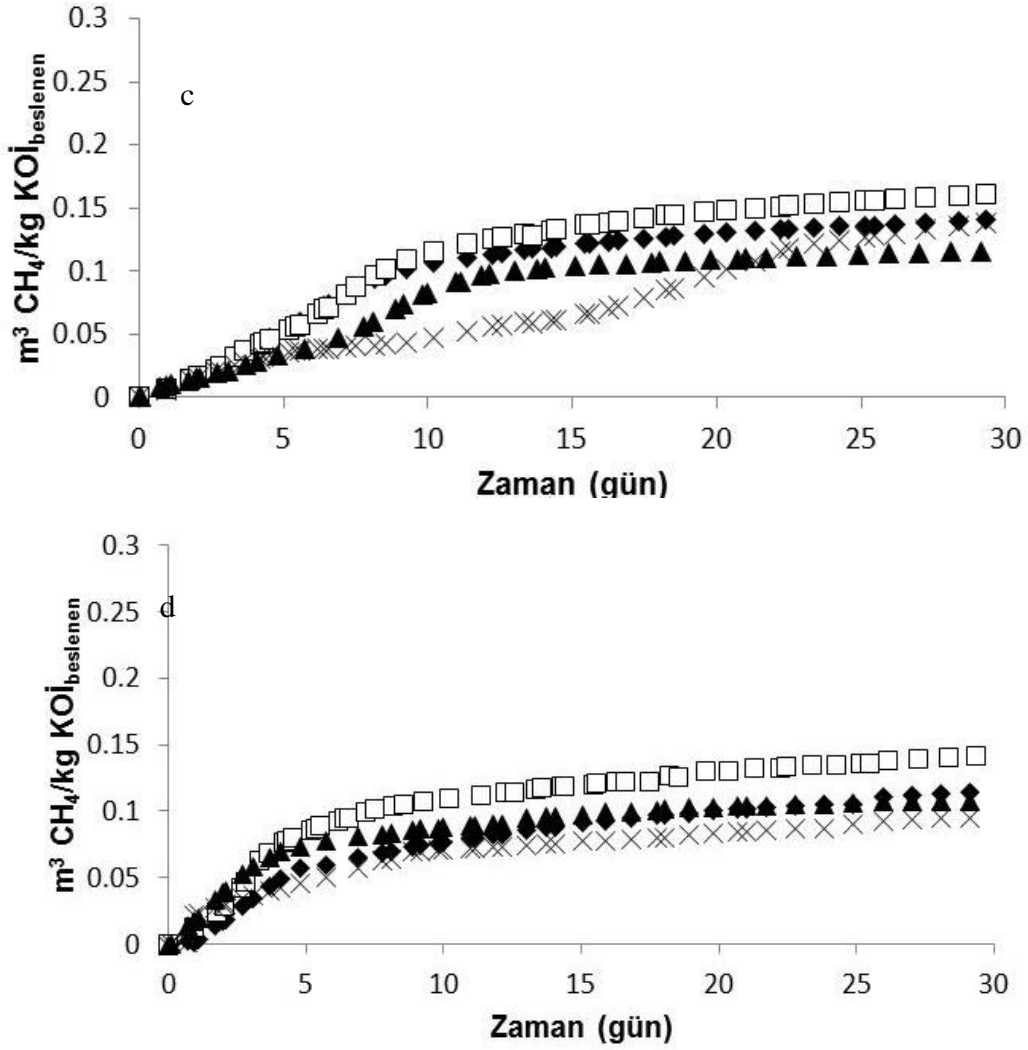
Biyogaz Üretimi

Arıtma çamurlarına mikrodalga, ultrasonikasyon, enzim ilavesi gibi işlemleri uygulamanın başta gelen amaçlarından birisi anaerobik stabilizasyonda üretilecek metan miktarının artırılmasıdır. Bu nedenle metan üretimi anaerobik stabilizasyon çalışmalarındaki en önemli parametredir. Laboratuvar ölçekli anaerobik stabilizasyon çalışması süresince biyogaz miktarı günlük olarak izlenmiştir. Reaktörlerde ayrıca gaz kompozisyonu da belirlenmiştir. Metan üretimi, biyogaz miktarı ile metan içeriğinin çarpımıyla elde edilmiştir. Çalışma süresince reaktörlerdeki metan

yüzdesi % 60-70 arasında değişmiştir. Anaerobik stabilizasyonda reaktörlerdeki metan üretimi $m^3 CH_4/kg KO\dot{I}_{beslenen}$ olarak Şekil 9.201’de gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm reaktörler incelendiğinde metan üretiminin $0,09-0,25 m^3 CH_4/kg KO\dot{I}_{beslenen}$ arasında değiştii ve literatürle uygun olduğu görülmektedir (Elbeshbishy, 2012),(Saha ve diğ., 2011). Ankara AAT’den alınan ön çökeltme ve son çökeltme çamurunun 30 gün süren anaerobik stabilizasyon sonucunda metan üretimi açısından, uygulanan minimizasyon yöntemleri içerisinde en yüksek verim, mikrodalga uygulanmış (kontrole göre % 19 daha yüksek) olan reaktörde elde edilmiştir. Bunu enzim uygulanmış (kontrole göre % 9 daha yüksek) reaktör takip etmiş olup, ultrasonikasyon uygulanmış olan reaktörde kontrole göre % 5’lik bir artış elde edilmiştir (Şekil 9.201a). Ön çökeltme ve son çökeltme çamurunu içeren GASKİ çamurunda en yüksek metan üretimi, mikrodalga uygulanmış (kontrole göre % 9 daha yüksek) reaktörde elde edilmiştir. Enzim ve ultrasonikasyon uygulanmış olan reaktörlerde ise metan üretiminde kontrole göre % 5’lik bir artış sağlanmış (Şekil 9.201b). Elazığ AAT’den alınan ön çökeltme ve son çökeltme çamurunun anaerobik stabilizasyonda mikrodalga uygulanmış (kontrole göre % 15 daha yüksek) reaktörde en yüksek metan üretimi elde edilmiş olup, enzim ve ultrasonikasyon uygulamaları metan üretimini arttırmamıştır (Şekil 9.202a). Son çöktürme çamuru içeren Nevşehir AAT’ne ait reaktörlerde ise, sadece mikrodalga uygulanmış reaktörde (kontrole göre % 32 daha yüksek) metan üretimi artmıştır (Şekil 9.202b). Tüm reaktörler incelendiğinde, minimizasyon yöntemlerinden mikrodalga kontrole göre metan üretimini % 9-32 arttırdığı ve en uygun minimizasyon yönteminin mikrodalga olduğu belirlenmiştir. GASKİ ve Elazığ çamuru içeren enzim uygulanmış reaktörlerde 5. günden itibaren inhibisyon görülmüştür. Bununla birlikte, bu reaktörler kendini bir süre sonra toparlamış ve diğer reaktörlerdeki metan üretimini yakalamıştır. Bu durumun enzim uygulanmış GASKİ ve Elazığ çamuru içeren reaktörlerdeki daha yüksek organik yüklemekten kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



Şekil 9.201 : Anaerobik Stabilizasyon Prosesi Neticesinde Beslenen KOİ Başına Üretilen Metan Miktarı (a) Ankara AAT (b) GASKİ AAT



Şekil 9.202 : Anaerobik Stabilizasyon Prosesi Neticesinde Beslenen KOİ Başına Üretilen Metan (a) Elazığ AAT (b) Nevşehir AAT

NH₄ Değişimleri

Çalışmada kullanılan havasız reaktörlerde gerçekleşen NH₄ değişimleri Tablo 9.148'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm anaerobik reaktörlerde stabilizasyon sonunda, stabilizasyon öncesine kıyasla, beklenildiği gibi amonyak konsantrasyonlarında artış gözlenmiştir. Bunun sebebi, asit üretimine paralel olarak, protein ve amino asitlerin ayrışmasından açığa çıkan NH₄⁺ iyonudur. Amonyum konsantrasyonu genelde havasız süreçlerde inhibisyona sebep olacak seviyede olmamakla birlikte azotça zengin endüstriyel atıksularda, özellikle yüksek pH'larda, problem teşkil edebilir. Stabilizasyon öncesinde 360-630 mg/L aralığında gözlenen amonyak konsantrasyonları, 30 gün süreli stabilizasyon işlemi sonunda 570-1260 mg/L aralığında elde edilmiştir. GASKİ, Elazığ, Ankara ve Nevşehir AAT'lerinden alınan çamur numunelerinin hem kontrol hem de minimizasyon uygulanmış olan reaktörlerinde stabilizasyon sonucunda NH₄⁺-N konsantrasyonları açısından belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.

Tablo 9.148: Anaerobik Reaktörlerde Gözlenen NH₄⁺-N Değişimleri

Reaktör		NH ₄ ⁺ -N *	
		mg/lt	
		Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası
GASKİ	Kontrol	540	1140
	Enzim	540	1260
	Ultrasonikasyon	450	1230
	Mikrodalga	630	1110
ELAZIĞ	Kontrol	450	990
	Enzim	450	1170
	Ultrasonikasyon	600	1020
	Mikrodalga	600	1110
ANKARA	Kontrol	450	600
	Enzim	450	690
	Ultrasonikasyon	480	570
	Mikrodalga	360	630
NEVŞEHİR	Kontrol	390	990
	Enzim	390	1110
	Ultrasonikasyon	450	930
	Mikrodalga	450	1080

* NH₄⁺-N ölçümlerinde standart sapma \pm %3 seviyesindedir.

İletkenlik ve Tuzluluk Değişimleri

Anaerobik stabilizasyon sonrasında iletkenlik ve tuzluluk parametrelerindeki değişim profili Tablo 9.149'de gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan tüm anaerobik reaktörlerde stabilizasyon sonunda, stabilizasyon öncesine kıyasla, iletkenlik ve tuzluluk değerlerinde artış gözlenmiştir. Stabilizasyon sonunda tüm çamur numuneleri kendi içlerinde değerlendirildiğinde; enzim ilave edilmiş reaktörlerde en yüksek iletkenlik ve tuzluluk değerleri elde edilmiştir. Ayrıca tüm çamur numunelerinde stabilizasyon sonrasında gözlenen iletkenlik değerlerindeki değişim tuzluluk değerlerindeki değişime paralel olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 9.149 : Anaerobik Reaktörlerde Gözlenen İletkenlik ve Tuzluluk Değişimleri

	Reaktör	İletkenlik mS/cm		Tuzluluk ‰	
		Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası	Stabilizasyon Öncesi	Stabilizasyon Sonrası
GASKİ	Kontrol	4,45	7,58	2,38	4,15
	Enzim	4,45	8,65	2,38	4,82
	Ultrasonikasyon	4,65	7,63	2,50	4,22
	Mikrodalga	4,48	8,03	2,39	4,45
ELAZIĞ	Kontrol	4,67	6,52	2,49	3,56
	Enzim	4,67	7,58	2,49	4,18
	Ultrasonikasyon	4,45	6,75	2,38	3,70
	Mikrodalga	4,80	6,60	2,58	3,61
ANKARA	Kontrol	3,98	5,10	2,10	2,74
	Enzim	3,98	6,10	2,10	3,31
	Ultrasonikasyon	4,08	5,24	2,16	2,82
	Mikrodalga	4,07	5,16	2,15	2,78
NEVŞEHİR	Kontrol	3,27	6,33	1,71	3,45
	Enzim	3,27	7,18	1,71	3,94
	Ultrasonikasyon	3,75	6,44	1,99	3,51
	Mikrodalga	3,78	6,40	1,99	3,49

Yüksek tuzluluk, anaerobik arıtmada inhibisyona yol açar ve % 1'in üzerinde tuz içeren atıksular aşırı tuzlu olarak nitelendirilirler. Reaktörlerin hiçbirinde tuzluluk seviyeleri %1'in üzerine çıkmadığından tuzluluğa bağlı bir inhibisyon sistemde gözlenmemiştir.

9.3.4. Membran Filtrasyon Yöntemi ile Stabilizasyon İşlemlerinin Mikrobiyolojik Açından Değerlendirilmesi

Ham çamurlardan alınan numuneler ile kurulan stabilizasyon reaktörlerinden alınan numunelerde Standart Metotlarda belirtilen Membran Filtrasyon yöntemi ile Toplam Koliform (SM9222B), *Escherichia coli* (SM9222D) ve Fekal Streptokok (SM9230C) analizleri gerçekleştirilmiştir.

Mikrobiyolojik analizler öncelikle ham numunelerde gerçekleştirilmiştir. Buna ilaveten, aerobik ve anaerobik reaktör girişleri ile bu reaktörlerin çıkışlarından mikrobiyolojik analizler yapılarak sistemlerin mikrobiyolojik performansları ortaya çıkarılarak değerlendirilmiştir.

Ayrıca aerobik reaktörlerden alınan ara numunede de mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 9.150 – Tablo 9.154’de verilmektedir.

Numunelerin çok yoğun bakteriyel konsantrasyon içermeleri, yüksek mikroorganizma konsantrasyonlarında sayımın zorlaşması ve bazı türlerin koloni oluştururken büyümelerinin baskılanması nedenleri ile yüksek seyreltme faktörleri uygulanmıştır. Ancak analiz sonuçlarının bu yüksek seyreltme konsantrasyonlarından etkilenmiş olabileceğini de göz ardı etmemek gerekmektedir.

Elde edilen sonuçlar, reaktörlerde uygulanan farklı yöntemlerin üç parametrede de genelde 10^1 – 10^2 koloni/100 ml mertebelerinde azalmaya neden olduğunu göstermektedir. Netice olarak, uygulanmış olan işletme koşullarında; Toplam Koliform (TK), *Escherichia coli* (*E. coli*) ve Fekal Streptokok (FS) parametrelerinde etkili verim elde edilmediği görülmektedir. En iyi giderim veya mikroorganizma giderimi Fekal Streptokok analizlerinde görülmektedir. Özellikle aerobik ve anaerobik reaktörün bazılarının çıkışlarında Fekal Streptokok parametresi uygulanan yöntemle istatistiksel saptanabilme sınırlarının altında kalmıştır.

Tablo 9.150 : Aerobik reaktör giriş mikrobiyolojik karakterizasyonu

Aerobik Reaktörler t=0		TK [kob/100mL]	E.coli [kob/100mL]	FS [kob/100mL]
1	Elazığ Kontrol	8,00E+07	7,50E+07	3,90E+07
2	GASKİ Kontrol	9,20E+07	8,50E+07	2,60E+07
3	Nevşehir Kontrol	2,90E+07	2,60E+07	2,20E+07
4	Ankara Kontrol	1,10E+08	9,00E+07	3,80E+07
5	Elazığ Ultrasonikasyon	3,20E+07	3,00E+07	4,20E+07
6	GASKİ Ultrasonikasyon	3,00E+07	2,90E+07	4,00E+07
7	Nevşehir Ultrasonikasyon	7,00E+07	6,50E+07	3,30E+07
8	Ankara Ultrasonikasyon	6,00E+07	3,20E+07	1,70E+07
9	Elazığ Mikrodalga	5,00E+07	2,20E+07	3,80E+07
10	GASKİ Mikrodalga	3,10E+07	2,70E+07	3,40E+07
11	Nevşehir Mikrodalga	4,00E+06	3,50E+06	2,60E+07
12	Ankara Mikrodalga	n.d.	n.d.	n.d.

Tablo 9.151 : Aerobik reaktör izleme mikrobiyolojik karakterizasyonu

Aerobik Reaktörler t= 24.04.12		TK[kob/100mL]	E.coli [kob/100mL]	FS [kob/100mL]
1	Elazığ Kontrol	3,60E+06	3,20E+06	< 5
2	GASKİ Kontrol	5,00E+04	4,00E+04	< 5
3	Nevşehir Kontrol	4,00E+06	3,20E+06	2,80E+06
4	Ankara Kontrol	4,00E+06	2,00E+06	4,40E+06
5	Elazığ Ultrasonikasyon	1,30E+07	1,20E+07	< 5
6	GASKİ Ultrasonikasyon	1,50E+06	1,20E+06	2,80E+06
7	Nevşehir Ultrasonikasyon	8,00E+06	6,00E+06	1,20E+07
8	Ankara Ultrasonikasyon	6,00E+06	2,80E+06	3,20E+06
9	Elazığ Mikrodalga	1,60E+07	1,40E+07	< 5
10	GASKİ Mikrodalga	2,00E+07	1,60E+07	5,20E+06
11	Nevşehir Mikrodalga	1,10E+06	8,00E+05	< 5
12	Ankara Mikrodalga	2,00E+06	1,60E+06	5,20E+06

Tablo 9.152: Aerobik reaktör çıkış mikrobiyolojik karakterizasyonu

Aerobik Reaktörler Çıkış		TK [kob/100mL]	E.coli [kob/100mL]	FS [kob/100mL]
1	Elazığ Kontrol	1,00E+07	6,00E+06	< 5
2	GASKİ Kontrol	5,00E+06	3,60E+06	< 5
3	Nevşehir Kontrol	3,00E+06	0,00E+00	1,80E+06
4	Ankara Kontrol	1,00E+08	6,00E+08	1,60E+07
5	Elazığ Ultrasonikasyon	3,00E+07	4,00E+06	6,00E+05
6	GASKİ Ultrasonikasyon	1,00E+08	8,00E+07	7,00E+06
7	Nevşehir Ultrasonikasyon	8,00E+06	7,00E+06	6,00E+06
8	Ankara Ultrasonikasyon	2,00E+05	2,00E+05	6,00E+05
9	Elazığ Mikrodalga	1,00E+07	3,40E+06	2,00E+05
10	GASKİ Mikrodalga	8,00E+06	4,00E+06	1,20E+06
11	Nevşehir Mikrodalga	1,00E+06	< 5	1,80E+06
12	Ankara Mikrodalga	8,00E+05	4,00E+05	1,20E+06
14	Elazığ Enzim	6,00E+07	5,00E+07	< 5
15	GASKİ Enzim	3,00E+06	2,40E+06	< 5
16	Nevşehir Enzim	1,00E+07	8,00E+06	1,00E+06
17	Ankara Enzim	8,00E+07	4,00E+07	4,00E+05

Tablo 9.153: Anaerobik reaktör giriş mikrobiyolojik karakterizasyonu

Anerobik Reaktörler t=0		TC	E.coli	FS
		[kob/100mL]	[kob/100mL]	[kob/100mL]
1	Anaerobik Aşı	1,20E+07	8,00E+06	< 5
2	Elazığ Kontrol	8,40E+06	8,00E+06	2,16E+07
3	GASKİ Kontrol	1,64E+07	1,40E+07	4,00E+07
4	Nevşehir Kontrol	1,20E+07	9,60E+06	1,12E+07
5	Ankara Kontrol	2,80E+07	2,00E+07	9,20E+06
6	Elazığ Ultrasonikasyon	1,00E+08	4,00E+07	0,00E+00
7	GASKİ Ultrasonikasyon	8,00E+07	6,00E+07	5,68E+07
8	Nevşehir Ultrasonikasyon	2,00E+07	2,00E+07	2,84E+07
9	Ankara Ultrasonikasyon	6,00E+07	5,20E+07	1,80E+07
10	Elazığ Mikrodalga	4,80E+07	1,60E+07	2,60E+07
11	GASKİ Mikrodalga	1,40E+08	8,00E+07	3,36E+07
12	Nevşehir Mikrodalga	1,20E+07	4,80E+06	2,80E+07
13	Ankara Mikrodalga	6,00E+07	4,80E+07	1,60E+07

Tablo 9.154 : Anaerobik reaktör çıkış mikrobiyolojik karakterizasyonu

Anerobik Reaktörler Çıkış		TC	E.coli	FS
		[kob/100mL]	[kob/100mL]	[kob/100mL]
1	Anaerobik Aşı	8,00E+05	< 5	< 5
2	Elazığ Kontrol	2,00E+06	1,75E+06	5,00E+05
3	GASKİ Kontrol	2,25E+06	3,50E+05	3,00E+05
4	Nevşehir Kontrol	2,00E+06	4,00E+05	< 5
5	Ankara Kontrol	7,50E+05	1,50E+05	< 5
6	Elazığ Ultrasonikasyon	3,75E+06	7,50E+05	1,00E+05
7	GASKİ Ultrasonikasyon	2,00E+06	4,00E+05	2,00E+05
8	Nevşehir Ultrasonikasyon	5,00E+06	5,00E+04	6,50E+05
9	Ankara Ultrasonikasyon	2,00E+06	5,50E+05	8,50E+05
10	Elazığ Mikrodalga	1,50E+06	1,25E+06	5,00E+04
11	GASKİ Mikrodalga	1,25E+06	2,50E+05	< 5
12	Nevşehir Mikrodalga	1,30E+06	1,00E+05	1,00E+05
13	Ankara Mikrodalga	2,00E+07	2,50E+05	2,50E+05
14	Elazığ Enzim	3,25E+06	7,50E+05	5,00E+04
15	GASKİ Enzim	1,00E+06	2,50E+05	< 5
16	Nevşehir Enzim	1,75E+06	7,50E+05	6,50E+05
17	Ankara Enzim	1,20E+06	< 5	< 5

9.3.5. Arıtma Çamurlarına Uygulanan Farklı Ön İşlemlerin Çamur Stabilizasyonuna Etkilerinin Araştırılması

9.3.5.1. Numune Alma ve Saklama

Moleküler analizler için Elazığ, Ankara, Nevşehir ve Gazi Antep'ten alınmış olan numuneler ve numunelerde gerçekleştirilen ön işlemler ile ilgili bilgi Tablo 9.155'de verilmektedir. Numuneler steril koşullarda 15 mL'lik steril tüplere alınarak; 14,000 rpm de, +40C'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Üst faz döküldükten sonra kalan biyokütle -20°C'de DNA ekstraksiyonu için saklanmıştır.

Tablo 9.155 : Moleküler analiz numuneleri ve uygulanan ön işlemler

Numune İsmi	Tesis	Ön İşlem	Zaman	
Ankara Kontrol Aer t=0	Ankara	-	Aerobik	Başlangıç
Ankara Kontrol Aer t=son		-		Son
Ankara Mikro Aer t=0		Mikrodalga		Başlangıç
Ankara Mikro Aer t=son		Mikrodalga		Son
Ankara Ultra Aer t=0		Ultrasonikasyon		Başlangıç
Ankara Ultra Aer t=son		Ultrasonikasyon		Son
Ankara Enzim Aer t=son		Enzim		Başlangıç
Ankara Kontrol An t=0		-	Anaerobik	Son
Ankara Kontrol An t=son		-		Başlangıç
Ankara Mikro An t=0		Mikrodalga		Son
Ankara Mikro An t=son		Mikrodalga		Başlangıç
Ankara Ultra An t=0		Ultrasonikasyon		Son
Ankara Ultra An t=son		Ultrasonikasyon		Başlangıç
Ankara Enzim An t=son		Enzim		Son
Elazığ Kontrol Aer t=0	Elazığ	-	Aerobik	Başlangıç
Elazığ Kontrol Aer t=son		-		Son
Elazığ Mikro Aer t=0		Mikrodalga		Başlangıç
Elazığ Mikro Aer t=son		Mikrodalga		Son
Elazığ Ultra Aer t=0		Ultrasonikasyon		Başlangıç
Elazığ Ultra Aer t=son		Ultrasonikasyon		Son
Elazığ Enzim Aer t=son		Enzim		Başlangıç
Elazığ Kontrol An t=0		-	Anaerobik	Son
Elazığ Kontrol An t=son		-		Başlangıç
Elazığ Mikro An t=0		Mikrodalga		Son
Elazığ Mikro An t=son		Mikrodalga		Başlangıç
Elazığ Ultra An t=0		Ultrasonikasyon		Son
Elazığ Ultra An t=son		Ultrasonikasyon		Son
Elazığ Enzim An t=son		Enzim		Başlangıç

Tablo 9.155 (devam) : Moleküler analiz numuneleri ve uygulanan ön işlemler

Numune İsmi	Tesis	Ön İşlem		Zaman
Nevşehir Kontrol Aer t=0	Nevşehir	-	Aerobik	Son
Nevşehir Kontrol Aer t=son		-		Başlangıç
Nevşehir Mikro Aer t=0		Mikrodalga		Son
Nevşehir Mikro Aer t=son		Mikrodalga		Başlangıç
Nevşehir Ultra Aer t=0		Ultrasonikasyon		Son
Nevşehir Ultra Aer t=son		Ultrasonikasyon		Başlangıç
Nevşehir Enzim Aer t=son		Enzim		Son
Nevşehir Kontrol An t=0		-	Anaerobik	Başlangıç
Nevşehir Kontrol An t=son		-		Son
Nevşehir Mikro An t=0		Mikrodalga		Başlangıç
Nevşehir Mikro An t=son		Mikrodalga		Son
Nevşehir Ultra An t=0		Ultrasonikasyon		Başlangıç
Nevşehir Ultra An t=son		Ultrasonikasyon		Son
Nevşehir Enzim An t=son		Enzim		Son
GASKİ Kontrol Aer t=0	GASKİ	-	Aerobik	Başlangıç
GASKİ Kontrol Aer t=son		-		Son
GASKİ Mikro Aer t=0		Mikrodalga		Başlangıç
GASKİ Mikro Aer t=son		Mikrodalga		Son
GASKİ Ultra Aer t=0		Ultrasonikasyon		Başlangıç
GASKİ Ultra Aer t=son		Ultrasonikasyon		Son
GASKİ Enzim Aer t=son		Enzim		Son
GASKİ Kontrol An t=0		-	Anaerobik	Başlangıç
GASKİ Kontrol An t=son		-		Son
GASKİ Mikro An t=0		Mikrodalga		Başlangıç
GASKİ Mikro An t=son		Mikrodalga		Son
GASKİ Ultra An t=0		Ultrasonikasyon		Başlangıç
GASKİ Ultra An t=son		Ultrasonikasyon		Son
GASKİ Enzim An t=son		Enzim		Son
Anaerobik Aşı t=0				Başlangıç
Anaerobik Aşı t=son				Son

9.3.5.2.DNA Ekstraksiyon Yöntemi

Örneklerdeki DNA'lar santrifüj edilmiş biyokütleden ZR Soil Micobe DNA Kit (Zymo Research Corp., USA) ile üreticinin protokolleri kullanılarak ekstrakte edilmiştir.

DNA ekstraksiyonunda kullanılan deneysel prosedür:

- ≈40 mg biyokütle ZR BashingBead™ Lysis tüpüne alınmıştır (Şekil 9.203)



Şekil 9.203 : DNA ekstraksiyonu

- 2 mL'lik mekanik parçalayıcıya yerleştirilerek yüksek hızda 5 dakika süre ile çalkalama işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 9.204).



Şekil 9.204 : DNA ekstraksiyonunda kullanılan mekanik parçalayıcı (bead beater)

- ZR BashingBead™ Lysistüpünün mikrosantrifüjde >10000 rpm hızda 1 dakika süreyle santrifüjü yapılmıştır.
- 400 µL üst faz Zymo-Spin™ IV Spin Filter toplama tüpüne nakledilerek 7000 rpm'de 1 dakika süre ile santrifüj uygulanmıştır.

- Soil DNA Binding Buffer'dan 1200 µL alınarak, toplama tüpündeki süzünüye ilave edilmiştir.
- Bir önceki basamakta hazırlanmış olan karışımdan 800 µL alınarak, toplama tüpü içerisinde bulunan Zymo-Spin™ IIC kolona ilave edilmiş ve 10000 rpm'de 1 dakika süre ile santrifüj uygulanmıştır.
- Toplama tüpü içerisindeki sıvı alınarak bir önceki basamak tekrar edilmiştir.
- Zymo-Spin IIC kolonuna 200 µL DNA Pre-Wash Buffer ilave edilmiş ve Zymo-Spin™ IIC kolonu yeni bir toplama tüpü içerisinde 10000 rpm'de 1 dakika süre ile santrifüj edilmiştir.
- 500 µL Soil DNA Wash Buffer, Zymo-Spin™ IIC Kolonu içerisine ilave edilerek 10000 rpm'de santrifüj edilmiştir.
- Zymo-Spin™ IIC kolonu 1,5 mL mikrosantrifüj kabına nakledilmiş ve 50 µL DNA Elution Buffer doğrudan kolon filtreye ilave edilmiştir. DNA'nın kolondan süzülebilmesi için 30 saniye boyunca 10000 rpm'de santrifüj yapılmıştır. Sonrasında numuneler -20°C'de saklanmıştır.

9.3.5.3. Polimeraz Zincir Reaksiyonu Amplifikasyonu

Örneklerden DNA ekstraksiyonuyla izole edilen DNA'lar (1 µL) bakteri için PZR amplifikasyonunda kullanılmıştır. PZR, 50 µL reaksiyon çözeltileri içinde 1.25 ünite Taq DNA polimeraz (DreamTaq Green DNA Polymerase, Fermentas, Vilnius, Lithuania) kullanılarak yapıldı. PZR numune hazırlama UV steril kabinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 9.205). PZR karışımlarında 5 µL 10XPZR tamponu, 3 µL 50mM konsantrasyonda MgCl₂, herbiri 10mM olacak şekilde 1 µL deoksiniüksit trifosfat (dNTP), 10mM konsantrasyonda 1 µL ön ve ters primerler, 1 µL Taq DNA polimeraz (5 U/µL) ve 49 µL'ye tamamlanması için nükleazdan arındırılmış su kullanılmıştır. Daha sonra 1 µL ekstrakte edilmiş DNA numuneleri eklenmiştir. Örnekler BioRAD Mycycler kullanılarak amplifiye edilmiştir (Şekil 9.206). PZR tekniğinde, BAC-968F-GC (5-CGC CCG GGG CGC GCC CCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG GAA CGC GAA GAA CCT TAC-3) forward primeri ve BAC-1401R (5-GCG TGT GTA CAA GAC CC-3) reverse primeri kullanılarak bakterilerde 16S rRNA içinde V6 ve V8 bölgesi hedeflenmiştir.



Şekil 9.205 : PZR numune hazırlama kabini

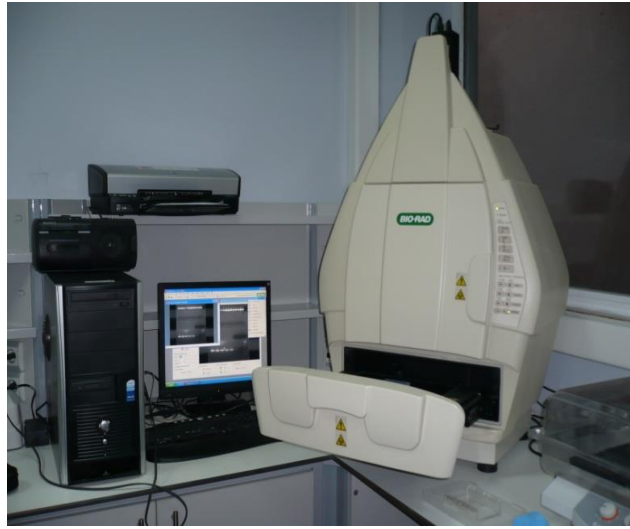
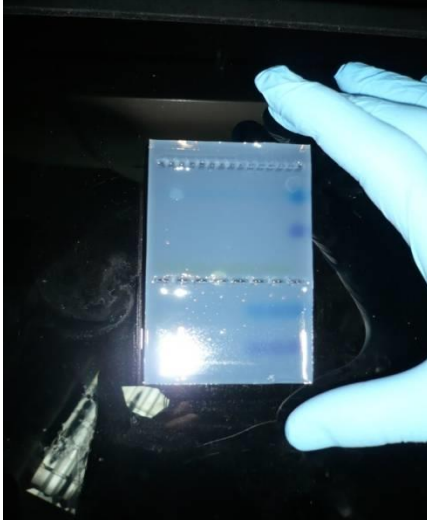


Şekil 9.206 : PZR amplifikasyonunda kullanılan BioRAD Mycycler

PZR reaksiyon karışımında 94°C’de 5 dakika ön denatürasyon, onu takiben 30 çevrim 94°C’de 30 saniye denatürasyon, 1 dakika (bakteriler için birleşme sıcaklığı 56°C) primer birleşmesi ve 72°C’de 1,5 dakika uzatma yapılmıştır. Son çevrimden sonra örnekler 72°C’de 5 dakika son uzatma basamağına girmiştir ve anında +4°C’ye soğutulup korunmuştur. PZR reaksiyonundan çıkan örneklerin (1 µL) boyutu ve verimini ölçebilmek için %0,8 (wt/vol)’lik agarose jel elektroforez (Biorad) cihazında, 1xTAE tamponla birlikte, 100 voltta 20 dakika koşturularak kontrol edilmiştir (Şekil 9.207). Ürünlerin kalitesi ve miktarı DNA belirleyici (1kb DNA Ladder Plus, MBI Fermentas) ile belirlenmiştir. Agarose jel, ethidyum bromür ile boyanmış ve koşturulmuş jel resimleri BioRad’ın görüntüleme cihazıyla görüntülenmiştir (Şekil 9.208) (GelDoc, BioRad, Hercules, CA).



Şekil 9.207 : PZR ürünlerinin agarose jel elektroforeze yüklenmesi.

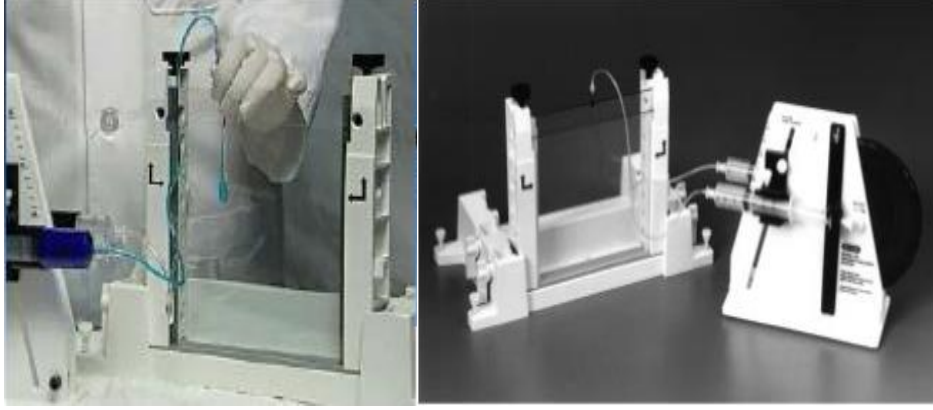


Şekil 9.208 : PZR yüklü agaroz jelin BioRad cihazında görüntülenmesi.

9.3.5.4. Denatüre Gradyan Jel Elektroferez (DGJE)

PZR deneyinden gelen GC eklenmiş amplifikasyonlar üre ve formamidden oluşan jellerde %8 poliakrilamid (37.5:1 akrilamid/bisakrilamid) Dcode TM sistem ekipmanları kullanılarak koşturulmuştur (BioRad, Hercules, CA). Gradyanlar %0 ve %100 stok çözeltisi kullanılarak %40 akrilamid/bis çözeltisiyle hazırlanmıştır (37.5:1 akrilamid/bis, BioRad, Cat. No: 161-0148 çözeltileri). %100'lük çözelti 7 M üre (AppliChem Cat.No: A5470,5000), %40 (h/h) formamid (Merck Cat.No: 1.09684.1000) ve gliserol (Merck Cat.No: 1.04093.2500) içermektedir. Jelin donmasından önce donmayı hızlandırmak amacı ile karışıma %10 amonyum sülfat (Merck Cat.No: 1.01200.1000) ve TEMED (AppliChem Cat.No: A1148,0250) eklenmiştir. PAG gradyan sağlayıcı sistem (DCode System, BioRad, Hercules, CA) sayesinde bakteri

uygulamaları için %35-55 denatüre gradyan değerlerini sağlayarak sandöviç adı verilen sisteme pompalanmıştır (Şekil 9.209). Gelbond® PAG film (Amersham Pharmacia Biotech, 80-1129) jelin polimerizasyonunu desteklemek ve jelin kullanımını kolaylaştırmak için cam tabanın üstüne yerleştirilmiştir.

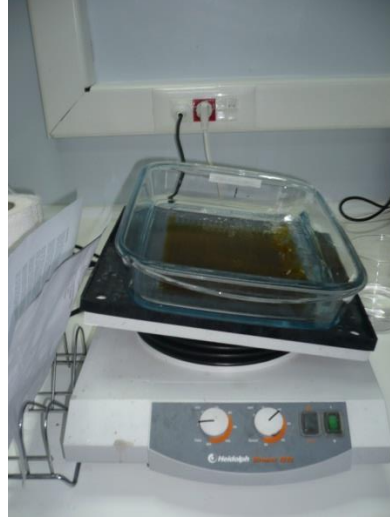


Şekil 9.209 : Poliakrilamid jelin gradyan oluşturucu sistem ile dökülmesi (DCode System, BioRad, Hercules, CA)

10 µL PZR ürünleri 3 µL yükleme boyası ile seyreltikten sonra polimerize olan jele yüklenmiştir. 1x TAE tamponu içinde ilk olarak 5 dakika 200 voltta sonraki 16 saat boyunca 85 voltta koşturulmuştur (Şekil 9.210). Elektroforez sıcaklığı 60oC dir. Elektroforez işleminden sonra Gelbond PAG film tarafından sağlanan jel çıkartılmış ve Sanguinetti (1994) tarafından yayınlanan protokole göre gümüş boyaması yapılmıştır (Şekil 9.211). DGJE bantlarının görüntüleri tarama yapılarak saklanmıştır.



Şekil 9.210 : DGJE için kullanılan elektroforez cihazı



Şekil 9.211 : DGJE jelinin boyanmasında kullanılan çalkalayıcı

Anaerobik reaktörlerde aşı olarak kullanılmış olan ‘Anaerobik Aşı’ çamuru yürütülen çalışmalarda elde edilen referans profil olarak kullanılmış olup numunelerdeki mikrobiyal topluluklarının birbirine olan benzerliğini veren dendogramlar BioNumerics v4.0 software package (Applied Maths) programı kullanılarak yapılmıştır.

9.3.5.5.Sonuçlar

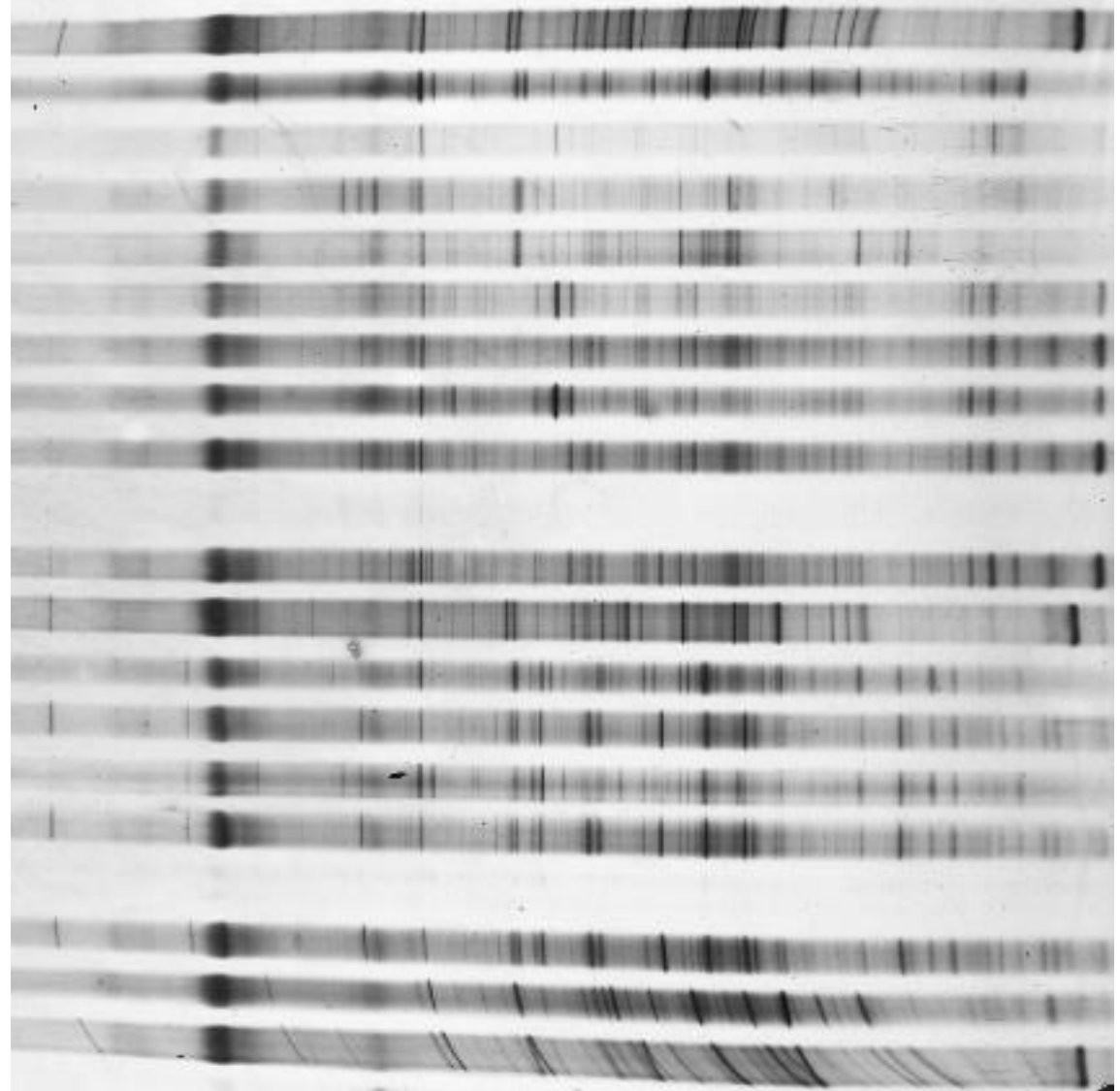
Numunelerden ekstrakte edilmiş olan DNA’ların PZR ile çoğaltılmasından elde edilmiş olan PZR ürünleri kullanılarak gerçekleştirilmiş DGJE jelleri ekte sunulmaktadır. DGJE Jel görüntüleri Şekil 9.212-Şekil 9.215 arasında verilmiştir.

Anaerobik Aşı t=0
Ankara Enzim An t=son
Nevşehir Enzim An t=son
Elazığ Enzim An t=son
GASKİ Enzim An t=son
Elazığ Ultra Aer t=son
Elazığ Ultra Aer T=0
Elazığ Mikro Aer t=son
Elazığ Mikro Aer T=0
Anaerobik Aşı t=0
Elazığ Kontrol Aer t=son
Elazığ Kontrol Aer T=0
Ankara Ultra Aer t=son
Ankara Ultra Aer T=0
Ankara Mikro Aer t=son
Ankara Mikro Aer T=0
Ankara Kontrol Aer t=son
Ankara Kontrol Aer T=0
Anaerobik Aşı t=0



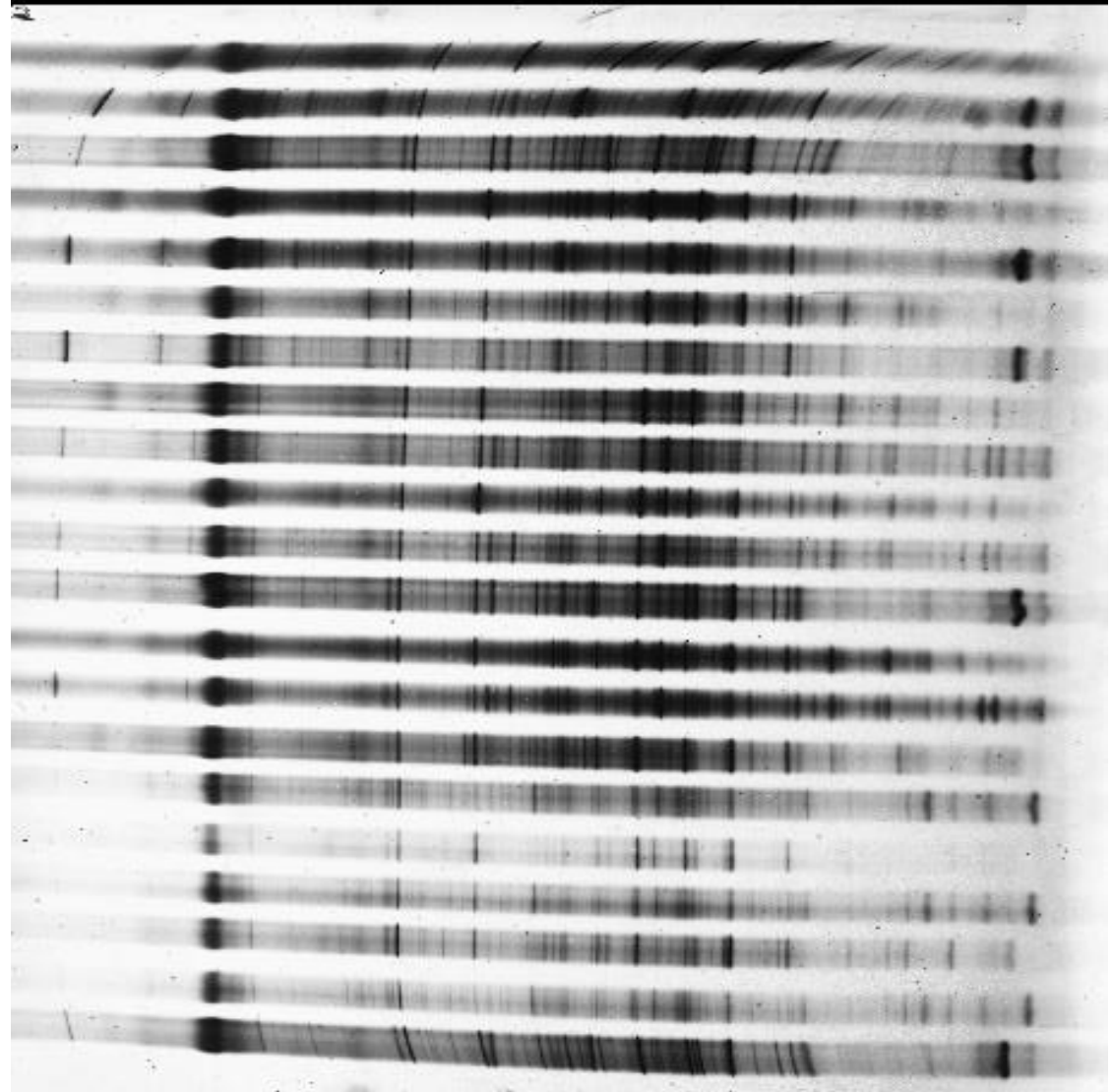
Şekil 9.212 : DGJE Jeli No.2

Anaerobik Aşı t=0
GASKİ Enzim Aer t=son
Nevşehir Enzim Aer t=son
Elazığ Enzim Aer t=son
Ankara Enzim Aer t=son
Nevşehir Ultra Aer t=son
Nevşehir Ultra Aer T=0
Nevşehir Mikro Aer t=son
Nevşehir Mikro Aer T=0
Nevşehir Kontrol Aer t=son
Nevşehir Kontrol Aer T=0
Anaerobik Aşı t=0
GASKİ Ultra Aer t=son
GASKİ Ultra Aer T=0
GASKİ Mikro Aer t=son
GASKİ Mikro Aer T=0
GASKİ Kontrol Aer t=son
GASKİ Kontrol Aer T=0
Anaerobik Aşı t=son
Anaerobik Aşı t=0



Şekil 9.213: DGJE Jeli No.2

Elazığ Mikro An t=son
Elazığ Ultra An T=0
Elazığ Ultra An t=son
Elazığ Mikro An T=0
Elazığ Kontrol An t=son
Elazığ Kontrol An T=0
GASKİ Ultra An t=son
GASKİ Ultra An t=0
GASKİ Mikro An t=son
GASKİ Mikro An t=0
Anaerobik Aşı t=0
GASKİ Kontrol An t=son
GASKİ Kontrol An T=0
Nevşehir Ultra An t=son
Nevşehir Ultra An t=0
Nevşehir Mikro An t=son
Nevşehir Mikro An t=0
Nevşehir Kontrol An t=son
Nevşehir Kontrol An t=0
Anaerobik Aşı t=0



Şekil 9.214 : DGJE Jeli No.3

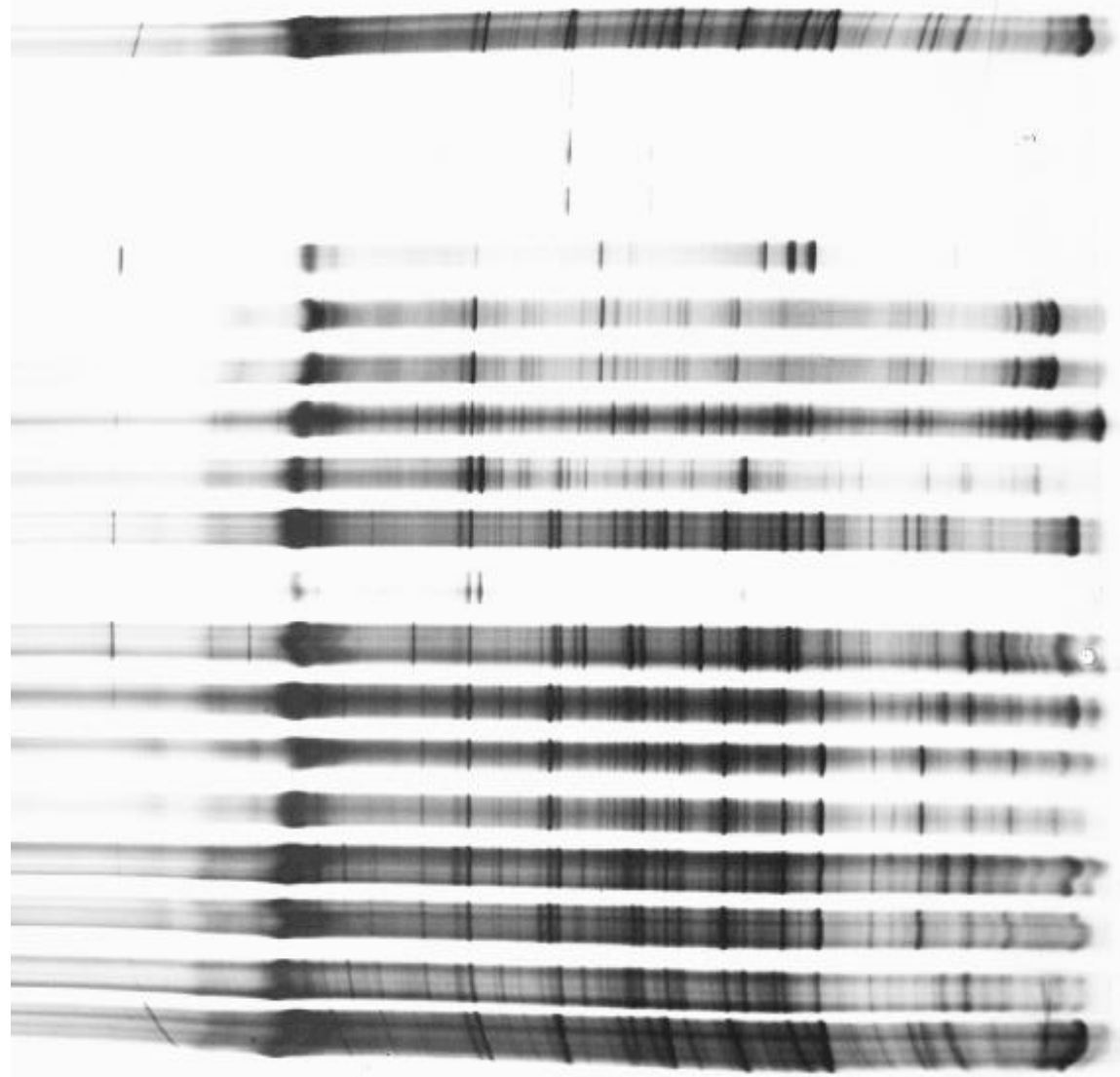
Anaerobik Aşı t=0

Nevşehir Kontrol Aer t=son
Nevşehir Kontrol Aer t=son
9A

GASKİ Kontrol Aer t=son
Anaerobik Aşı t=0

12A

Ankara Ultra An t=son
Ankara Ultra An t=0
Ankara Mikro An t=son
Ankara Mikro An t=0
Ankara Kontrol An t=son
Ankara Kontrol An t=0
Anaerobik Aşı t=0



Şekil 9.215 : DGJE Jeli No.4

9.3.5.6. Denatüran Gradyan Jel Elektrophorez Jellerinin Değerlendirilmesi

Projenin stabilizasyon iş paketi kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda aerobik ve anaerobik stabilizasyon çalışmalarına yönelik laboratuvar ölçekli sistemler kurularak 7 Bölgeden temsili olarak seçilmiş olan evsel ve kentsel AAT'lerin son çökeltim havuzu çamur geri devir hatlarından alınan çamur örnekleri ile deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

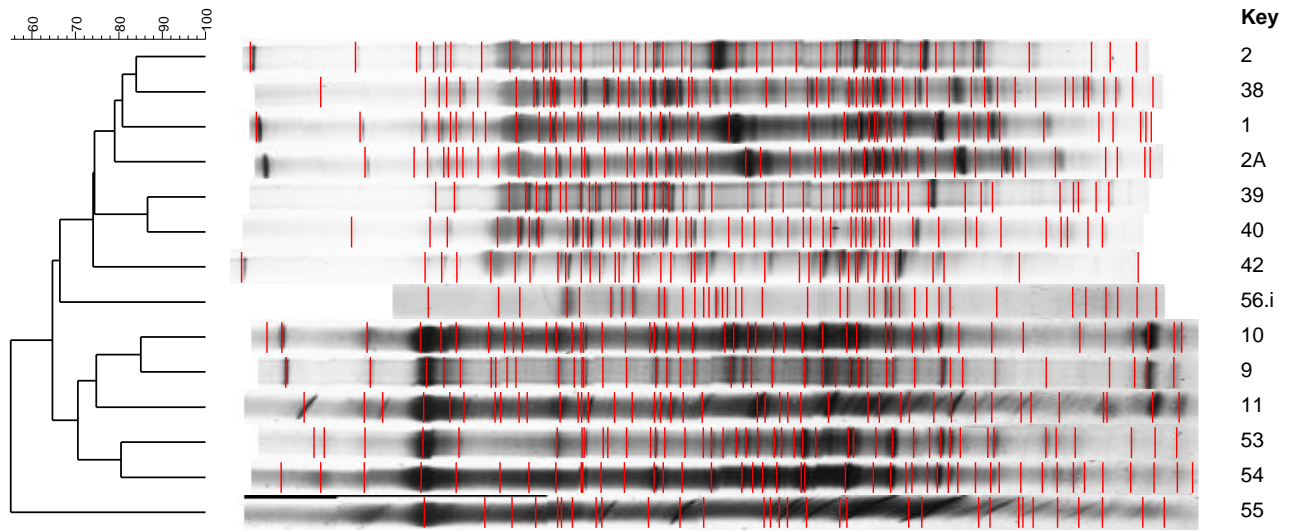
Çamurların biyolojik bozunabilirliğinin artırılarak stabilizasyon veriminin ve anaerobik stabilizasyon sırasında oluşan biyogaz kalitesi ve miktarının artırılması ve çamur miktarının azaltılması amaçlanarak çamurlara, ultrasonikasyon ve mikrodalga dezentegrasyon yöntemleri uygulanmıştır. Biyolojik dezentegrasyon yöntemi olan enzim ön-arıtımı ise uygulama yönteminin gereği olarak stabilizasyon öncesinde arıtma çamurlarına tatbik edilmiştir. Hem işlem görmeden çürütülmüş (kontrol çamur) hem de dezentegre edildikten sonra çürütülen çamurların çürütülme esnasında mikrobiyal yapılarında meydana gelen değişimlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Stabilizasyon işleminin başında ($t=0$) ve sonunda ($t=son$) alınan numunelerde DNA ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen genomik DNA polimeraz zincir reaksiyonu ile çoğaltılmış ve çamurlarda oluşmuş olan mikrobiyal popülasyon değişiklikleri denatüran gradyan jel elektrophorezi yöntemi ile incelenmiştir.

Bu kapsamda elde edilen jellerde ilgili numunelerde elde edilmiş olan bantların sayıları ve jeldeki pozisyonları baz alınarak benzerlik analizi gerçekleştirilmiştir. Dendogramlar ve benzerlik matrisleri oluşturulmuştur.

Ankara ili arıtma çamurunda gerçekleştirilmiş olan DGJE bant paterni benzerlik analizi neticesinde ön işlemden geçirilmeden anaerobik stabilizasyona tabii tutulmuş olan Kontrol çamurlarında %18.37 oranında bir farklılaşma olduğu görülmektedir. Mikrodalga işlemi uygulanmış olan çamurun anaerobik stabilizasyon sonrasında başlangıç ile %16.5 farklılaşma görülmüştür. Ultrasonikasyon işleminden geçmiş çamurda %25.5 farklılaşma tespit edilirken, enzim ilavesinden sonra anaerobik stabilizasyona giren çamurda is %45 farklılık olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.216 ve Tablo 9.156).

Elazığ ili arıtma çamurunda gerçekleştirilmiş olan DGJE bant paterni benzerlik analizi neticesinde ön işlemde geçirilmeden aerobik stabilizasyona girmiş olan Kontrol çamurlarında %19.6 oranında bir farklılaşma olduğu görülmektedir. Mikrodalga işlemi uygulanmış olan çamurun aerobik stabilizasyon sonrasında başlangıç ile %30.4 farklılaşma görülmüştür. Ultrasonikasyon işleminden geçmiş çamurda %21 farklılaşma tespit edilirken, enzim ilavesinden sonra aerobik stabilizasyona giren çamurda is %30 farklılık olduğu belirlenmiştir. (Şekil 9.217ve Tablo 9.157)



Şekil 9.217 : Elazığ ili arıtma çamuru popülasyon değişimi

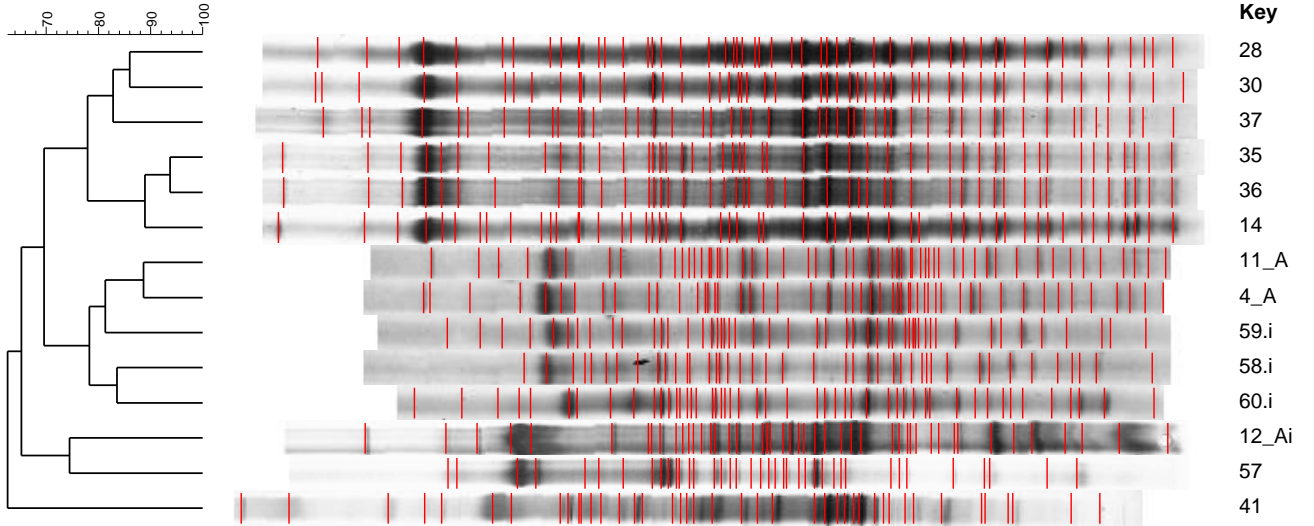
Elazığ ili çamurunda gerçekleştirilmiş anaerobik stabilizasyon çalışmalarının mikrobiyal popülasyon üzerine olan etkileri incelendiğinde de mikrodalga prosesinde popülasyon değişimi %43 iken, kontrol, enzim ve ultrasonikasyon ön işlemine tabii tutulmuş olan çamurların anaerobik stabilizasyonu neticesinde gerçekleşen farklılaşmanın sırasıyla %26, %33 ve %33 olduğu belirlenmiştir. (Şekil 7.202 ve Tablo 7.210)

Tablo 9.157 : Elazığ ili Popülasyon Benzelik Haritası

2	Elazığ Ultra Aer t=0	100																
38	Elazığ Kontrol Aer t=son	84	100															
1	Elazığ Mikro Aer t=0	79.12	82.48	100														
2A	Elazığ Kontrol Aer t=0	79.17	80.39	77.42	100													
39	Elazığ Mikro Aer t=son	75.79	83.17	69.57	72.17	100												
40	Elazığ Ultra Aer t=son	79.17	74.51	68.82	71.43	86.6	100											
42	Elazığ Enzim An t=son	81.4	73.91	67.47	72.73	71.27	77.27	100										
56	Elazığ Enzim Aer t=son	62.79	69.57	60.25	70.46	66.67	68.19	66.67	100									
10	Elazığ Mikro An t=0	68.82	64.65	68.89	69.47	65.96	69.47	63.53	68.24	100								
9	Elazığ Kontrol An t=0	65.91	63.83	65.89	71.11	62.93	71.11	67.51	67.51	85.06	100							
11	Elazığ Ultra An t=0	60.68	69.47	67.45	72.53	66.67	63.74	59.26	54.32	77.27	72.29	100						
53	Elazığ Kontrol An t=son	55.56	62.5	62.07	60.87	63.74	65.22	60.98	65.85	74.16	73.81	65.89	100					
54	Elazığ Ultra An t=son	61.54	70.11	56.82	60.22	63.05	64.52	57.83	65.06	71.11	70.59	67.45	80.46	100				
55	Elazığ Mikro An t=son	53.85	59.53	48	60	55.7	52.5	51.43	51.43	57.15	50	60.27	59.46	56.01				

Gaziantep ili arıtma çamurunda gerçekleştirilmiş olan DGJE bant paterni benzerlik analizi neticesinde ön işlemden geçirilmeden anaerobik stabilizasyona girmiş olan Kontrol çamurlarında %19 oranında bir farklılaşma olduğu görülmektedir. Enzim ilavesi yapılmış olan çamurun anaerobik stabilizasyon sonrasında başlangıç ile aralarında %35.5 farklılaşma görülmüştür. Ultrasonikasyon işleminden geçmiş çamurda %24 farklılaşma tespit edilirken, mikrodalga parçalama işleminden sonra anaerobik stabilizasyona giren çamurda is %27 farklılık olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.218 ve Tablo 9.158).

Gaziantep ili çamurunda gerçekleştirilmiş aerobik stabilizasyon çalışmalarının mikrobiyal popülasyon üzerine olan etkileri incelendiğinde de enzim ilavesinde popülasyon değişimi %27 iken, kontrol, mikrodalga ve ultrasonikasyon ön işleme tabii tutulmuş olan çamurların anaerobik stabilizasyonu neticesinde gerçekleşen farklılaşmanın sırasıyla %26, %20 ve %15 olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.218ve Tablo 9.158).

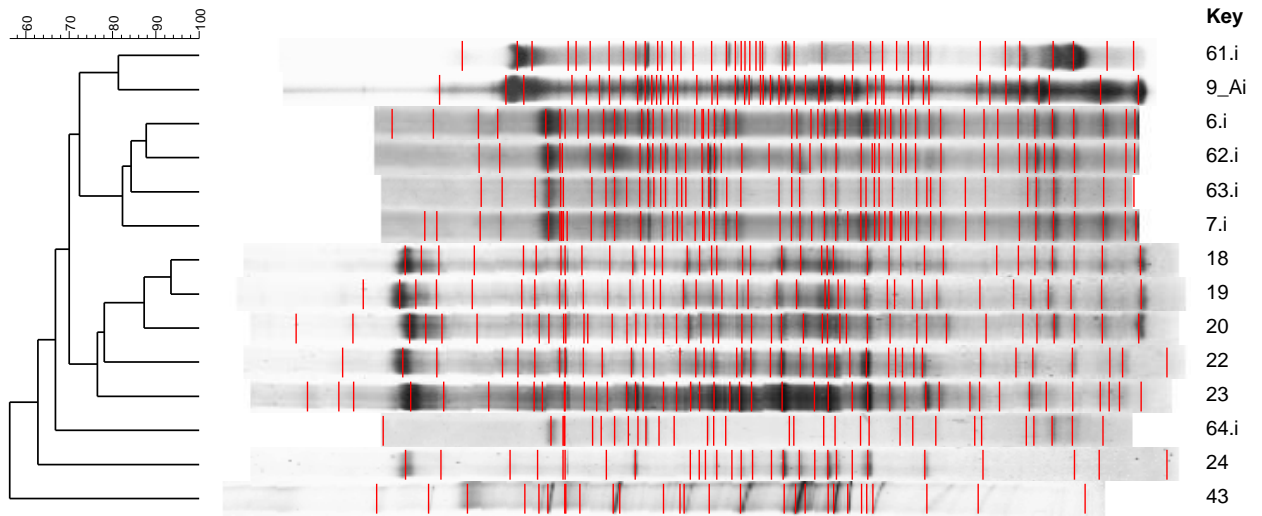


Şekil 9.218 : Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi arıtma çamuru popülasyon değişimi

Tablo 9.158 : Gaziantep ili Popülasyon Benzelik Haritası

28	GASKİ Kontrol An t=son	100																
30	GASKİ Mikro An t=son	86	100															
37	GASKİ Ultra An t=son	80.81	84.85	100														
35	GASKİ Mikro An t=0	83.67	73.47	74.23	100													
36	GASKİ Ultra An t=0	83.67	75.51	76.29	93.75	100												
14	GASKİ Kontrol An t=0	83.17	73.27	78.01	90.91	86.87	100											
11A	GASKİ Ultra Aer t=0	72.38	74.29	73.08	69.91	71.85	66.04	100										
4A	GASKİ Mikro Aer t=0	71.29	75.25	72	68.69	68.69	66.67	88.68	100									
59	GASKİ Ultra Aer t=son	72.73	72.73	69.39	63.92	65.98	66.01	84.62	78.01	100								
58	GASKİ Mikro Aer t=son	67.39	71.74	72.53	66.67	64.45	64.52	80.41	79.57	79.12	100							
60	GASKİ Enzim Aer t=son	74.75	78.79	69.39	63.92	70.11	62	78.85	74	77.55	83.52	100						
12A	GASKİ Kontrol Aer t=0	61.86	63.92	62.5	63.16	63.16	63.27	74.51	67.35	72.92	69.67	72.92	100					
57	GASKİ Kontrol Aer t=son	67.42	65.17	61.37	64.37	66.67	60	59.58	57.78	61.37	64.2	70.46	74.42	100				
41	GASKİ Enzim An t=son	60.87	65.22	68.13	57.78	62.23	64.52	59.79	60.22	65.94	66.67	65.94	53.93	61.73	100			

Nevşehir ili arıtma çamurunda gerçekleştirilmiş olan DGJE bant paterni benzerlik analizi neticesinde ön işlemde geçirilmeden aerobik stabilizasyona girmiş olan Kontrol çamurlarında %19 oranında bir farklılaşma olduğu görülmektedir. Enzim ilavesi yapılmış olan çamurun aerobik stabilizasyon sonrasında başlangıç ile aralarında %34 farklılaşma görülmüştür. Ultrasonikasyon işleminden geçmiş çamurda %18 farklılaşma tespit edilirken, mikrodalga parçalama işleminden sonra anaerobik stabilizasyona giren çamurda is %12 farklılık olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.219 ve Tablo 9.159).



Şekil 9.219 : Nevşehir ili arıtma çamuru popülasyon değişimi

Nevşehir ili çamurunda gerçekleştirilmiş anaerobik stabilizasyon çalışmalarının mikrobiyal popülasyon üzerine olan etkileri incelendiğinde de enzim ilavesinde popülasyon değişimi %41 iken, mikrodalga prosesinde değişim miktarı %32'dir. Son olarak kontrol ve ultrasonikasyon ön işlemine tabii tutulmuş olan çamurların anaerobik stabilizasyonu neticesinde gerçekleşen farklılaşmaların sırasıyla %20 seviyesinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.219 ve Tablo 9.159).

Tablo 9.159 : Nevşehir ili Popülasyon Benzelik Haritası

61	Nevşehir Kontrol Aer t=son	100																
9A	Nevşehir Kontrol Aer t=0	81.32	100															
6	Nevşehir Mikro Aer t=0	68.09	77.23	100														
62	Nevşehir Mikro Aer t=son	68.19	77.9	87.76	100													
63	Nevşehir Ultra Aer t=son	72.73	80.01	83.67	84.79	100												
7	Nevşehir Ultra Aer t=0	62.5	71.85	84.91	80.01	82	100											
18	Nevşehir Mikro An t=0	70.89	65.12	71.91	69.88	67.47	63.74	100										
19	Nevşehir Kontrol An t=0	75.61	74.16	73.91	69.77	72.09	68.09	93.51	100									
20	Nevşehir Ultra An t=0	74.42	68.82	72.92	66.67	73.33	67.35	86.42	88.1	100								
22	Nevşehir Kontrol An t=son	68.29	74.16	67.39	69.77	65.12	65.96	77.93	80.01	76.19	100							
23	Nevşehir Ultra An t=son	72.09	64.52	72.92	68.89	75.56	67.35	74.08	76.19	79.55	76.19	100						
64	Nevşehir Enzim Aer t=son	61.33	65.85	70.59	70.89	75.95	68.97	62.86	63.01	67.53	57.54	70.13	100					
24	Nevşehir Mikro An t=son	62.86	57.15	57.5	56.76	62.17	58.54	67.69	67.65	69.45	76.47	63.89	52.46	100				
43	Nevşehir Enzim An t=son	57.15	54.55	57.5	51.35	56.76	53.66	55.39	58.83	61.11	55.89	55.56	55.74	57.15	100			

9.3.5.7.Değerlendirme

Gerçekleştirilmiş olan çalışmalar kapsamında herhangi bir ön işleme maruz bırakılmadan çürütülmüş olan kontrol çamurlarının mikrobiyal popülasyonlarında ortalama %20 farklılaşma gözlenmiştir.

Kontrol çamuru ile birlikte ön-işleme tabi tutulmuş olan çamurlardaki popülasyon farklılaşması incelendiği zaman hem aerobik hem de anaerobik çürütme prosesi sonucunda en yüksek farklılaşmanın enzim ilavesi ile biyolojik dezentagasyon sonucunda olduğu görülmektedir.

9.4. Uygulanan Aerobik ve Anaerobik Stabilizasyon Çalışmalarının Tüm Bölgeler Bazında Değerlendirilmesi

İP 9 kapsamında BU, İTÜ ve DEÜ tarafından uygulanan aerobik ve anaerobik stabilizasyon çalışmalarının bölgesel bazda incelemelerine ilişkin hazırlanan değerlendirme raporu aşağıda verilmektedir.

9.4.1. Aerobik Stabilizasyon Uygulamalarının Bölgesel Bazda Değerlendirilmesi

İP 9 kapsamında aerobik stabilizasyon uygulamalarına yönelik gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler “evsel” ve “kentsel” olarak iki ayrı grup altında ve bölgesel bazda incelenmiştir.

Aerobik stabilizasyon veriminin göstergesi olan beş temel parametrenin (% KOİ giderimi, % UKM giderimi, % UAKM giderimi, UKM/TKM ve UAKM/TAKM oranları) stabilizasyon öncesi ve sonrası bölgesel bazdaki değişimleri aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur.

Tüm tesisler göz önüne alındığında, uygulanan dezentegrasyon işlemlerinin (ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim ön arıtımı) aerobik stabilizasyon üzerine etkilerinin bölgesel olarak farklılıklar gösterdiği saptanmıştır. Bazı bölgelerde uygulanan dezentegrasyon işlemleri stabilizasyon verimini iyileştirici etkide bulunurken, bazı bölgelerde ise stabilizasyonu olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Marmara ve Karadeniz Bölgesi çamur numunelerinde gerçekleştirilen aerobik stabilizasyon sonuçlarına göre gerek TKOİ, gerekse UKM ve UAKM parametreleri açısından en düşük giderim verimleri kontrol reaktörlerinde elde edilmiş olup, tüm tesislerde uygulanan dezentegrasyon işlemleri kontrol reaktörüne kıyasla stabilizasyon verimini artırmıştır.

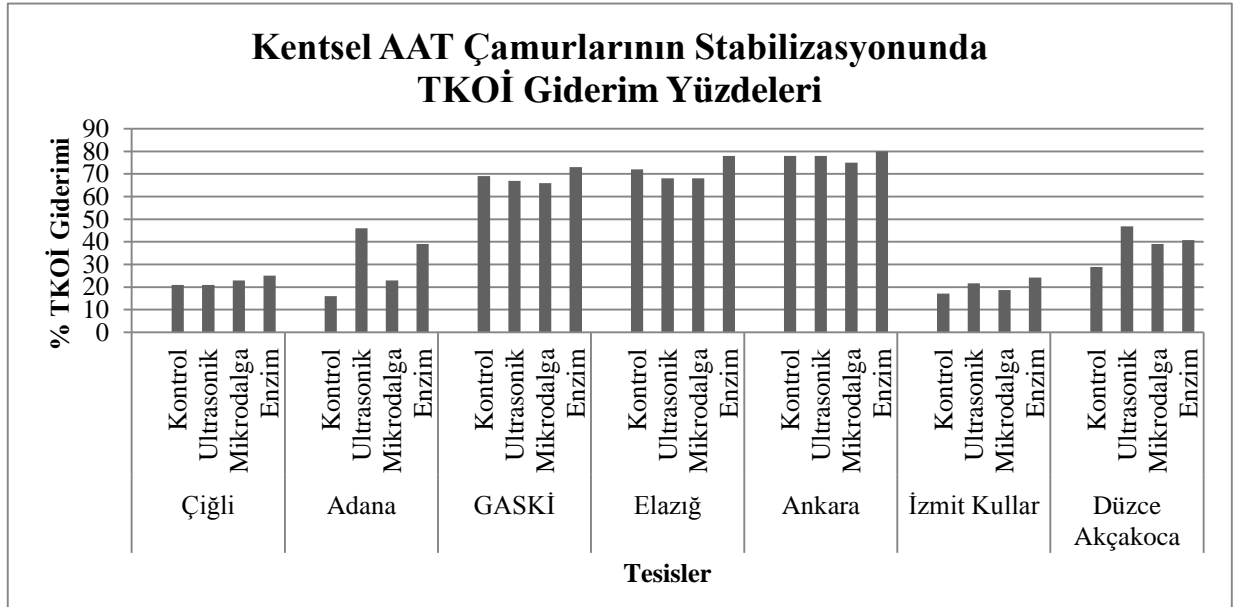
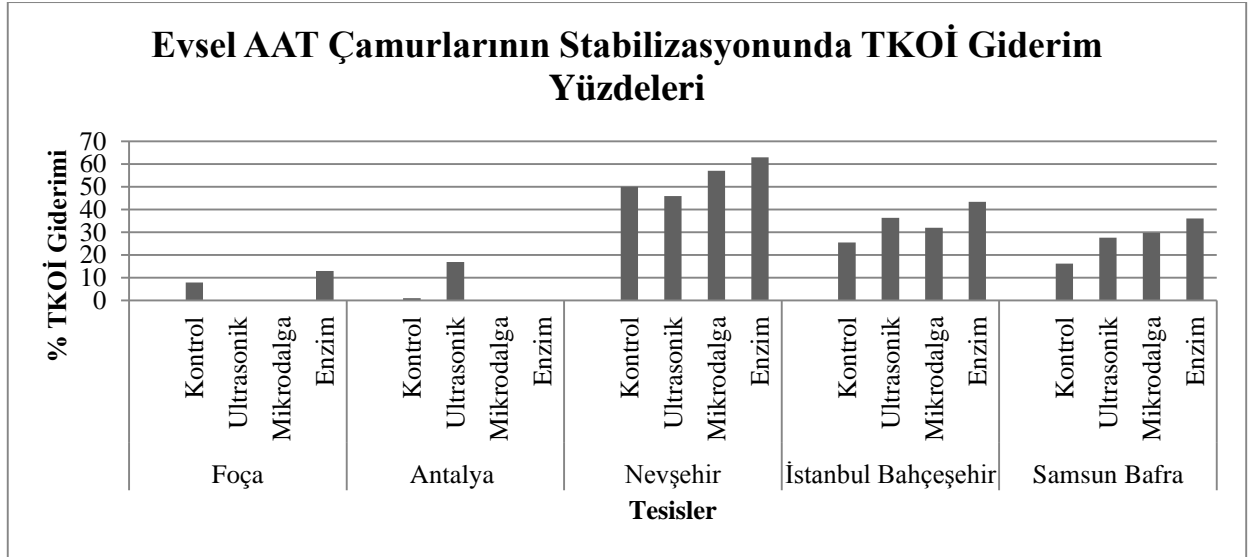
Ayrıca, atıksu niteliği göz önüne alındığında, farklı bölgeler için en etkili dezentegrasyon uygulaması da değişim gösterebilmektedir. Örneğin; % TKOİ giderimi cinsinden Karadeniz Bölgesi'nde seçilen evsel nitelikli Samsun Bafra AAT için en etkili dezentegrasyon yöntemi enzim ön arıtımı iken, aynı bölgede seçilen kentsel nitelikli Düzce Akçakoca AAT için bu yöntem ultrasonikasyon olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte % UKM giderimi açısından incelendiğinde örneğin Ege Bölgesi'nde seçilen Çiğli (kentsel) ve Foça (evsel) AAT'leri için en etkili dezentegrasyon yöntemi her iki tesis için de enzim ön arıtımı olarak belirlenmiştir.

9.4.1.1.TKOİ Giderimi Açısından Genel Değerlendirme

Türkiye'deki 7 bölgeden temsili olarak seçilen evsel ve kentsel AAT çamurlarının stabilizasyonu sonucunda elde edilen % TKOİ giderimleri Şekil 9.220.a ve Şekil 9.220.b 'de görülmektedir. Evsel tesislerin TKOİ giderim verileri incelendiğinde, Antalya AAT hariç, tüm tesislerde enzim uygulamasının kontrol ve diğer iki dezentegrasyon yöntemi olan ultrasonikasyon ve mikrodalga ön arıtım işlemlerinin uygulandığı reaktörlere kıyasla en etkili dezentegrasyon yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Antalya AAT çamurlarına

stabilizasyon öncesinde ultrasonik ve enzim dezentegrasyonu uygulanan reaktörlerde hiç bir giderim gerçekleştirilemediği, kontrol reaktöründe çok az bir giderim olduğu, ve mikrodalga uygulamasının ise tek etkili dezentegrasyon yöntemi olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Foça AAT çamurlarına stabilizasyon öncesinde uygulanan ultrasonik ve mikrodalga dezentegrasyonlarının TKOİ giderimi açısından bir etkilerinin olmadığı, enzim uygulamasının yapıldığı reaktörde ise giderimin kontrol reaktörüne kıyasla çok az bir farkla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Nevşehir AAT çamurlarının stabilizasyonunda ultrasonik ön arıtım uygulanan reaktörde, kontrol reaktörüne göre daha düşük giderim gerçekleştiği gözlenmiştir. TKOİ giderimi açısından tüm evsel tesislerde en etkili yöntem olan enzim uygulamasını mikrodalga uygulamasının takip ettiği belirlenmiştir. Marmara ve Karadeniz Bölgeleri'ndeki TKOİ giderim verimleri yaklaşık %30-40 arasında değişirken, bu değerler Akdeniz ve İç Anadolu Bölgeleri'nde sırasıyla %10-20 ve %30-70 arasında değişmektedir.

Kentsel tesislerin çamurlarının stabilizasyonundan elde edilen TKOİ giderim verimleri incelendiğinde, 7 bölgenin 5'inde en etkili yöntemin enzim dezentegrasyonu olduğu, diğer 2 bölgede ise ultrasonikasyon uygulamasının daha yüksek giderim gerçekleştirdiği tespit edilmiştir (Şekil 7.205.b). Tüm bölgelerin TKOİ giderimlerine bakıldığında, genel olarak stabilizasyon öncesinde çamurlara dezentegrasyon uygulanması ile elde edilen giderimlerin kontrol reaktörlerden elde edilen giderimlere yakın değerler olduğu belirlenmiştir. GASKİ AAT ultrasonikasyon ve mikrodalga, Elazığ AAT ultrasonikasyon ve mikrodalga ve Ankara AAT mikrodalga uygulamalarında ise TKOİ giderimlerinin kontrol reaktörlerine göre daha düşük oldukları gözlenmiştir. Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgeleri'ndeki tesislerin TKOİ giderimleri % 65-80 arasında değişirken, Ege, Akdeniz, Marmara ve Karadeniz Bölgeleri'ndeki giderimler %15-45 arasında değişmektedir. Evsel ve kentsel tesisler birbirleri ile karşılaştırıldığında, kentsel tesislerin çamurlarının stabilizasyonu sonucunda daha yüksek TKOİ giderim yüzdelerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ancak, dezentegrasyon uygulanmış reaktörler, kontrol reaktörleri ile kıyaslandığında, dezentegrasyonun etkisinin evsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda daha belirgin olduğu görülmüştür.



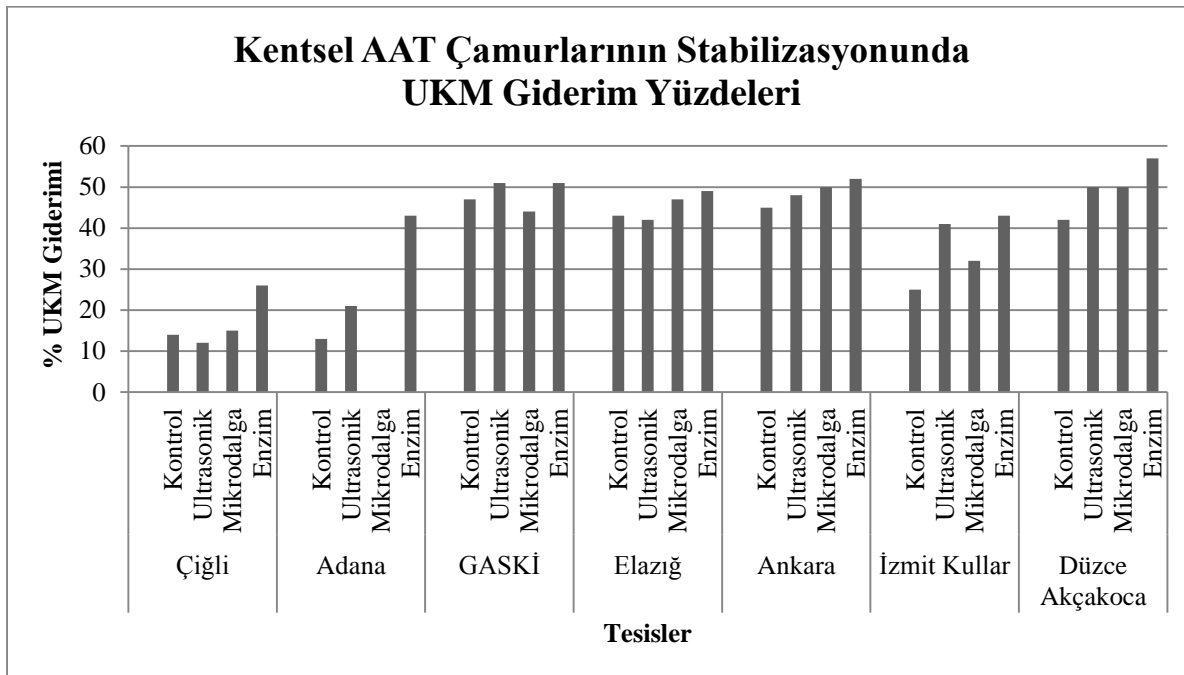
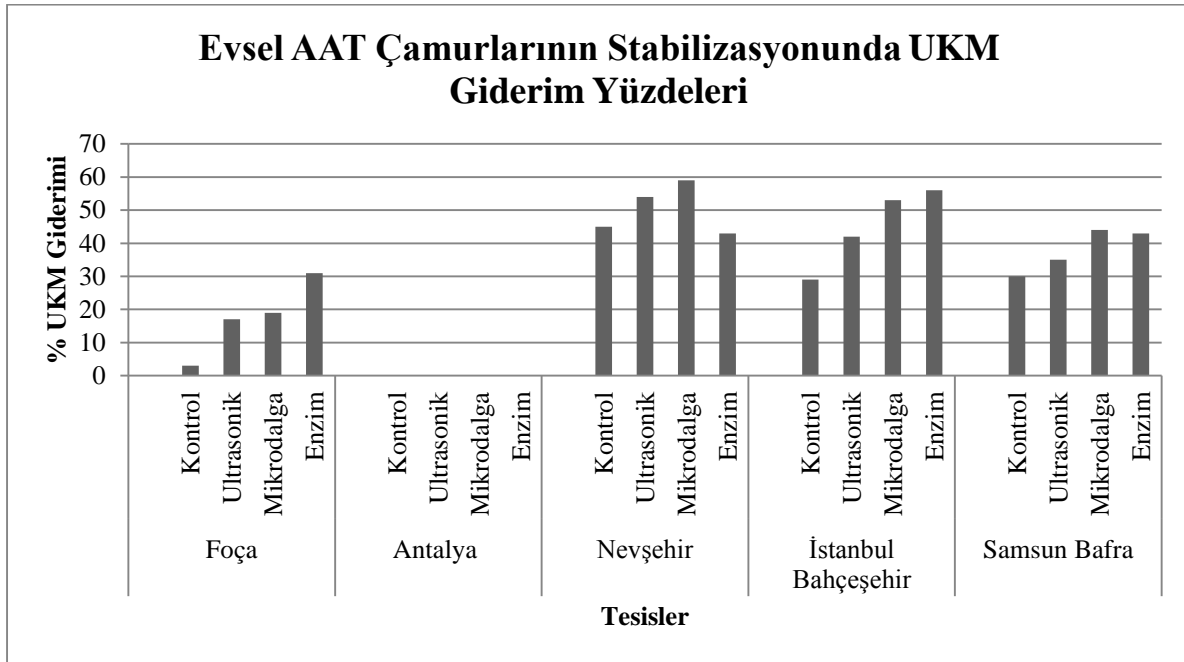
Şekil 9.220 : (a) Evsel AAT çamurlarının aerobik stabilizasyonunda bölgesel bazda TKOİ giderim yüzdeleri (b) Kentsel AAT çamurlarının aerobik stabilizasyonunda bölgesel bazda TKOİ giderim yüzdeleri

9.4.1.2.UKM Giderimi Açısından Genel Değerlendirme

Yedi bölgedeki evsel ve kentsel AAT'lerin UKM giderim verimleri Şekil 9.221.a ve Şekil 9.221.b'de gösterilmiştir.

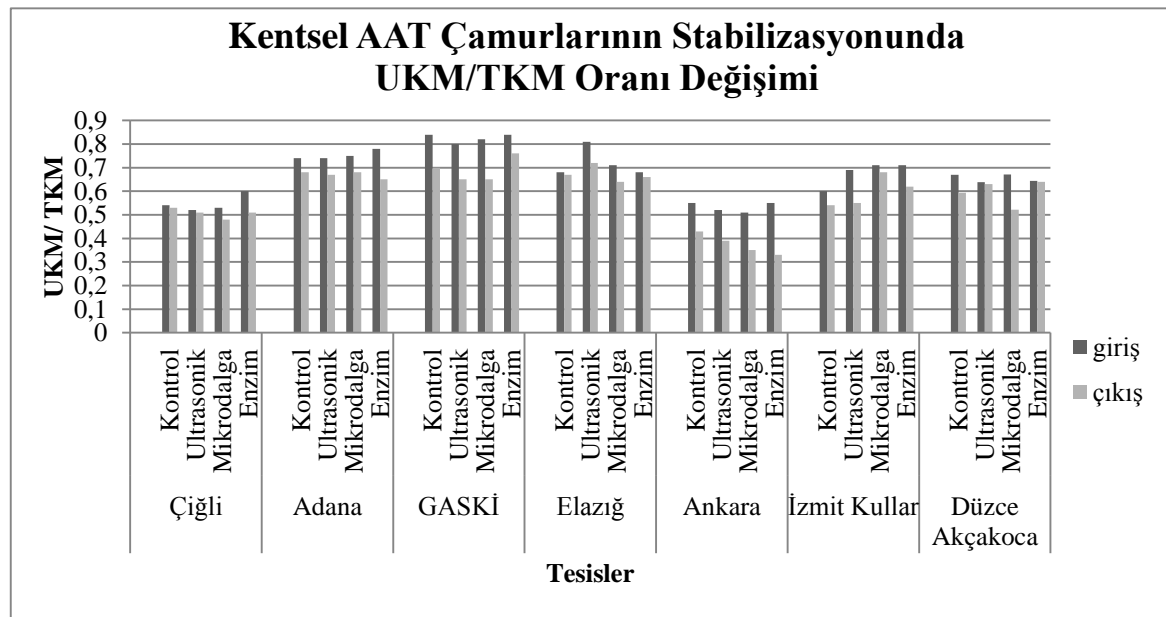
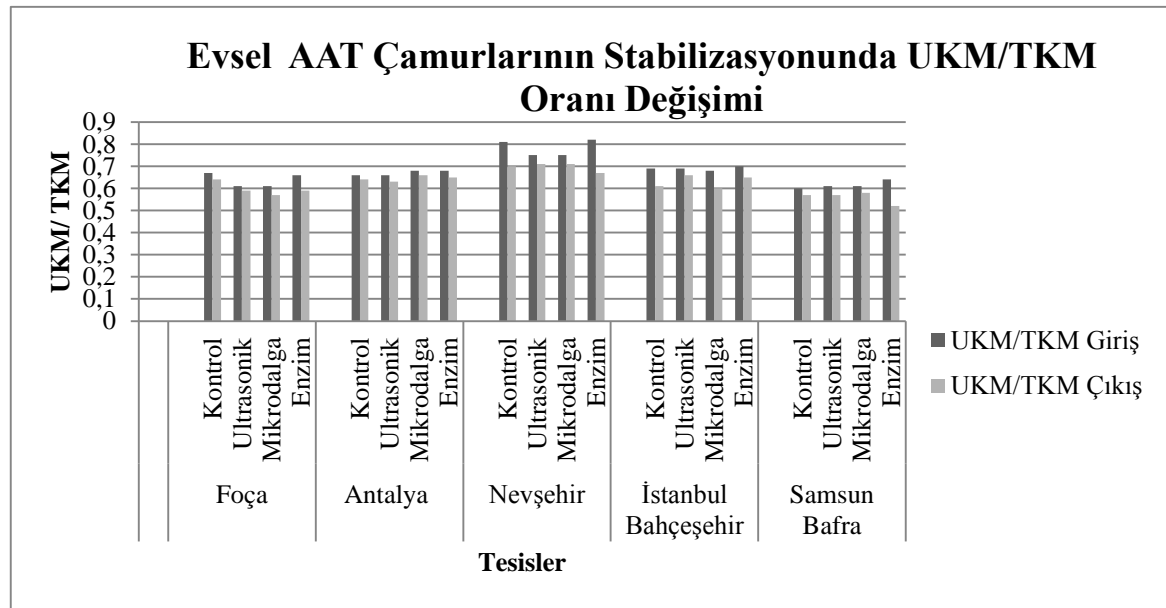
Evsel AAT çamurlarının aerobik stabilizasyonu sonucunda elde edilen UKM giderimleri incelendiğinde, Antalya AAT'de hiç bir reaktörde (dezentegrasyon uygulanan ve uygulanmayan) giderim elde edilemediği dikkat çekmektedir (Şekil 9.221a). Diğer evsel tesislerde, bölgesel bazda UKM giderimi açısından en etkili yöntemin Marmara ve Ege Bölgelerinde enzim dezentegrasyonu, Karadeniz ve İç Anadolu Bölgeleri için ise

mikrodalga uygulaması olduğu belirlenmiştir. İç Anadolu, Marmara ve Karadeniz Bölgeleri için UKM giderim verimleri % 20-55 arasında değişirken, Ege Bölgesi'ndeki en yüksek giderim verimi %30'dur.



Şekil 9.221 : (a) Evsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda bölgesel bazda UKM giderim Yüzdeleri (b) Kentsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda bölgesel bazda UKM giderim yüzdeleri

Kentsel AAT çamurlarının aerobik stabilizasyonu sonucunda elde edilen UKM giderim verimleri incelendiğinde, tüm bölgelerde en yüksek giderimlerin enzim dezenteğrasyonu uygulanan reaktörlerde olduğu belirlenmiştir. Enzim dezenteğrasyonundan sonra en etkili yöntemin Ege, Doğu Anadolu, İç Anadolu, ve Karadeniz Bölgeleri için mikrodalga dezenteğrasyonu, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Marmara Bölgeleri için ise ultrasonikasyon dezenteğrasyonu olduğu belirlenmiştir. Ege ve Akdeniz Bölgeleri dışındaki bölgelerde UKM giderim verimleri % 40-55 arasında değişirken, bu iki bölgede %15-25 arasında değişmektedir.



şekil 9.222 : (a) Evsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda bölgesel bazda UKM/TKM oranı değişimleri (b) Kentsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda bölgesel bazda UKM/TKM oranı değişimleri

Stabilizasyonun önemli bir göstergesi olan UKM/TKM oranı değişimleri evsel ve kentsel AAT çamurları için Şekil 9.222.a ve Şekil 9.222.b'de gösterilmiştir. Zamanla azalan UKM/TKM oranları stabilizasyonun etkili bir şekilde gerçekleştirildiğinin göstergesidir. Şekil Şekil 9.222.a. incelendiğinde, evsel tesisler için tüm bölgelerde UKM/TKM oranlarının zamanla beklenen şekilde azaldığı görülmektedir.

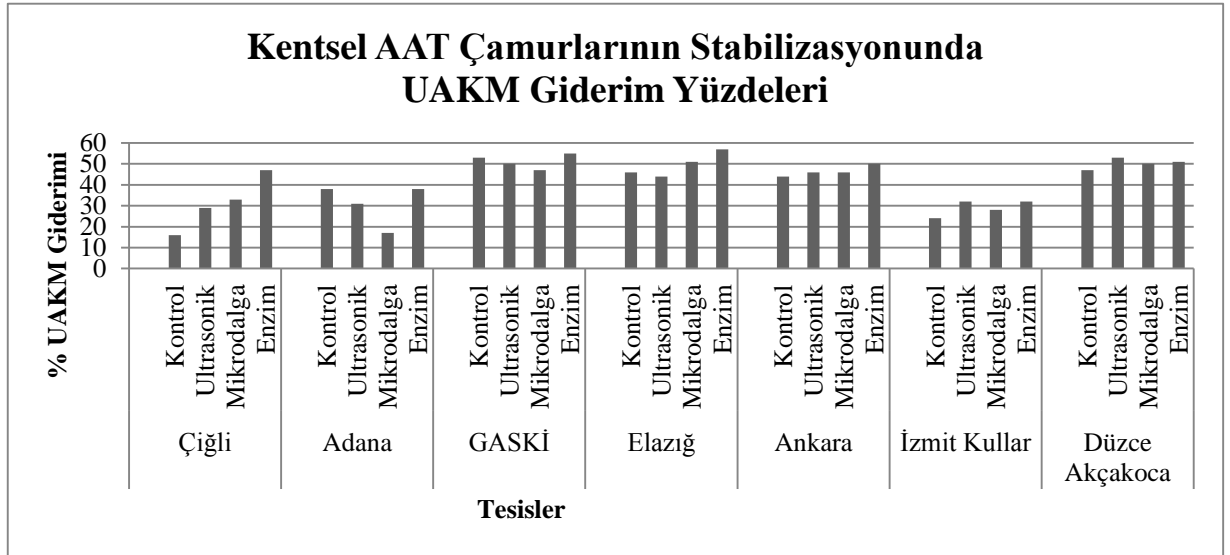
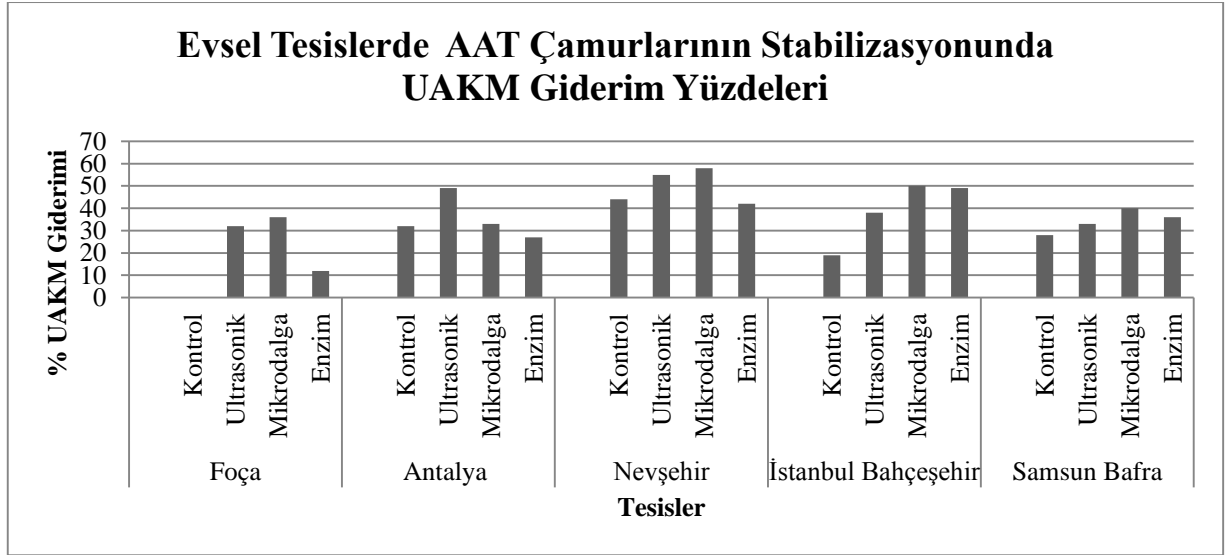
Kentsel AAT çamurlarının stabilizasyonu sonucunda elde edilen UKM/TKM oranı değişimlerine bakıldığında, evsel AAT çamurlarının stabilizasyonundan elde edilenlere kıyasla daha yüksek değişimler tespit edilmiştir. Özellikle Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgeleri'nde UKM/TKM oranı değişimleri diğer bölgelere oranla oldukça yüksektir.

9.4.1.3.UAKM Giderimi Açısından Genel Değerlendirme

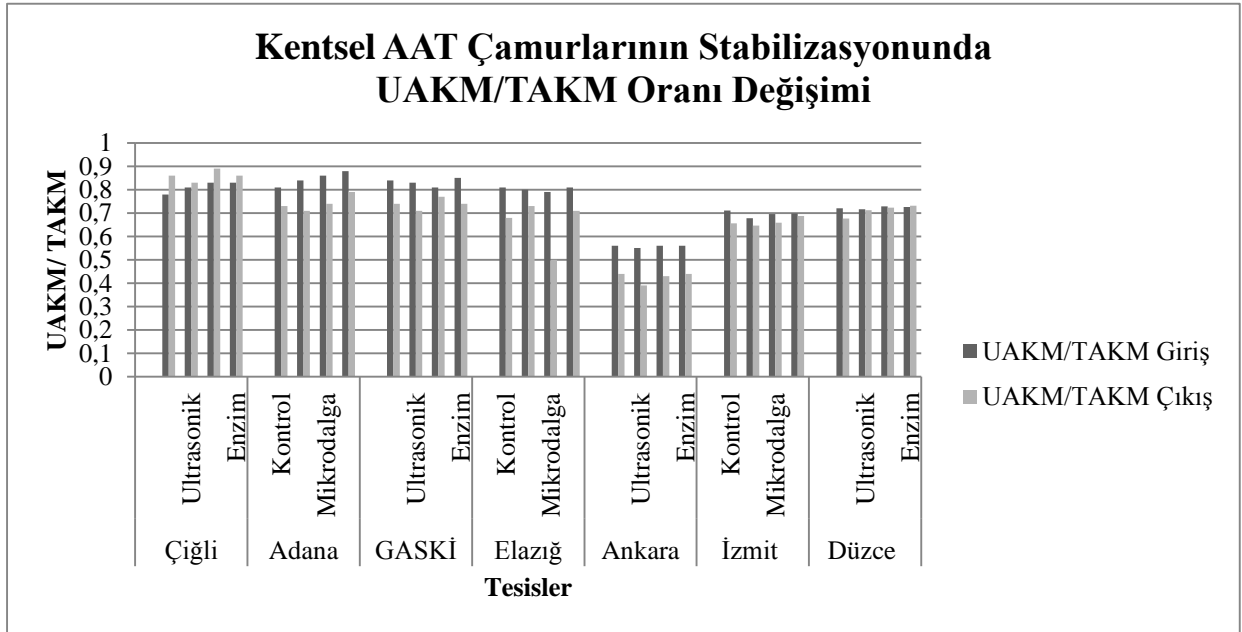
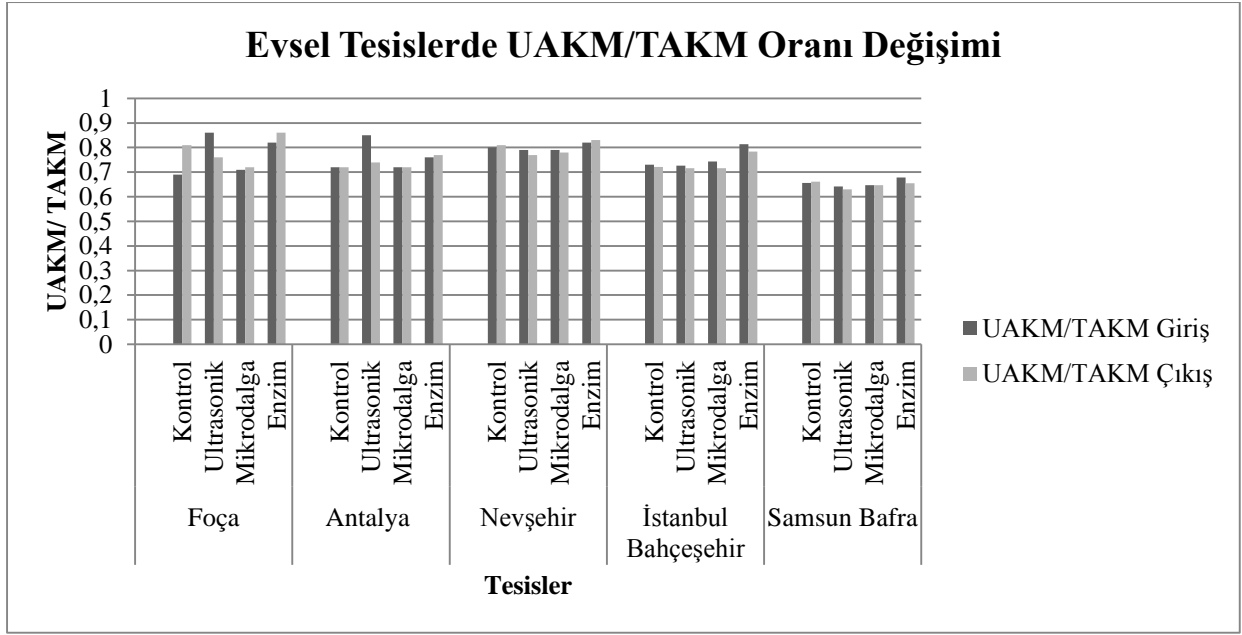
Şekil 9.223.a ve Şekil 9.223.b'de gösterilen evsel AAT çamurlarının stabilizasyonu sonucunda elde edilen UAKM giderim yüzdeleri incelendiğinde, Akdeniz Bölgesi (Antalya AAT) hariç tüm bölgelerde mikrodalga uygulamasının UAKM giderimi açısından en etkili dezentegrasyon yöntemi olduğu belirlenmiştir. Kentsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda ise, tüm bölgelerde en yüksek UAKM giderim yüzdelerine mikrodalga dezentegrasyonu değil, enzim dezentegrasyonu sonucunda ulaşıldığı gözlenmiştir. Ultrasonikasyon dezentegrasyonu kentsel nitelikli atıksu arıtma çamurların stabilizasyonunda ikinci etkili yöntem olarak tespit edilmiştir.

Ege Bölgesi'ndeki evsel nitelikli atıksu arıtma çamurların stabilizasyonunda en etkili yöntem mikrodalga iken, Ege Bölgesi'ndeki kentsel nitelikli atıksu arıtma çamurlarının stabilizasyonunda en etkili yöntem enzim dezentegrasyonudur. Akdeniz Bölgesi'ndeki evsel nitelikli atıksu arıtma çamurlarının stabilizasyonu için ultrasonikasyon, kentsel nitelikli atıksu arıtma çamurların stabilizasyonu için ise enzim uygulaması en etkili yöntem olarak belirlenmiştir. Tüm tesisler için ortalama % UAKM giderim verimleri %20-50 arasında değişmektedir.

Reaktörlerde elde edilen UAKM/TAKM oranı değişimlerinin yer aldığı Şekil 9.224.a. ve Şekil 9.224.b incelendiğinde, Ege Bölgesi'ndeki tesislerde elde edilen UAKM/TAKM oranı değişimlerinde artışlar gözlenmektedir. Evsel nitelikli atıksu arıtma çamurları için stabilizasyon öncesi ve sonrası elde edilen UAKM/TAKM oranı değişim değerleri arasında çok büyük farklılıklar gözlenmezken, kentsel nitelikli atıksu arıtma çamurları için giriş-çıkış değerleri arasındaki fark daha belirgindir.



Şekil 9.223 : (a) Evsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda bölgesel bazda UAKM giderim yüzdeleri (b) Kentsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda bölgesel bazda UAKM giderim yüzdeleri



Şekil 9.224 : (a) Evsel ve Kentsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda bölgesel bazda UAKM/TAKM oranı değişimleri (b) Kentsel AAT çamurlarının stabilizasyonunda bölgesel bazda UAKM/TAKM oranı değişimleri

9.4.1.4. Mikrobiyolojik Analizler Açısından Genel Değerlendirme

Ham çamurlardan alınan numuneler ile kurulan aerobik stabilizasyon reaktörlerinden alınan numunelerde Standart Metotlarda belirtilen Membran Filtrasyon yöntemi ile Toplam Koliform (SM9222B), Escherichia coli (SM9222D) ve Fekal Streptokok (SM9230C) analizleri gerçekleştirilmiştir. Mikrobiyolojik çalışma sonuçları, farklı dezentegrasyon yöntemlerinin uygulandığı aerobik stabilizasyon reaktörlerinde Toplam

Koliform, Fecal Koliform, ve Fecal Streptokok parametrelerinde genelde 10^2-10^4 koloni/100 ml mertebelerinde azalma olduğunu göstermektedir. Patojenlerdeki 10^2-10^4 koloni/100 ml mertebelerindeki azalma, ‘Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına dair Yönetmelik’te istenen “arıtma çamuruna uygulanan stabilizasyon yöntemi sonucunda E. Coli’nin en az 2 Log10 (% 99) indirgenmesi” koşulunu sağlamaktadır.

9.4.2. Anaerobik Stabilizasyon Uygulamalarının Bölgesel Bazda Değerlendirilmesi

İP 9 kapsamında anaerobik stabilizasyon uygulamalarına yönelik gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler “evsel” ve “kentsel” olarak iki ayrı grup altında ve bölgesel bazda incelenmiştir. Anaerobik stabilizasyon veriminin göstergesi olan beş temel parametrenin (%UKM giderimi, % KOİ giderimi, giderilen TUKM başına üretilen toplam biyogaz , giderilen TUKM başına üretilen toplam CH₄ ve giderilen KOİ başına üretilen toplam CH₄) stabilizasyon öncesi ve sonrası bölgesel bazdaki değişimleri aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur.

Tüm tesisler göz önüne alındığında, uygulanan dezentegrasyon işlemlerinin (ultrasonikasyon, mikrodalga ve enzim ön arıtımı) anaerobik stabilizasyon ve biyogaz üretimine etkilerinin bölgesel olarak farklılıklar gösterdiği saptanmıştır. Bazı bölgelerde uygulanan dezentegrasyon işlemleri stabilizasyon verimini iyileştirici ve biyogaz üretimini artırıcı etkide bulunurken, bazı bölgelerde ise stabilizasyonu olumsuz yönde etkilediği görülmektedir.

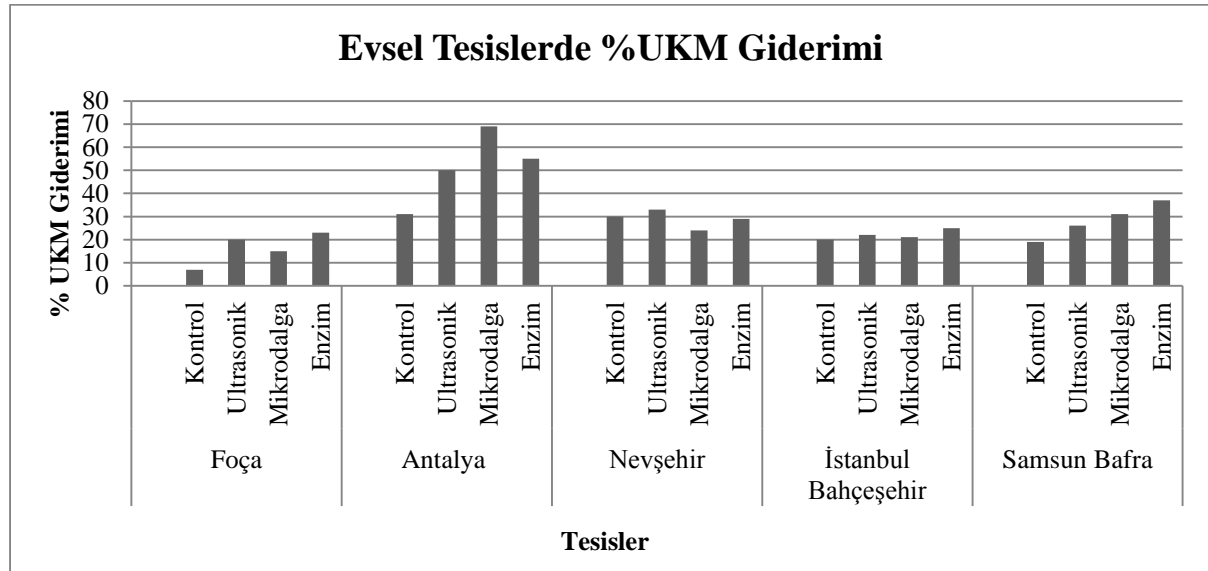
Bunun yanısıra, % UKM ve %KOİ giderimleri açısından en etkili dezentegrasyon uygulamasının da bölgeden bölgeye ve atıksu niteliğine göre farklılık gösterdiği saptanmıştır. Benzer şekilde, bölgeler bazında, giderilen TUKM ve giderilen KOİ başına oluşan biyogaz ve metan gazı için de en yüksek değeri veren belli bir ön arıtım uygulaması belirlenememiştir.

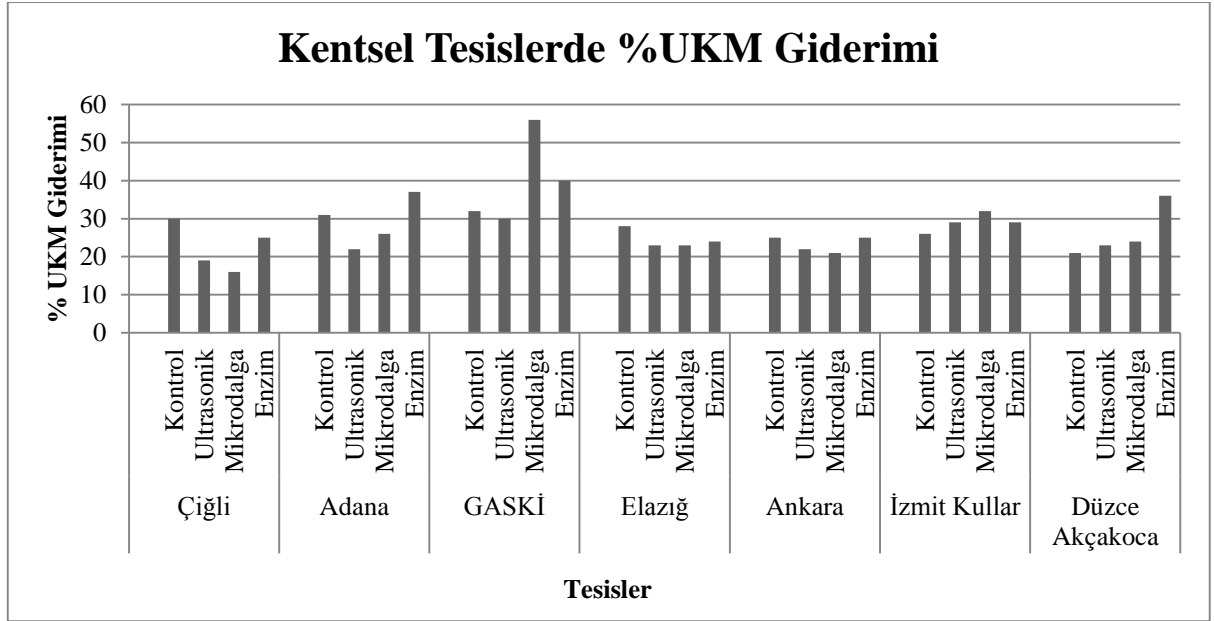
9.4.2.1.UKM Giderim Yüzdesi

Evsel tesislerden alınan atıksu arıtma çamuru numunelerine uygulanan anaerobik stabilizasyon sonucu elde edilen veriler Şekil 9.225.a.’da gösterilmektedir. Buna göre, Nevşehir AAT mikrodalga reaktörü dışında, uygulanan üç farklı dezentegrasyon işleminin de UKM gideriminde etkili olduğu görülmektedir. Öte yandan en yüksek UKM gideriyle sonuçlanan dezentegrasyon uygulaması bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgesi için, enzim uygulanması diğer iki ön arıtım işlemi ve

kontrol reaktörlerine göre daha yüksek UKM giderimiyle sonuçlanmışken, Akdeniz için UKM giderimi mikrodalga uygulamasıyla belirgin şekilde artmıştır. İç Anadolu bölgesi için ise ultrasonikasyonun kontrol reaktörüyle kıyaslandığında UKM giderim verimini artırdığı söylenebilmektedir.

Kentsel nitelikli atıksu arıtma çamurları için aynı parametre göz önüne alındığında dezentegrasyon uygulamalarının Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi'nden alınan örneklerde verimi artırıcı yönde etki etmediği görülmektedir (Şekil 9.225.b.). Bunun yanında GASKİ AAT için mikrodalga ve Düzce AAT için enzim uygulamalarının, kontrol ve diğer ön arıtım metodlarına kıyasla %UKM giderim verimini belirgin şekilde artırdığı saptanmıştır. Adana AAT için enzim dezentegrasyonu kontrol reaktörüne kıyasla iyileştirici etki gösterirken mikrodalga ve ultrasonikasyon uygulamalarının olumlu etkisi belirlenememiştir.

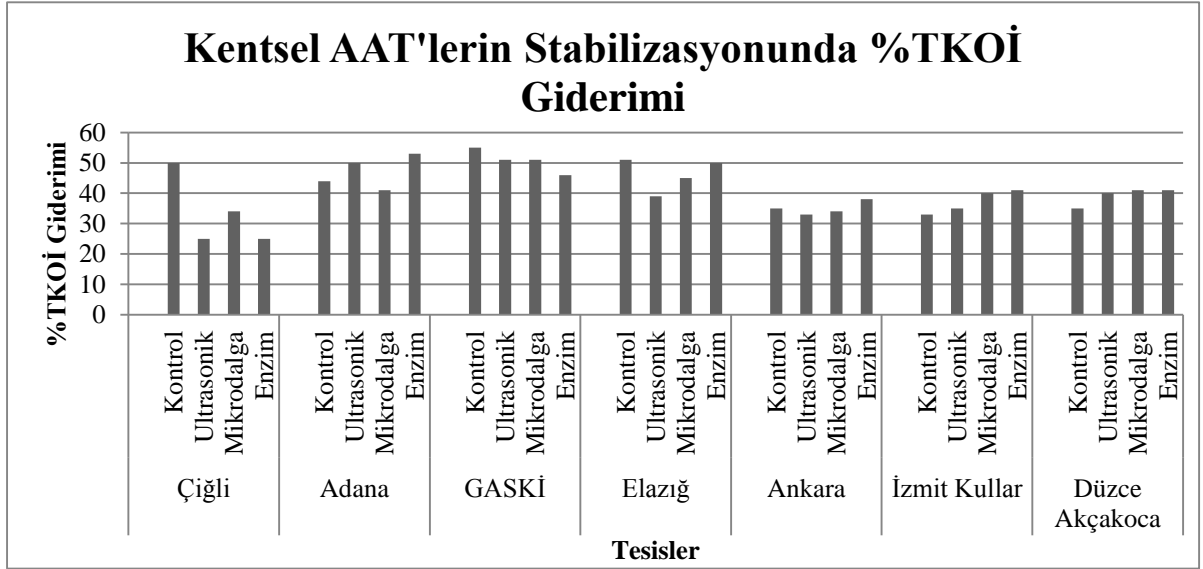
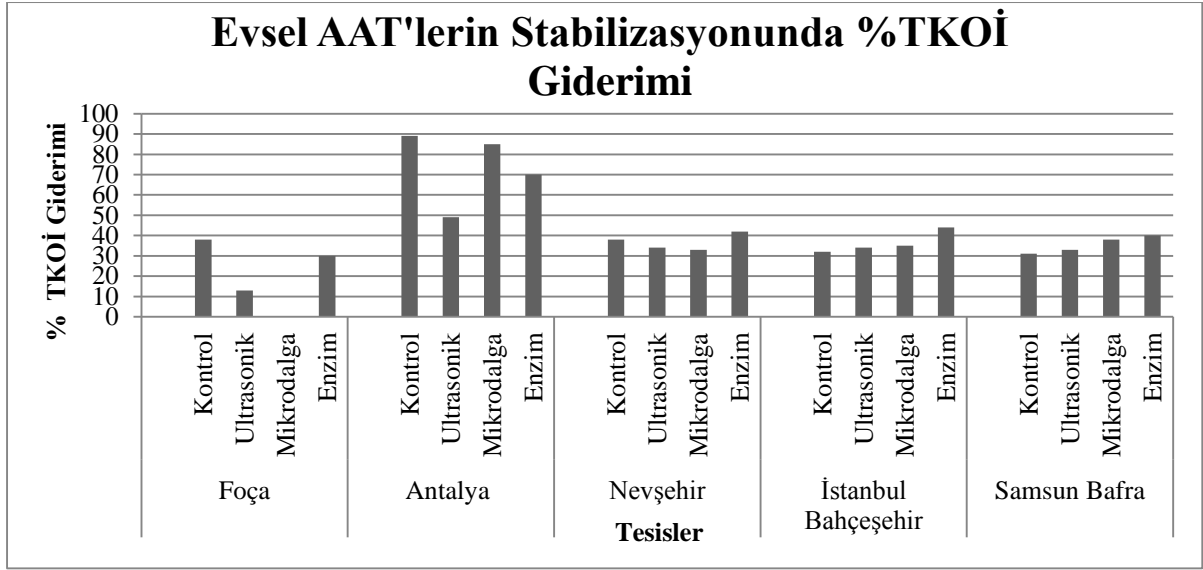




Şekil 9.225 :(a) Evsel tesislerde bölgesel bazda UKM giderim yüzdeleri (b) Kentsel Tesislerde bölgesel bazda UKM giderim yüzdeleri

9.4.2.2.TKOİ Giderim Yüzdesi

%TKOİ giderimleri evsel ve kentsel tesisler için Şekil 9.226.a. ve Şekil 9.226.b.'de verilmiştir. Söz konusu parametrenin gideriminde yüzde değerler bazında bölgesel olarak büyük farklılıkların ortaya çıktığı görülmüştür. Evsel nitelikli tesisler için Marmara, Karadeniz, Ege ve İç Anadolu Bölgeleri için %TKOİ değerleri 10 ile 40 arasında değişmekteyken Akdeniz Bölgesi için bu değer 50 ile 90 arasında değiştiği gözlenmiştir. Aynı şekilde kentsel tesislerde İzmit ve Düzce AAT'lerde TKOİ giderim verimleri en yüksek %40'lara ulaşmış; Çiğli, Adana, GASKİ ve Elazığ tesislerinde %20 ile %60 arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Buna göre aynı bölgedeki tesislerin %TKOİ gideriminde atıksu niteliği açısından belirgin farklılık göstermediği söylenebilmektedir.



Şekil 9.226 :(a) Evsel tesislerde bölgesel bazda TKOİ giderim yüzdeleri (b) Kentsel tesislerde bölgesel bazda TKOİ giderim yüzdeleri

Uygulanan dezentegrasyon yöntemlerinin Foça ve Antalya AAT'ler için TKOİ gideriminde iyileştirici etkisinin bulunmadığı, bununla beraber Foça AAT için mikrodalga uygulamasının ve Antalya AAT için ultrasonikasyonun TKOİ giderimini oldukça olumsuz şekilde etkilediği saptanmıştır. Nevşehir AAT numunesinde uygulanan dezentegrasyon yöntemlerinden enzim uygulamasının diğer uygulamalara ve kontrol reaktörüne kıyasla etkili olduğu, bu farkın Bahçeşehir ve Samsun AAT'de daha belirgi olduğu söylenebilmektedir.

Çiğli Kentsel AAT için Foça tesisine benzer şekilde, kontrol reaktörü yüksek TKOİ giderim verimi göstermiş, uygulanan dezentegrasyon işlemlerinin bu parametrenin gideriminde olumsuz etki ettiği görülmüştür (Şekil 9.226.b). İzmit Kullar AAT için enzim

ve mikrodalga uygulamaları kontrol reaktörüne göre TKOİ giderim verimini artırmışken diğer bölgeler için ön arıtım uygulamalarının belirgin bir fark yaratmadığı görülmüştür.

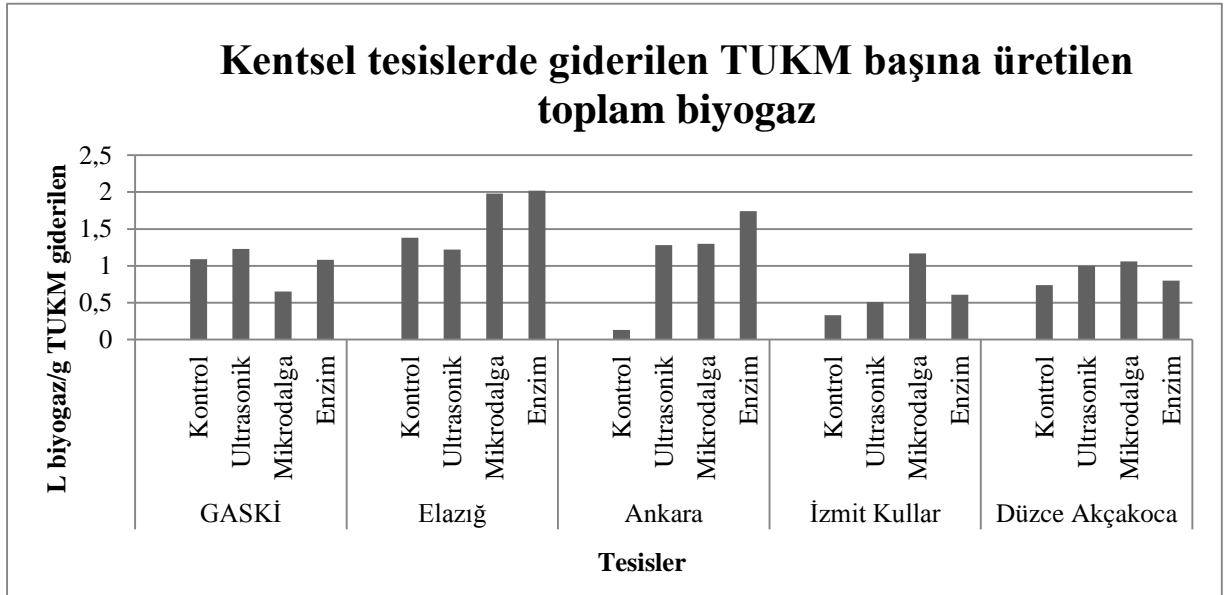
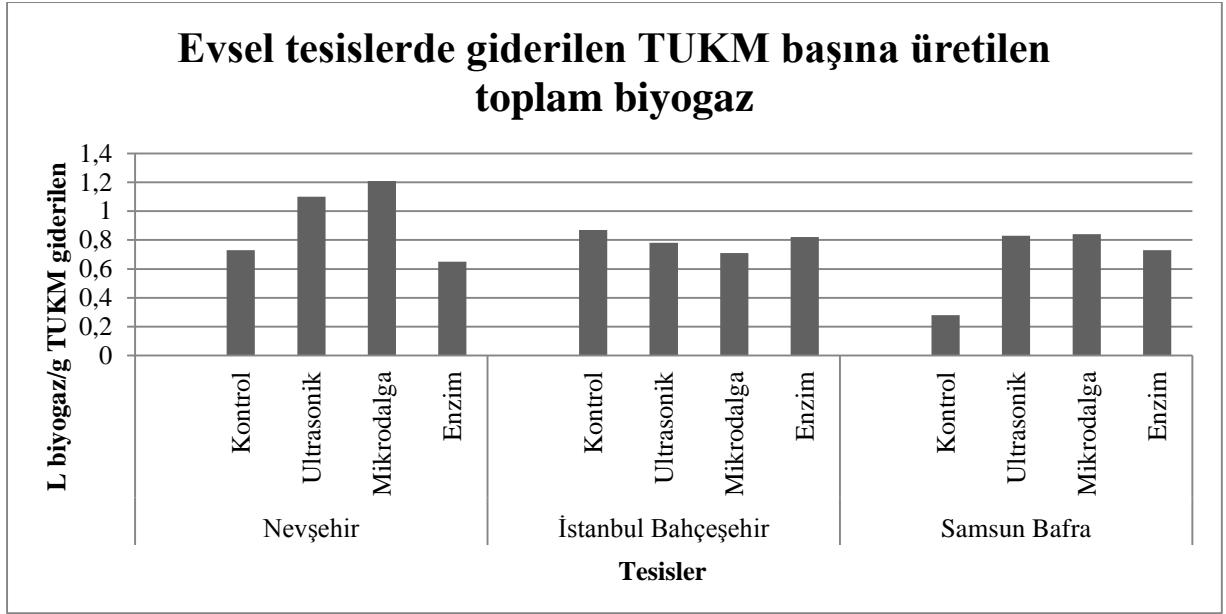
9.4.2.3.Giderilen TUKM Başına Üretilen Toplam Biyogaz

Anaerobik stabilizasyon uygulamaları sonucu elde edilen biyogaz verimleri Şekil 9.227.a. ve Şekil 9.227.b.'de verilmiştir. Ege ve Akdeniz Bölgeleri için üretilen biyogaz miktarları için sağlıklı bir sonuç elde edilemediğinden bu değerler diğer beş bölgeden tesislerle değerlendirilmiştir.

Giderilen TUKM'ye karşılık üretilen biyogaz verilerinin evsel ve kentsel tesisler için ve bölgesel bazda benzer değerlerde olduğu görülmektedir. Kentsel tesislerden Elazığ ve Ankara AAT'ler için "2 L biyogaz/gr TUKM_{giderilen}" değeri elde edilmişken evsel tesislerde bu değer en fazla 1.2 olarak belirlenmiştir.

Biyogaz veriminin İstanbul Bahçeşehir AAT için dezentegrasyon uygulanan ve uygulanmayan reaktörlerde fazla bir farklılık göstermediği gözlenirken mikrodalga ve ultrasonikasyonun Nevşehir ve Samsun AAT'ler için olumlu etkide bulunduğu, enzim uygulamasının ise Samsun AAT'de Nevşehir AAT'nin aksine, bu parametre üzerinde iyileştirici etkisi olduğu görülmektedir.

Kensel nitelikli tesislerde biyogaz verimleri incelendiğinde Ankara AAT için uygulanan dezentegrasyon yöntemlerinin oldukça etkili olduğu, en yüksek verime ise enzim uygulamasıyla ulaşıldığı görülmektedir. İzmit Kullar AAT için mikrodalga uygulaması belirgin bir fark yaratırken GASKİ AAT için bu etkinin olumsuz yönde olduğu, ayrıca, kontrol reaktörüyle kıyaslandığında herhangi bir ön arıtımın olumlu yönde etkisi olmadığı saptanmıştır. Genel olarak, beş tesis incelendiğinde enzim uygulamasının olumsuz etkide bulunmayan tek ön arıtım işlemi olduğu söylenebilmektedir.



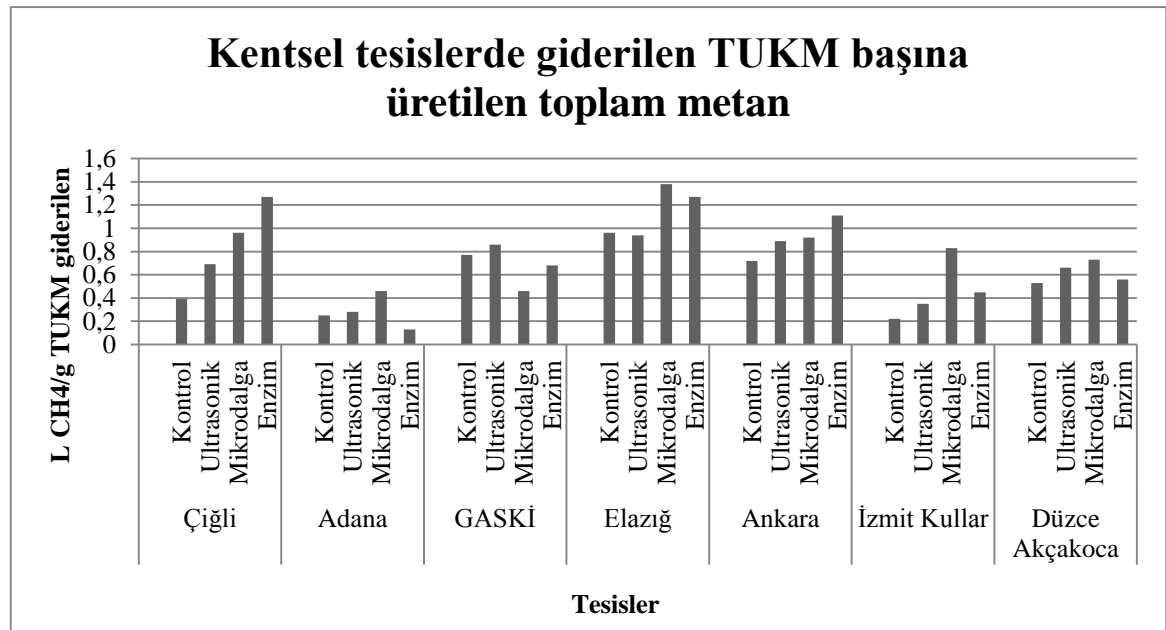
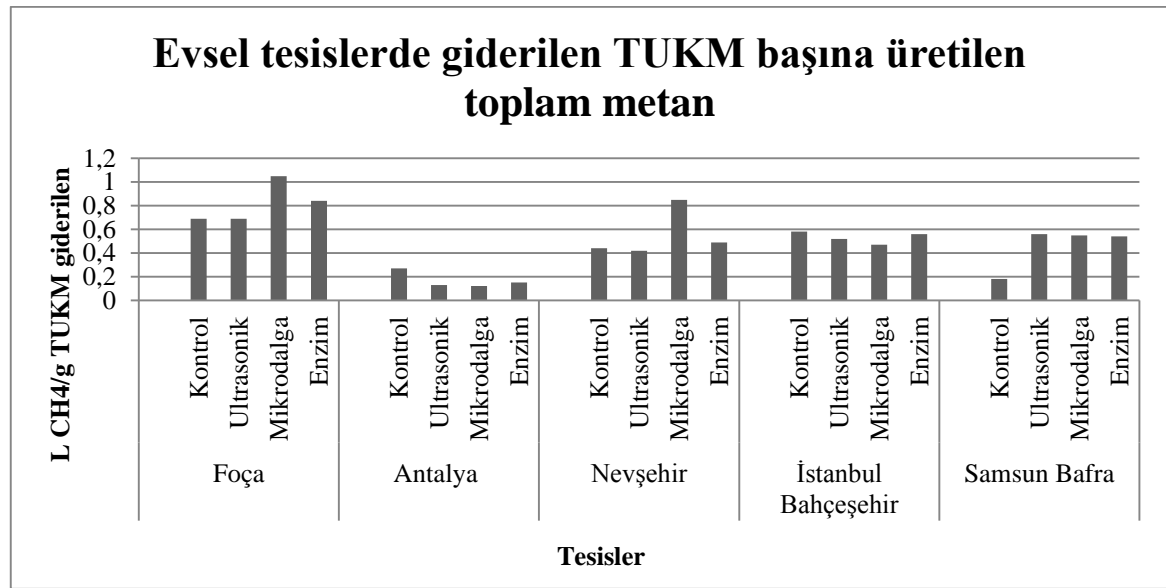
Şekil 9.227 : (a) Evsel tesislerde bölgesel bazda giderilen TUKM başına üretilen toplam Biyogaz (b) Kentsel tesislerde bölgesel bazda giderilen TUKM başına üretilen toplam biyogaz

9.4.2.4.Giderilen TUKM Başına Üretilen Toplam CH₄

Şekil 9.228.a. ve Şekil 9.228.b.'de verilen anaerobik stabilizasyon sırasında yapılan ölçümlere dayanarak hesaplanan metan gazı değerlendirildiğinde Antalya AAT reaktörlerinin diğer evsel tesislere göre daha düşük verime sahip olduğu görülmektedir. İç Anadolu, Marmara ve Karadeniz Bölgeleri ise benzer değer aralıklarında verim göstermiştir. Antalya AAT ve İstanbul Bahçeşehir AAT için metan verimleri açısından dezentegrasyon uygulamalarının belirgin bir artırıcı etkisi olduğu saptanmazken Samsun AAT için uygulanan her üç dezentegrasyon işleminin verimi yaklaşık üç kat oranında

artırdığı, belli bir yöntemin ise bu parametre açısından farklılık yaratmadığı görülmüştür. Tüm tesisler incelendiğinde, mikrodalga uygulamasının giderilen TUKM başına üretilen CH₄ 'te verimi artırıcı şekilde etkilediği söylenebilmektedir.

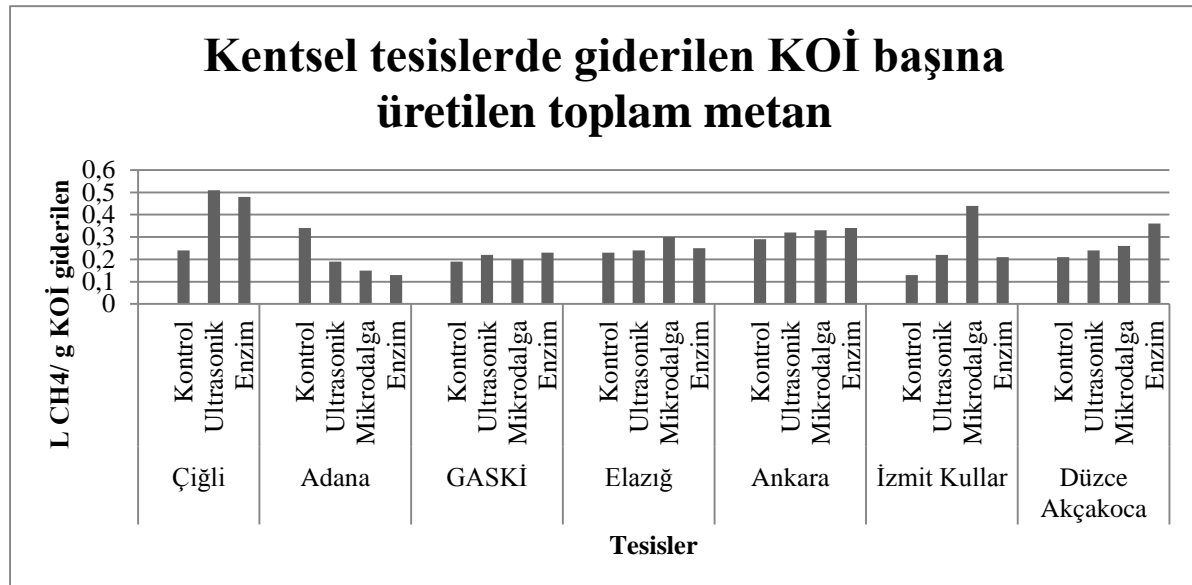
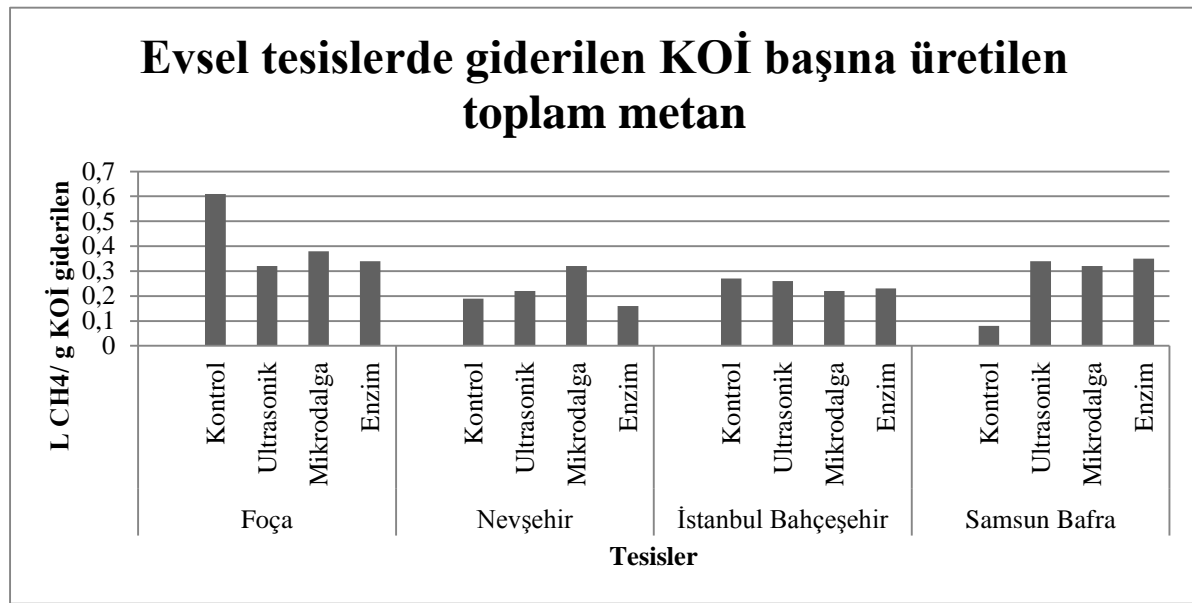
Bir önceki biyogaz verimine benzer şekilde, kentsel nitelikli AAT'ler için metan veriminin daha yüksek değerlere ulaşmış olduğu görülmektedir. Enzim ve mikrodalga uygulamaları hemen hemen tüm tesislerde verimliliği iyileştirici etkiye sahip olduğu görülmektedir. Çiğli ve Ankara AAT için enzim uygulaması en yüksek metan gazı verimleriyle sonuçlanmışken Elazığ, İzmit ve Düzce AAT'lerinde mikrodalga belirgin şekilde verimde artış sağlamıştır.



Şekil 9.228 : (a) Evsel tesislerde bölgesel bazda giderilen TUKM başına üretilen toplam CH₄ (b) Kentsel tesislerde bölgesel bazda giderilen TUKM başına üretilen toplam CH₄

9.4.2.5.Giderilen KOİ Başına Üretilen Toplam CH₄

Şekil 9.229.a. ve Şekil 9.229.b.'de giderilen KOİ başına üretilen toplam metan parametresi incelendiğinde, evsel nitelikli tesislerde, bu değer 0,2-1 L CH₄/g KOİ arasında değişmekte olduğu tespit edilmektedir. Bölgesel bazda incelendiğinde, Ege ve Marmara Bölgesi'ndeki evsel nitelikli tesislerde giderilen KOİ başına üretilen metan açısından uygulanan dezenteegrasyon işleminin etkisi gözlenememektedir. Akdeniz ve Karadeniz Bölgeleri'nde ise en etkili yöntemin enzim dezenteegrasyonunun olduğu, ikinci sırada ise ultrasonikasyon uygulanmasının olduğu tespit edilmiştir. İç Anadolu Bölgesi'nde ise en etkili yöntem mikrodalga dezenteegrasyonu olarak belirlenmiştir.



Şekil 9.229 : (a) Evsel tesislerde bölgesel bazda giderilen KOİ başına üretilen toplam CH₄ (b) Kentsel tesislerde bölgesel bazda giderilen KOİ başına üretilen toplam CH₄

Kentsel nitelikli tesislerdeki giderilen KOİ başına üretilen toplam metan değerlerine bakıldığında, bu değer 0,10-0,55 L CH₄/g KOİ arasında değişmekte olduğu gözlenmektedir. Evsel nitelikli tesislerle kıyaslandığında ise, kentsel nitelikli tesislerde giderilen KOİ başına üretilen toplam metan miktarının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Akdeniz Bölgesi'nde dezentegrasyon uygulamasının etkisi gözlenemezken, diğer bölgelerde uygulanan dezentegrasyon ile giderilen KOİ başına üretilen toplam metan miktarı artmıştır. Ege, Doğu Anadolu ve Marmara Bölgeleri'nde en etkili yöntem mikrodalga uygulaması iken, Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri'nde enzim dezentegrasyonu en etkili yöntem olmuştur.

9.4.2.6. Mikrobiyolojik Analizler Açısından Genel Değerlendirme

Ham çamurlardan alınan numuneler ile kurulan anaerobik stabilizasyon reaktörlerinden alınan numunelerde Standart Metotlarda belirtilen Membran Filtrasyon yöntemi ile Toplam Koliform (SM9222B), Escherichia coli (SM9222D) ve Fekal Streptokok (SM9230C) analizleri gerçekleştirilmiştir.

Mikrobiyolojik çalışma sonuçları, farklı dezentegrasyon yöntemlerinin uygulandığı anaerobik stabilizasyon reaktörlerinde Toplam Koliform, Fekal Koliform, ve Fekal Streptokok parametrelerinde genelde 10²-10⁴ koloni/100 ml mertebelerinde azalma olduğunu göstermektedir. Patojenlerdeki bu azalma, 'Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına dair Yönetmelik'te istenen "arıtma çamuruna uygulanan stabilizasyon yöntemi sonucunda E. Coli'nin en az 2 Log₁₀ (% 99) indirgenmesi" koşulunu sağlamaktadır.

9.4.3. Genel Değerlendirme

Laboratuvar ölçekli aerobik ve anaerobik stabilizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçların AAT'lerde kurulacak pilot ölçekli çalışmalara ile de desteklenmesi, gerçek ölçekli tesis tasarımında veri üretimine yönelik daha gerçekçi sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Her bölge için seçilecek pilot AAT'lerde kurulacak pilot ölçekli aerobik ve anaerobik stabilizasyon reaktörleri ile bu çalışmaların yapılması sağlanabilir. Bu şekilde, pilot ölçekli çalışma sonuçlarına göre bölgesel olarak belirlenen en etkin dezentegrasyon yöntemi ile entegre edilmiş gerçek ölçekli aerobik ve anaerobik stabilizasyon tesislerinin projelendirilerek kurulması ve işletmeye alınması sağlanabilir.

9.5. Çamurun Stabilizasyonu Genel Değerlendirme

Atıksu arıtımı sonucunda üretilmiş olan atıksu arıtma çamurlarının bertarafı ülkemizde önemli bir sorun teşkil etmektedir. Yüksek oranda organik içeriği olan maddeler “tehlikeli atık” kategorisinde değerlendirilmekte ve bu atıkların çöp sahalarında depolanması uygun görülmemekte; çamurun tarımsal amaçlarla kullanımı için pek çok kritere uyum göstermesi zorunluluğu aranmakta; mevcut çimento ve diğer yakma tesisleri de üretilen çamurun bertarafında yeterli olamamaktadır. Tüm bu sebeplerden ötürü çamurun arıtımında belli bir oranda organik gideriminin sağlanması koşulu aranmaktadır.

Organik madde giderimi çamurun stabilizasyonu sırasında sağlanmakta, bu işlem için de genel olarak alkali stabilizasyon ya da aerobik / anaerobik çürütme işlemi uygulanmaktadır. İP 9 kapsamında, bahsedilen üç uygulama da laboratuvar ölçekli reaktörlerde denenmiş, organik madde yanında patojen giderimi de izlenmiştir.

Atıksu arıtma çamurlarının arıtılması -özellikle stabilizasyonu- sırasında uygulanacak olan prosesler, çamurun nihai bertaraf yönteminin seçiminde de yol gösterici olacaktır. Aynı şekilde; arıtma tesisi yapılacak bölgenin şartları, bertaraf için elde bulunan imkanlar ve uyulması gereken yönetmelikler göz önünde bulundurularak seçilen nihai bertaraf yöntemleri çamurların arıtım proseslerinin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Bu sebeple, arıtma ve bertaraf yöntemleri birbirinden bağımsız düşünülmemeli, çamur arıtım ve bertarafı bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Alkali stabilizasyon çalışmaları kapsamında kireç eklenmesiyle 12 saat boyunca pH değeri 12’de tutulan çamur örneklerinde yapılan mikrobiyolojik analizler, alkali stabilizasyonun çamurdaki patojen giderimi açısından oldukça etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Bunun yanında, kurulum maliyetlerinin de diğer stabilizasyon uygulamalarına göre düşük olması, özellikle küçük ölçekli tesislerde alkali stabilizasyonu tercih edilebilir hale getirmektedir. Arıtma çamurunun seçilmiş olan nihai bertaraf yöntemi de bu alanda belirleyici rol oynamaktadır; alkali stabilizasyon, özellikle toprakta kullanılacak çamurlar için hidrojen sülfat oluşumu ve metal çözünebilirliğini azaltması nedeniyle uygun bir yöntem olabilir. Öte yandan, alkali stabilizasyonun dezavantajları; katı madde miktarını artırması sebebiyle çamur hacminde bir azaltıma imkan vermemesi ile buna bağlı olarak taşıma ve depolama maliyetlerini artırması ve anaerobik olarak çürütülen çamurlara göre daha az nitrojen ve fosfor içermesi olarak sıralanabilir (Valderrama ve diğ, 2013).

Arıtma çamurlarının aerobik stabilizasyonu laboratuvar ölçekli çalışmalarda organik giderimi açısından iyi sonuçlar vermiş olsa da gerçek ölçekli tesisler için yüksek enerji kullanımı sebebiyle maliyeti artırmakta, büyük hacimlerde atık çamur ve sera gazı oluşumuna sebep olmaktadır. Literatürden takip edilen çalışmalar da aerobik stabilizasyonun gerçek ölçekli tesislerde büyük hacim gerektiren reaktörler ve havalandırma için gerekli elektrik kullanımının kurulum ve işletme maliyetlerini çok yükselttiğini doğrulamaktadır (Murray ve diğ.,2008; Ghazy ve diğ., 2011). Belirtilen sebepler ve arıtma konusunda enerji verimliliği yüksek teknolojilerin tercih edilmesi, son yıllarda orta ve büyük ölçekli AAT'lerin çamurlarının arıtımında aerobik stabilizasyon kullanımının yaygınlığını azaltmaktadır.

Anaerobik stabilizasyon uygulaması, literatürden takip edilen değerlere göre atıksu arıtma çamurundaki organik madde miktarını %50 oranında indirgeyebilmekte ve bu işlem sırasında metan gazı açığa çıkmaktadır (Davidsson ve diğ.,2006). Açığa çıkan metan gazı ülkemizde hala çok yaygın olarak kullanılmakta olan fosil yakıtlara alternatif oluşturmakta; ısı ya da elektrik elde etmede kullanılabilir. Bunun yanı sıra, anaerobik çürütme işlemi sonucunda, diğer stabilizasyon işlemlerine kıyasla, hacimsel olarak çok daha az ve katı madde oranı yüksek çamur çıkmaktadır. Bu da çamurun nihai bertarafına kadar izleyeceği aşamalardaki maliyeti oldukça aza indirmektedir.

Laboratuvar ölçekli çalışmaların yanı sıra literatürde yer alan, arıtma çamurlarının arıtımı ve nihai bertarafına karar verme aşaması için hazırlanmış olan pek çok “yaşam döngüsü değerlendirmesi” incelenmiştir (Ghazy ve diğ., 2011, Hospido ve diğ., 2008, Houdkova ve diğ., 2008, Murray ve diğ., 2008, Valderrama ve diğ., 2013). Bu raporlarda stabilizasyon yöntemleri, çevreye etkileri; enerji verimliliği ve maliyetleri bakımından karşılaştırılmış ve yapılan değerlendirmelerin ışığında önerilen arıtımın anaerobik çürütme olduğu görülmüştür. Houdkova ve diğ.(2008) çamurun nihai bertarafı için farklı senaryolar incelemiş, bunların enerji verimliliği ve maliyet açısından karşılaştırmasını yapmıştır. Yapılan çalışma sonucunda **orta ve büyük ölçekli AAT'lerde anaerobik çürütme işlemiyle stabilize edilmiş olan çamurun yakma ünitesine gönderilmesinin, üretilen biyogaz sebebiyle, stabilize edilmeden doğrudan yakmaya gitmesinden –yaygın kanının aksine- daha ekonomik olduğu görülmüştür.** Hamburg'da, gerçek ölçekli reaktörlerde gerçekleştirilen çamur çalışmaları sonucunda da yakmadan önce anaerobik çürütme uygulamasının, çamurun kalorifik değerinde azalma olmasına karşın bazı avantajlarının olduğu saptanmıştır. Bu avantajlar; anaerobik çürütme sonrası elde edilen

ürünün susuzlaştırılabilirlik özelliğinin artması olması ve yakma ünitesinde bir sorun oluşma ihtimalinde stabilize edilmiş çamurun kontrolünün kolay olmasıdır (Werther ve diğ., 1999).

Anaerobik çürütmenin en önemli avantajı, yukarda da belirtildiği gibi, atıksu arıtma çamurlarının stabilizasyonunu sağlarken düşük miktarda çamur üretmesi ve elde edilen metan gazıdır. Tüm bu çalışma ve sonuçlar göz önünde bulundurulacak olursa, hizmet ettiği eşdeğer nüfus 50,000 ve üzeri olan atıksu arıtma tesisleri için anaerobik çürütme çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan iyi bir tercih olacaktır (Hospido ve diğ., 2008). Küçük ölçekli AAT'lerde yüksek maliyetli olacağından anaerobik yerine aerobik stabilizasyon tercih edilebilir. Bunun yanı sıra, yine enerji verimliliği gözetilerek, birbirine yakın, küçük ölçekli AAT'lerden çıkan arıtma çamurları merkezi bir tesise taşınarak burada anaerobik stabilizasyona tabi tutulabilir. Ancak çamur potansiyeli ve taşıma/depolama maliyetleri iyi hesaplanmalıdır.

Aerobik ve anaerobik çürütücülerde verim, genel olarak, hidroliz aşamasının başarısına bağlıdır (Davidsson ve diğ.,2006). Özellikle anaerobik çürütme sırasında tüm proses bu aşamanın kontrolünde gerçekleşmektedir. Bu sebeple, İP8 kapsamında, hidroliz aşamasını destekleyici ve hızlandırıcı pek çok ön arıtım yöntemi denenmiş; İP9 kapsamında ise seçilen tesislerden alınan atıksu arıtma çamuru numunelerine laboratuvar ölçekli çalışmalarda ön arıtma olarak ultrasonikasyon, mikrodalga uygulaması ve enzim ilavesi olmak üzere, üç değişik dezentegrasyon yöntemi uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda uygulanan tüm dezentegrasyon işlemlerinin çamurun biyoçözünübilirliğini artırdığı, buna bağlı olarak da stabilizasyonda organik madde giderimi ve biyogaz veriminin yükseldiği görülmüştür.

Çalışılan ön arıtma işlemlerinden **ultrasonikasyon**, Avrupa'da pek çok tesiste gerçek ölçekli olarak uygulanmaktadır. Mekanik bir dezentegrasyon yöntemi olan **ultrasonikasyon pek çok ön arıtım yöntemi gibi yüksek enerji harcayan bir sistem olmasına karşın, artan stabilizasyon verimi ve buna bağlı olarak açığa çıkan yüksek metan gazı ile faydalı hale gelmektedir.**

Diğer ön arıtım işlemlerinden, mikrodalga ve enzim dezentegrasyonu ile ilgili İP9 kapsamında gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli çalışmalar ve literatürdeki konu ile araştırmalar bu iki yöntemin de çamur stabilizasyonu sırasında biyoçözünme prosesini hızlandırdığını ve böylelikle biyogaz verimini yüksek ölçüde artırdığını göstermektedir.

Ancak, **mikrodalga ve enzim uygulamaları** enerji ve enzim tüketiminin fazla olması nedeniyle yüksek maliyetli olup, **gerçek ölçekli tesislerde yaygın olarak kullanılmamaktadır**.

Bu uygulamaların yanısıra, termal hidroliz yapan ve ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde kurulmuş olan lisanslı termal hidroliz yöntemi Cambi™ prosesinin de Avrupa'daki arıtma tesislerinde örnekleri görülebilmektedir. Çamurun çürütme öncesi değişen yüksek ısı ve basınçlarla hidrolizini sağlayan bu sistem için özellikle Almanya'da yapılan çalışmalar, bu metodun birincil ve ikincil çamurun karışımı yerine sadece biyolojik çamura uygulandığında verimli hale geldiğini göstermiştir (Kopp ve diğ.,2010). Bunun dışında, yine stabilizasyon öncesi ön arıtım olarak uygulanabilecek olan Mikroçamur prosesinde de arıtma çamuru önce kimyasal ya da fiziksel işleme tabi tutmakta ve ardından uygulanan yüksek basınç ile çamur içindeki organizmalara ait hücrelerin tamamen parçalanması sağlanmaktadır. Mikroçamur da lisanslı bir ön arıtım uygulaması olup atıksu dışında endüstriyel atıksuların ön arıtımında da kullanılmaktadır (Roxburgh ve diğ.,2006).

Arıtma çamurları için en uygun arıtma ve bertaraf yönteminin seçiminde arıtılacak atıksuyun karakteri, ilgili yönetmelikler, tesisin kurulacağı bölgenin özellikleri ve ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalı ve her tesis için ayrı değerlendirme yapılmalıdır.

