



**T.C.**  
**ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ SUSUZLAŞTIRMA YÖNTEMLERİNİN ARITMA ÇAMURLARINDAKİ  
PATOJEN MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ETKİSİ**

**Bülent BİRDEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BURSA – 2006**

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ SUSUZLAŞTIRMA YÖNTEMLERİNİN ARITMA ÇAMURLARINDAKİ  
PATOJEN MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ETKİSİ

Bülent BİRDEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez, 17/07/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**

Doç. Dr. Ufuk ALKAN  
(Danışman)

Prof. Dr. Hüseyin S. BAŞKAYA  
(Asil Üye)

Doç. Dr. İlhami HORUZ  
(Asil Üye)

## ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, açık ve kapalı kurutma yataklarına serilen arıtma çamuruna çeşitli alkali maddeler katılarak kuruma süreci boyunca meydana gelen mikrobiyal değişimlerin belirlenmesidir.

Arıtma çamuru İnegöl Atıksu Arıtma Tesisi Belt Pres çıkışından alınmıştır. Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne (BUSKİ) bağlı Doğu Atıksu Arıtma Tesisleri'nde pilot ölçekte kurulmuş açık ve kapalı kurutma yataklarına serilmiştir. Sistemde 4'ü açık, 4'ü de kapalı olmak üzere 8 adet bölme oluşturulmuştur. İlkbahar, yaz ve sonbahar olmak üzere 3 farklı mevsimde çalışma tekrarlanmıştır.

Çalışmalar boyunca düzenli aralıklarla arıtma çamurunda pH, Toplam Katı Madde, Toplam koliform, Fekal Koliform, ve HPC belirlenmiş, dış koşulları etkileyen hava sıcaklığı, düşen yağış miktarı değerleri de takip edilmiştir.

Genelde % 21 ila %22 Katı Madde içeren arıtma çamuru bu çalışmalar sırasında ilk bahar ve yaz aylarındaki çalışmalarda kapalı kurutma yatağında sırası ile 46 ve 44 günde % 90 Katı madde oranına ulaşırken sonbahar çalışmasında hava koşullarına bağlı olarak 56 günde ulaşmıştır. Açık sistemde ise bu kuruma seviyeleri hava koşullarına bağlı olarak % 42 ila % 78 değerleri arasında gözlemlenmiştir.

Her üç çalışmada Toplam Koliform, Fekal Koliform ve HPC için kapalı kurutma yataklarında katkı maddesi çeşidine göre 2 ila 5 log değerinde mikrobiyal giderimler gözlemlenirken, açık sistemde hava koşulları ve katkı maddelerinin çeşidine göre 3 ila 4 log azalma gözlemlenmekle birlikte yaz döneminde 1 log seviyesinde artışlar gözlemlenmiştir.

Her üç çalışmada %20,%30,%50 ve %90 nem içeriği kazandırılan arıtma çamuru örnekleri için laboratuvar ortamında 25 °C'ye ayarlanmış iklimlendirme dolaplarında sonradan büyüme çalışmaları yapılmıştır. Tüm katkı maddesi çeşitlerinde ve her mikroorganizma grubunda ortalama 2 log civarında bir büyüme gözlemlenmiştir.

Katkı maddelerinin türünün çamurun kurumasında her hangi bir katkısının olmadığı gözlemlenmiştir. Fakat katkı maddelerinin, özellikle sönmemiş kirecin tüm mikroorganizmaların giderimleri üzerinde büyük bir etkiye sahip oldukları gözlemlenmiştir. En iyi giderim verimi sonucu kapalı kurutma yatağına serilmiş katı maddece % 15 sönmemiş kireç karıştırılmış bölmede gerçekleşmiş ve fekal koliform parametresinde 6 log'luk azalmalar gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma Çamuru, Açık Kurutma Yatakları, Kapalı Kurutma Yatakları, Fekal Koliform, Toplam Koliform, HPC, Sönmemiş Kireç, Termik Santral Külü

## ABSTRACT

The main purpose of this study is to determine the microbial changes observed in the drying process of the treatment water kept in open and closed drying bed, after adding various types of alkaline materials.

The treatment sludge is taken from the İnegöl Wastewater Treatment Facility Belt Press outflow. This sludge was spread over the open and closed drying bed built at pilot size, within the East Wastewater Treatment Facilities governed by the Bursa Water and Sewerage General Directorate. 8 basins were built within the system, of which 4 were open and 4 were closed. Studies were repeated in three different season, spring, summer and fall.

During the study period, pH, total solid matter, total coliform, fecal coliform, HPC analyses were conducted regularly in the treated sludge while the ambient temperature, precipitation rates, which affect the external conditions were also monitored.

During the spring and summer seasons, it was observed that the treatment sludge, which generally contained 21 – 22% solid matter, reached a drying level of 90% solid matter within 46 and 44 days, respectively in the closed drying bed, while this period was 56 days in the fall period, depending on the weather conditions. On the other hand, in the open system the drying rate was observed to be between 42% and 78%.

In all three studies, in the closed drying DS, microbial destruction was observed to be within a range of 2 to 5 logs for, Total Coliform, Fecal Coliform and HPC depending on the type of additives used, while in the open systems the reduction rate was between 3 and 4 logs, depending on the weather conditions and type of additives used, and even an increase of about 1 log was observed in the summer season.

In all three studies, growth studies were conducted in an incubator which was adjusted to 25°C, on sludges humidities were adjusted to 20%, 30%, 50% and 90%. An average of 2 log growth was observed for all types on microorganisms and all types of additives used.

It is observed that the type of additive had no affect on the drying process. However, it was observed that the additives and especially quick lime, had a major impact on the destruction of all microorganisms. The best destruction performance was observed on the Fecal Coliform parameters in the closed drying bed in which quick lime of 15 % was added to the sludge.

Key words: Treatment Sludge, Open Drying Bed, Closed Drying Bed, Fecal Coliform, Total Coliform, HPC, Quick Lime, Thermal Power Plant Dry Ash.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1 Evsel Atıksu Çamurları ve Özellikleri.....	4
2.1.1 Evsel Atıksu Çamuru Tanımı .....	4
2.1.2 Evsel Atıksu Çamurunun Özellikleri .....	4
2.2 Arıtma Çamurlarının Nihai Bertaraf Yöntemleri .....	7
2.3 Arıtma Çamurlarının Araziye Uygulanması .....	8
2.4 Ağır Metalin Arıtma Çamurunun Kullanımına Olan Etkileri .....	11
2.5 Patojen Mikroorganizmaların Arıtma Çamurunun Kullanımına Olan Etkileri.....	13
2.5.1 Patojenlerin Yaşama Süreleri .....	15
2.5.2 Ülkemizde Evsel Atıksu Çamuru İle İlgili Mevzuatlar ve Sınırlandırmalar.....	15
2.5.3 U.S. EPA'ya Göre Evsel Atıksu Çamuru ile İlgili Mevzuatlar ve Sınırlandırmalar	16
2.6. Araziye Uygulanacak Arıtma Çamurlarında Patojen Giderimi .....	23
2.6.1. Patojen Gideriminde Genel Yaklaşımlar.....	23
2.6.2. Alkali Stabilizasyonu .....	25
2.6.3. Kireç Stabilizasyonunun Kimyası.....	25
2.6.4. Alkali Stabilizasyonu ve Diğer Yöntemlerin Patojen Giderimi Açısından Karşılaştırılması.....	30
2.6.5. Kirece Alternatif olarak Kullanılan Diğer Alkali Materyaller .....	32
2.7. Biyolojik Katıların Uygulanması Konusunda Uyulması Gereken Saha Sınırlamaları.....	34
2.8 Arıtma Çamurlarındaki Patojen Miktarını Azaltmayı Amaçlayan Bazı Örnek Çalışmalarda Elde Edilen Sonuçlar ve Açıklamalar.....	39
2.8.1 Kireç Dışı Başka Alkali Maddelerin Kullanımı .....	39
2.8.2 Sönmemiş Kireç Kullanımı ve Önemi .....	40
2.9. Açık ve Kapalı Kurutma Yatakları ve Sistemin Ekonomik Değerlendirmesi .....	45
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	48

3.1. Materyaller .....	48
3.1.1 Açık ve Kapalı Kurutma Yatakları .....	48
3.1.2 Çamur Örneği .....	49
3.1.3 Çalışma Kapsamında Kullanılan Alkali Maddeler .....	49
3.2. Yöntem.....	50
3.2.1 Çamur Karakterizasyonu .....	50
3.2.2 Arıtma Çamurunun Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarına Serilmesi .....	50
3.2.3 Açık ve Kapalı Kurutma Prosesleri Süresince Bakteri Sayılarında Meydana Gelen Değişimlerin İzlenmesi .....	56
3.2.4 Deney Süreci Boyunca Fiziksel, Kimyasal ve Meteorolojik Bazı Değişimlerin İzlenmesi .....	57
3.2.5 Açık ve Kapalı Sistemlerde Kurutulan Çamurlarda Nem İçeriğindeki Artışa Bağlı olarak Oluşabilecek Potansiyel Bakteri Büyümesinin Kıyaslanması .....	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	59
4.1. Ham Çamurun Karakterizasyonu .....	59
4.2. Uygulanan Stabilizasyon Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	60
4.2.1 Çevresel Faktörlerin Çeşitli Stabilizasyon Maddeleri Katılmış Arıtma Çamurunun Kuruma Sürecine Olan Etkileri .....	60
4.2.2 Çeşitli Stabilizasyon Maddeleri Katılmış Arıtma Çamurlarının Kuruma Süreci ve pH'a Bağlı Olarak Çeşitli Mikroorganizmalara Olan Etkileri .....	85
4.3. Açık ve Kapalı Sistemlerde Kurutulan Çamurlarda Nem İçeriğindeki Artışa Bağlı olarak Oluşabilecek Potansiyel Bakteri Büyümesinin Kıyaslanması .....	117
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	149
6. KAYNAKLAR.....	153
7. TEŞEKKÜR .....	156
8. ÖZGEÇMİŞ .....	157

## **SİMGELER DİZİNİ**

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AÇKY	Açık Çamur Kurutma Yatağı
AKM	Askıda Katı Madde
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
CFU	Oluşan Koloni Birimi
EPA	Amerikan Çevre Koruma Teşkilatı
KÇKY	Kapalı Çamur Kurutma Yatağı
KM	Katı Madde
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
MO	Mikroorganizma
MPN	En Muhtemel Sayı
pH	Hidrojen iyonu konsantrasyonunun 10 tabanında negatif logaritması
PFRP	İleri derecede patojen giderimi sağlayan prosesler
US	Birleşik Devletler (ABD)
YK	Yüksek Kaliteli (YK)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında izlenecek kademeler. ....	9
Şekil 3.1: Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarının Şematik Gösterimi .....	48
Şekil 4.1: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	63
Şekil 4.2: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	64
Şekil 4.3: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	65
Şekil 4.4: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	69
Şekil 4.5: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	70
Şekil 4.6: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	71
Şekil 4.7: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.....	75
Şekil 4.8: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.....	76
Şekil 4.9: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.....	77
Şekil 4.10: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	81



Şekil 4.11: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	82
Şekil 4.12: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri. ....	83
Şekil 4.13: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	89
Şekil 4.14: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	90
Şekil 4.15: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	91
Şekil 4.16: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	96
Şekil 4.17: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	97
Şekil 4.18: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	98
Şekil 4.19: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	103
Şekil 4.20: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	104
Şekil 4.21: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	105

Şekil 4.22: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	110
Şekil 4.23: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	111
Şekil 4.24: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri. ....	112
Şekil 4.25: Açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda meydana gelen fekal koliform değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)	114
Şekil 4.26: Açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda meydana gelen toplam koliform değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru) .....	115
Şekil 4.27: Açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda meydana gelen HPC değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru).....	116
Şekil 4.28: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.....	119
Şekil 4.29: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.....	121
Şekil 4.30: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.....	123

Şekil 4.31: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	125
Şekil 4.32: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	127
Şekil 4.33: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	129
Şekil 4.34: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	131
Şekil 4.35: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	133
Şekil 4.36: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	135
Şekil 4.37: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	137
Şekil 4.38: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	139
Şekil 4.39: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	141
Şekil 4.40: Mart döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Fekal Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri. ( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma	

Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 142

Şekil 4.41: Mart döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Toplam Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimler.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 142

Şekil 4.42: Mart döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda HPC'de meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimler.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 143

Şekil 4.43: Haziran döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Fekal Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimler.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 144

Şekil 4.44: Haziran döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Toplam Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimler.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 144

Şekil 4.45: Haziran döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda HPC'de meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimler.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 145

Şekil 4.46: Eylül döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Fekal Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 146

Şekil 4.47: Eylül döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Toplam Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 147

Şekil 4.48: Eylül döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda HPC'de meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)..... 147

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Ham ve çürütülmüş çamurların tipik fiziksel ve kimyasal kompozisyonları.....5	5
Çizelge 2.2: Değişik yerlerden alınmış evsel atıksu çamurunun ağırmetal konsantrasyonu.....6	6
Çizelge 2.3: Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru toprak)..... 12	12
Çizelge 2.4: 10 yıllık ortalamalar esas alınarak bir yılda toprağa verilebilecek ağır metal miktarları (g kuru madde/da/yıl). ..... 12	12
Çizelge 2.5: Kirlenici konsantrasyon limitleri. .... 13	13
Çizelge 2.6: Kirlenici yükleme oranları ..... 13	13
Çizelge 2.7: Evsel atıksu ve Evsel Atıksu Çamurunda Bulunabilecek Temel Mikroorganizmalar. .... 14	14
Çizelge 2.8: Toprak ve bitki yüzeyinde patojenlerin yaşam süreleri ..... 15	15
Çizelge 2.9: A sınıfı arıtma çamurları için gereksinimler. .... 17	17
Çizelge 2.10: A sınıfı arıtma çamurları için zaman ve sıcaklık ihtiyaçları, Alternatif 1. (Zaman/sıcaklık ihtiyaçlarına ek olarak A sınıfı çamurlar ayrıca fekal koliform veya salmonella standartlarını da sağlamalıdır). .... 17	17
Çizelge 2.11: İleri derecede patojen giderimi sağlayan prosesler (PFRP). .... 18	18
Çizelge 2.12: B sınıfı arıtma çamurları için gereksinimler..... 18	18
Çizelge 2.13: Sınıf B çamurlarının sahada kullanımında uygulanması gereken kısıtlamalar ve serme yolları..... 19	19
Çizelge 2.14: Önemli derecede patojen giderimini sağlayan prosesler (Bu alternatiflerden biriyle stabilize edilen arıtma çamurları B sınıfı çamur gereksinimlerini karşılamış olur.).....21	21
Çizelge 2.15: Çizelge 2.14'e yakın patojen giderim usülleri.....21	21
Çizelge 2.16: Vektörel taşınmanın azaltılması için uygulanan proses alternatifleri .....22	22
Çizelge 2.17: Arıtma çamurlarındaki patojenlerin ve vektörel taşınmanın kontrolü için genel yaklaşımlar. ....24	24
Çizelge 2.18: Kireç taşının alkali ve asidik reaksiyonlarla dönüşümü (s=katı madde, aq=çözelti).....29	29

Çizelge 2.19: Kireç stabilizasyonu, kompostlama, aerobik ve anaerobik çürütmeyle bakteri inaktivasyonunun karşılaştırılması. ....	31
Çizelge 2.20: Atıksu Çamuru arıtma proseslerinin Patojen giderilmesine olan etkisi (log 10 tabanına göre).....	32
Çizelge 2.21: Çeşitli Kül, Çamur oranlarında ve karıştırma zamanlarında pH'ta, Mikroorganizma (Standart Palte Count) nüfusunda meydana gelen değişimler. ....	39
Çizelge 2.22: 20°C'de karıştırmadan 4 saat sonra bakteriyolojik parametreler üzerinde CaO'nun etkisi.....	40
Çizelge 2.23: Mikrobiyal yükleme üzerinde depolama süresinin ve CaO dozunun etkisi.....	41
Çizelge 2.24: 1. gün sonunda sıcaklıkta ve MO seviyesinde CaO dozuna göre değişimler....	42
Çizelge 2.25: Ascaris yumurtalarının büyümesi (gelişimi) (referans örnek).....	42
Çizelge 2.26: Ascaris yumurtalarının büyümesi (gelişimi) (%10 CaO ile arıtılmış çamur) ...	43
Çizelge 2.27: % 10 CaO ile arıtılmış örneğin dışının izole edilmesinden sonra %1 formaldehit çözeltisinde Ascaris yumurtalarının yetiştirilmesi. ....	43
Çizelge 2.28: Çamur özellikleri üzerinde CaO uygulamasının (%10) uzun süreli etkileri .....	44
Çizelge 3.1:Ham çamurda belirlenmesi gerekli parametreler:.....	50
Çizelge 3.2: 1. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler.....	51
Çizelge 3.3 2. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler.....	51
Çizelge 3.4: 3. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler.....	52
Çizelge 3.5: 4. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler.....	53
Çizelge 3.6: 5. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler.....	53
Çizelge 3.7: 6. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler.....	54
Çizelge 3.8: 7. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler.....	54
Çizelge 3.9: 8. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler.....	55
Çizelge 4.1: Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarına serilen arıtma çamurlarının bazı Fiziksel ve Kimyasal özellikleri.....	59
Çizelge 4.2: Mart çalışması Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler. ....	61

Çizelge 4.3: Haziran çalışması Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	61
Çizelge 4.4: Eylül çalışması Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	62
Çizelge 4.5: Mart çalışması % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	67
Çizelge 4.6: Haziran çalışması % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	67
Çizelge 4.7: Eylül çalışması % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	68
Çizelge 4.8: Mart çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler. ....	72
Çizelge 4.9: Haziran çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	73
Çizelge 4.10: Eylül çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	73
Çizelge 4.11: Mart çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	78
Çizelge 4.12: Haziran çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	79
Çizelge 4.13: Eylül çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.....	79
Çizelge 4.14: Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Fekal Koliform parametresinde meydana gelen değişimler. ....	86
Çizelge 4.15: Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Toplam Koliform parametresinde meydana gelen değişimler. ....	87



Çizelge 4.16: Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre HPC parametresinde meydana gelen değişimler. ....	88
Çizelge 4.17: Ham İnegöl Arıtma Çamurunda mikrobiyal giderimlerde dönemlere göre değişimler. ....	91
Çizelge 4.18: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Fekal Koliform parametresinde meydana gelen değişimler. ....	93
Çizelge 4.19: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Toplam Koliform parametresinde meydana gelen değişimler. ....	94
Çizelge 4.20: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre HPC parametresinde meydana gelen değişimler. ....	95
Çizelge 4.21: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamurunda mikrobiyal giderimlerde dönemlere göre değişimler. ....	98
Çizelge 4.22: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Fekal Koliform parametresinde meydana gelen değişimler. ....	100
Çizelge 4.23: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Toplam Koliform parametresinde meydana gelen değişimler. ....	101
Çizelge 4.24: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre HPC parametresinde meydana gelen değişimler. ....	102
Çizelge 4.25: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü İçeren İnegöl Arıtma Çamurunda mikrobiyal giderimlerde dönemlere göre değişimler. ....	105
Çizelge 4.26: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Fekal Koliform parametresinde meydana gelen değişimler. ....	107
Çizelge 4.27: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Toplam Koliform parametresinde meydana gelen değişimler. ....	108

Çizelge 4.28: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre HPC parametresinde meydana gelen değişimler. ....	109
Çizelge 4.29: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamurunda mikrobiyal giderimlerde dönemlere göre değişimler.....	112
Çizelge 4.30: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.....	118
Çizelge 4.31: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.....	120
Çizelge 4.32: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	122
Çizelge 4.33: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	124
Çizelge 4.34: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	126
Çizelge 4.35: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	128
Çizelge 4.36: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	130
Çizelge 4.37: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.....	132
Çizelge 4.38: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	134

Çizelge 4.39: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	136
Çizelge 4.40: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri. ....	138
Çizelge 4.41: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.....	140

## 1. GİRİŞ

Evsel ve endüstriyel atıksuların toplanıp arıtılması ve alıcı ortama kirliliğin az iletilmesi, su kirliliği probleminin çözüldüğü anlamına gelmemektedir. Kirlilik atıksu formundan daha konsantre olan arıtma çamuru formuna aktarılmıştır. Arıtma çamuru her türlü evsel ve endüstriyel drenajdan gelen atıksu materyallerini içeren bir üründür.(Anonim, 1998).

Biyolojik arıtma tesislerine çoğunlukla çözünmüş formda gelen kirleticiler, mikroorganizmalarca enerji eldesi için kullanılmaktadır. Bunun sonucu kirleticiler form değiştirip, mikroorganizma bünyesine geçerek katı forma dönüşmüş olurlar. Çoğalan mikroorganizmaların son çöktürücülerde çökeltip sudan ayrılmaları sonucu oluşan bu çökelti arıtma çamurunu oluşturur.

Günümüzde, alıcı ortamların kalitesini korumak amacıyla daha etkin standartların yürürlüğe girmesi ile birlikte, arıtma çamurlarının bertarafı önem kazanmış ve buna bağlı olarak da çeşitli metotlarla çamurların işlenmeleri sonucunda biyokatılara dönüştürülerek, tarım, enerji, erozyon gibi alanlarda kullanılmaları oldukça yaygın bir hale gelmiştir.

Atıksu çamurlarının gübre olarak kullanımı 1940'ların öncesine dayanmaktadır. (Anonim,2003). Çünkü arıtma çamurları genellikle uçucu katı madde (60%), azot (3%), fosfor (2%), diğer makronutrient ( $K_2O$  – 0.5 %,  $CaO$ - 5 %,  $Mg$  0-1.5%) ve çeşitli iz elementlerden oluşmaktadır. (Markosyan.L.S. ve ark.,2002). Bu da özellikle evsel kökenli çamurların tarımsal verimliliğin artırılması için faydalı bir kaynak olduğu anlamına gelmektedir.

A.B.D gibi çeşitli ülkelerde evsel çamurlar toprak iyileştirilmesi, tarımsal alanlar, ormanlar, rekreasyonel alanlar, mezarlıklar, bahçeler, otoyol ve uçak pisti kenarları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. (Anonim,1999b). 1995'de A.B.D.'de çıkan evsel atıksu çamurlarının %54'ünün arazilere uygulandığı bilinmektedir.(Anonim,1999b). ABD'de 2000 yılında 12 milyar ton evsel atıksu çamuru üretilmiştir.(Anonim,2003).

Florida ABD'de 1997-2000 yılları arasında çeşitli bitki türleri üzerine sıvı evsel çamur ve sentetik gübre uygulamalarının karşılaştırılması çalışması yapıldığında, sıvı evsel atıksu çamurunun sentetik gübre kadar etkili olduğu hatta bitkilerin daha fazla fosfor, kalsiyum ve demir içerdiği gözlemlenmiştir.(Anonim,2003).

Fakat evsel atıksularda bulunan hastalık yapıcı patojen mikroorganizmaların varlığı gibi engeller evsel atıksu çamurunun çeşitli faaliyetlerde kullanılmasını sınırlar. Bunun yanında evsel atıksuyun deşarj kaynağına bağlı olarak evsel arıtma çamurunda ağır metal, inorganik iyonlar, toksik organik kimyasallar ve pestisitler de bulunabilmekte ve kullanım sınırlanabilmektedir. (Anonim,1990).

Ülkemizde toplam 28,05 milyon hektar tarım arazisi mevcuttur (Anonim,2004b). Bu alanda ortalama 82 kg/hektar gübre kullanımı söz konusudur.(Anonim,2004a). Basit hesapla ortalama Türkiye'nin yıllık gübre kullanımı toplam 2,3 milyon ton'dur. Ülkemizde arıtma çamurları yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu büyük doğal gübre potansiyeli olan evsel atıksu çamurunu da bir kaynak olarak değerlendirmek, ekonomik yönden büyük faydalar sağlayacaktır. Çevreye daha uyumlu doğal bir kaynak olması artı bir özelliktir.

Ormanlık alanlara veya orman yetiştirmeye müsait olabilecek alanlara evsel atıksu çamurunun uygulanması durumunda ormanların büyüme hızlarında çok yüksek miktarlarda artış gözlemlenmiştir.(Anonim,1999b). Ülkemizin en önemli çevresel sorunlarından birisi olan erozyonla mücadelede evsel atıksu çamuru bu mücadeleye destek verecek kaynaklardan birisi olabilir.

Arıtma çamurlarının çeşitli faaliyetlerde güvenle kullanılabilmesi için dünya üzerindeki çeşitli kuruluşlar tarafından belirlenmiş bazı sınırlayıcı parametrelere uyması veya uygun hale getirilmesi gerekmektedir. EPA'da bu kuruluşlardan biridir. Bu çalışmada EPA'nın arıtma çamurlarının kullanımı için belirlediği kriterlerlerden B sınıfı çamur kriteri kullanılacaktır.

Bu çalışmanın amacı, İnegöl Atıksu Arıtma Tesisi Belt Pres çıkışından alınan arıtma çamurunun BUSKİ tarafından kurulmuş açık ve kapalı çamur susuzlaştırma pilot ünitelerine serilerek, Halk Sağlığına Zararlı (Patojen) Mikroorganizmaların, İndikatör bakteriler yardımıyla izlenmesi ve kurutma sonrası çamurların stabilizasyon seviyesinin EPA'nın B sınıfı çamur kriterine uygunluğunun belirlenmesidir.

Kaynak araştırması kısmında belirtilmekle birlikte bu kısımda kısaca B sınıfı çamur kriterinden bahsetmek yararlı olacaktır. B sınıfı çamur kriterinin özelliği;

- a) 7 ayrı noktadan alınmış ve homojen olarak karıştırılmış biyokatı örneğinin 1 g kuru katısının geometrik ortalamasında  $2 \times 10^6$  MPN'dan daha az Fekal Koliform İndikatör bakterisine rastlanmalı veya bu sınır değerinin altına çekilene kadar arıtma çamurları işlem görmelidir. (Anonim,1999b).
- b) Vektör çekici özelliğinin olmaması için biyokatının kuru madde içeriğinin katkı maddesiz biyokatılarda % 75, katkı maddeli biyokatılarda % 90'nın üzerinde olması gerekmektedir. (Anonim,1999b).

Çalışma EPA'nın B sınıfı çamur kriterinin sağlanması için 40 CFR Part 503 Ek B'de belirlenmiş "Patojenleri önemli miktarda azaltan prosesler" Çizelgesinin 2. maddesinde belirtilen "Açık havada kurutma metodu"na dayandırılmıştır.

Bu metoda uygun olarak BUSKİ’de kurulmuş pilot ölçekli Açık kurutma yatakları çalışma için seçilmiştir. Bu çalışmada farklı olarak üzeri polikarbonat malzeme ile örtülmüş, alttan güneş enerji kolektörleri ile ısıtılan kapalı kurutma yatakları da denenmiştir. Açık ve kapalı kurutma yataklarına İnegöl Atıksu Arıtma Tesisi Belt pres ünitesinden alınan % 21- 22 katı madde içerikli arıtma çamuru serilmiştir. Çamurlara çeşitli alkali maddeler katılmış kuruma süreci boyunca meydana gelen mikrobiyal değişimler izlenmiş ve elde edilen biyokatinin EPA B sınıfı çamur kriterlerine uygunluğu belirlenmiştir. Bunun yanında daha önce laboratuvar ortamında denenmiş olan bazı çalışmaların gerçek koşullarda nasıl değişimler gösterdiğini de izleme fırsatı doğmuştur .

Bu amaçla açık ve kapalı kurutma yatakları 8 bölmeye bölünmüştür. Bu bölmelerden 4 ‘ü açık sisteme, 4’ü kapalı sisteme aittir. Bu 8 bölmeden 1. ve 5.’sine herhangi katkı maddesi içermeyen çamur, 2. ve 6.’sına katı maddece % 15 sönmemiş kireç katılmış çamur, 3.ve7.’sine katı maddece % 40 Termik Santral Külü katılmış çamur, 4. ve 8.’sine Katı Maddece % 40 Termik Santral Külü ve pH 12’yi aşacak şekilde sönmemiş kireç katılmış çamur serilmiştir.

## **2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1 Evsel Atıksu Çamurları ve Özellikleri**

#### **2.1.1 Evsel Atıksu Çamuru Tanımı**

Biyolojik Arıtma Çamuru, Biyolojik arıtma tesislerine gelen evsel ve endüstriyel çoğu çözülmüş kirleticilerin, mikroorganizmaların enerji eldesi ve üremek için kullanılması sonucu form değiştirip, mikroorganizma bünyesine geçmesi ve bu geçiş sonucu mikroorganizma miktarının çoğalması ve çöktürücülerde bu mikroorganizmaların çökeltilmesi sonucu oluşan sulu çökeltidir.

Evsel atıksularda ölçülen KOİ içinde çözülmüş ve kısmen askıda organik maddeler bulunmaktadır. Bu organik maddeler mikroorganizma tarafından parçalanmaktadır. Parçalanan bu maddelerden mikroorganizmalar enerji elde etmektedir ve bu enerjinin bir kısmı üremek için kullanmaktadır. Böylece kirleticiler evsel atıksuda çözülmüş formdan, canlı bünyesine alınarak katı forma biyolojik arıtma ile dönüştürülmektedir. Bu sayede alıcı ortama temiz su verilebilmektedir. Fakat biyolojik arıtma ile kirleticinin % 50'si giderilmiştir. % 50'si ise elde biyolojik çamur olarak kalmıştır. Bu çamur da evsel atıksu içeriğinin konsantre bir halidir. (Anonim, 1998) ve içerisinde evsel atıksuda bulunan zararlı maddelerin hemen hemen hepsi bulunmaktadır. (Anonim,1990).

#### **2.1.2 Evsel Atıksu Çamurunun Özellikleri**

Evsel Atıksu Çamuru bitkiye yararlılı nutrientlere, toprak iyileştirici özelliklere sahiptir. Bunun yanında patojenik bakteriler, virüsler, protozoalar, parazitler v.s gibi hastalık yaratan mikroorganizmalar içerir. (Anonim,1999b). Arıtma Çamurları genellikle organik madde (60%), azot (3%), fosfor (2%), diğer macronutrient ( $K_2O$  – 0.5 %,  $CaO$ - 5 %,  $Mg$  0-1.5%) ve geniş micronutrient aralığı ve çeşitli iz metallere sahiptir. (Markosyan.L.S. ve ark.,2002). Günümüzde genellikle arıtma çamurları arıtma tesislerinde % 20 KM içeren çamur kekleri haline dönüştürülür. Bu sayede arıtma çamurları kolay taşınır bir hal alır. Aşağıda ham ve çürütülmüş çamurlarla ilgili tipik kimyasal kompozisyonlar verilmiştir.

Çizelge 2.1: Ham ve çürütülmüş çamurların tipik fiziksel ve kimyasal kompozisyonları.

Parametre	Ham Ön Çökeltim Çamuru	Çürütülmüş Ön Çökeltim Çamuru	Aktif Çamur
Toplam Katı Madde (KM),%	2,0 – 8,0	6,0 – 12,0	0,83 – 1,16
Toplam Organik Madde (KM'nin %'si)	60 – 80	30 – 60	59 – 88
Yağ ve gres (KM'nin %'si)			
Eter Çözeltilisi	6 – 30	5 – 12	-
Eter Ekstraktı	7 – 35	-	5 – 12
Protein (KM'nin %'si)	20 – 30	15 – 20	32 – 41
Azot (N, KM'nin %'si)	1,5 – 4,0	1,6 – 6,0	2,4 – 5,0
Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> KM'nin %'si)	0,8 – 2,8	1,5 – 4,0	2,8 – 11,0
Potasyum (K <sub>2</sub> O, KM'nin %'si)	0,0 – 1,0	0,0 – 3,0	0,5 – 0,7
Selülöz (KM'nin %'si)	8,0 – 15,0	8,0 – 15,0	-
Demir (Sülfid olmayan) (KM'nin %'si)	2,0 – 4,0	3,0 – 8,0	-
Silisyum (SiO <sub>2</sub> , KM'nin %'si)	15,0 – 20,0	10,0 – 20,0	-
pH	5,0 – 8,0	6,5 – 7,5	6,5 – 8,0
Alkalinite (mg/L CaCO <sub>3</sub> olarak)	500 – 1500	2500 – 3500	580 – 1100
Enerji İçeriği, Btu/lb	10000 - 12500	4000 – 6000	8000 – 10000

Kaynak: Tchobanoglus, G. And F.L. Burton. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. Metcalf&Eddy Inc, USA. 771s.

Aritma çamurlarının ağır metal içerikleri de kullanım açısından önemli bir faktördür. Aşağıda çeşitli yerlere ait arıtma çamurların ağır metal konsantrasyonları Çizelge halinde verilmiştir. (Çizelge 2.2). Görüldüğü üzere ağır metal konsantrasyonu çok geniş bir konsantrasyon aralığında salınmaktadır. Bunun sebebi arıtma tesislerine gelen evsel atıksuların

- Arıtma tesisinin drene ettiği bölgedeki endüstriyel faaliyetin evsel atıksu içindeki oranına,
- Endüstrinin tipine

bağlı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır.



Çizelge 2.2: Değişik yerlerden alınmış evsel atıksu çamurunun ağırmetal konsantrasyonu

Metal	Birim mg/kg KM	Metal	Birim mg/kg KM
Ag	< 930	Mn	60-3900
As	3 - 30	Mo	1 - 40
Au	0.25-7	Ni	6 - 5300
B	16-680	Pb	29-3600
Ba	9-1004	Sb	3 - 44
Cd	1 - 3410	Se	1 - 10
Co	1-260	Sn	40-700
Cr	8-40600	U	0.8-3.3
Cs	0.45-2.9	V	20-400
Cu	50-8000	W	0.9-99.6
Hg	0.1-55	Zn	91-4900
La	6.4-380	Zr	4.8-319

Kaynak: L.S. MARKOSYAN, N.VARDANYAN, A.KH.PARONYAN, V.G.NIKOGHOSYAN, A.DELALIO. 2002. Biological Journal of Armenia 3 - 4 (54), JUNE, 2002 Microflora and Chemical Characteristics of Wastewater Sludge, Armenia,

Çizelge 2.2’de görüldüğü üzere alt değerler düşük debideki endüstrileri drene eden evsel ağırlıklı suları kapsamaktadır.

Evsel atıksu çamuru endüstriyel kökenli zararlı organik ve inorganik maddeler içermese bile, yine kullanımda sınırlayıcı bir faktör daha vardır ki bu halk sağlığına zararlı patojen mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizmalar ve yarattıkları hastalıklar Çizelge 2.3’de belirtilmiştir. (Anonim,1999b). Bu hastalıklar iki yolla çamurlardan bulaşmaktadır.

Doğrudan Temas ile,

- Evsel atıksu çamuruna dokunmak ile,
- Yeni çamur depolanmış alan etrafında dolaşmak ile,
- Evsel atıksu çamuru uygulanmış alandan toprak almak ile,
- Çamur uygulanması sonrası meydana gelen şidetli rüzgar ile mikropların aerosoller ve tozla uzak bölgelere taşınımı ile bulaşmaktadır.

Dolaylı Temas ile,

- Evsel atıksuda büyütülmüş bitkiler tarafından patojenlerin emilimi veya bu bitkilere temas etmiş diğer besinler ile,

- Evsel atıksu çamuru serilmiş bölgede hayvan otlatılması veya o çamurdan üretilmiş bitkinin hayvan yemi olarak verilmesi sonucu et ve süt ürünleri ile,
- Yakındaki alana depolama sonucu içme ve rekreasyonel suya karışım veya yer altı suyu akiferine sızma yolu ile,
- Evsel atıksu çamuru uygulanmış alandan suya karışma sonucu, o sudan tutulmuş balık ve su ürünlerinin tüketilmesi yolu ile,
- Evsel atıksu çamuru uygulanmış alana gelen böcekler, gibi vektörlerin veya bazı hayvanların o alandan bu patojenleri taşıması yolu ile bulaşmaktadır

Buradan da anlaşılacağı üzere özellikle evsel kökenli çamurların tarımsal verimlilik için güzel bir kaynak olabileceği görülmektedir. Arıtma Çamuru çok çeşitli faaliyetler sonucu oluşan evsel atıksuların arıtma yan ürünüdür. Arıtma çamurunun tarımsal faaliyetlerde, toprak iyileştirmesi gibi alanlarda kullanılması yukarıda bahsi geçen bazı kriterlere dikkat edilmesini gerektirmektedir. Çevre ve halk sağlığına uygunluk kriterleri dikkat edilmesi zorunlu bir gerekliliktir.

## **2.2 Arıtma Çamurlarının Nihai Bertaraf Yöntemleri**

Arıtma çamurlarının nihai bertarafı için çeşitli alternatifler mevcuttur. Uygun yöntemin seçilmesinde arıtma çamurlarının özellikleri ile ekonomik ve teknik imkanlar göz önüne alınır. Uygulanan başlıca yöntemler; düzenli depolama, arazide bertaraf, kimyasal sabitleme ve termik yöntemler olarak sıralanmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanabilirliği, arıtma çamurlarının özelliklerine, o bölgenin jeolojik, hidrojeolojik yapısı ve iklim özellikleri gibi bazı faktörlere bağlıdır.

Düzenli depolama, katı artıkların ve arıtma çamurlarının halk sağlığı ve güvenliğine zarar vermeyecek şekilde depolanması ve üzerlerinin örtülmesi işlemidir. Çamur depolama işlemlerinin uygulanmasında ilk amaç, çamur hacminin azaltılarak depolama alanındaki mevcut depolama kapasitesini arttırmaktır. Bu nedenle düzenli depolamaya verilecek olan çamurların doğal veya mekanik yöntemler uygulanarak suyu alındıktan sonra depolanması gerekir.

Çeşitli endüstriyel prosesler sonucu oluşan zararlı ve tehlikeli son ürünlerin doğrudan bertarafının yapılması çevresel açıdan büyük sakıncalar yaratmaktadır. Bu tür atıkların özel işlemlerden geçirildikten ve tehlike yaratan kirleticiler minimum düzeye indirildikten sonra bertarafı yapılmalıdır. Deponi sahasında hacim azalması sağlanması, mevcut kirleticilerin yağmur suyuyla yıkanarak sızıntı sularına geçişinin önlenmesi amacıyla uygulanan en yararlı

yöntem solidifikasyon yöntemidir. Çeşitli bağlayıcı malzeme ilavesiyle atık içindeki kirleticilerin katı bünye içinde sabitlenmesi, hapsedilmesi bu tür tehlikeli atıkların doğaya olan zararını önleyecektir. Öte yandan katılaştırılmış materyal, belirli bir donanımına sahip olduğundan, düzenli depolama sahalarında örtü materyali olarak, yol inşaatlarında dolgu materyali olarak ve tuğla yapımında yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Böylece atığın çevreye zararlı olmaktan öte yararlı olabilecek yönde kullanımı da gerçekleştirilmiş olacaktır (Vesilind ve ark. 1986).

Termik yöntemler, genel olarak çamur uzaklaştırma imkanlarının kısıtlı olduğu çok büyük tesislerde uygulanır. Termal olarak işlem gören çamurlar, çoğunlukla suyu alınmış ancak işlenmemiş çamurlardır. Yakma işleminden önce stabilizasyon gereksizdir. Çünkü, aerobik veya anaerobik olarak çamurun stabilize edilmesi sonucu çamurun organik madde içeriği azalacağından yakma işleminde gerekli yakıt miktarı artar. Çok gözlü fırınlarda veya akışkan yataklı fırınlarda yakma, piroliz ve rekalsinasyon termal yöntemler olarak sayılabilir. Bu sistemlerin yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olduğundan, nihai bertaraf yöntemi olarak kullanımları sınırlıdır (Filibeli 1998)

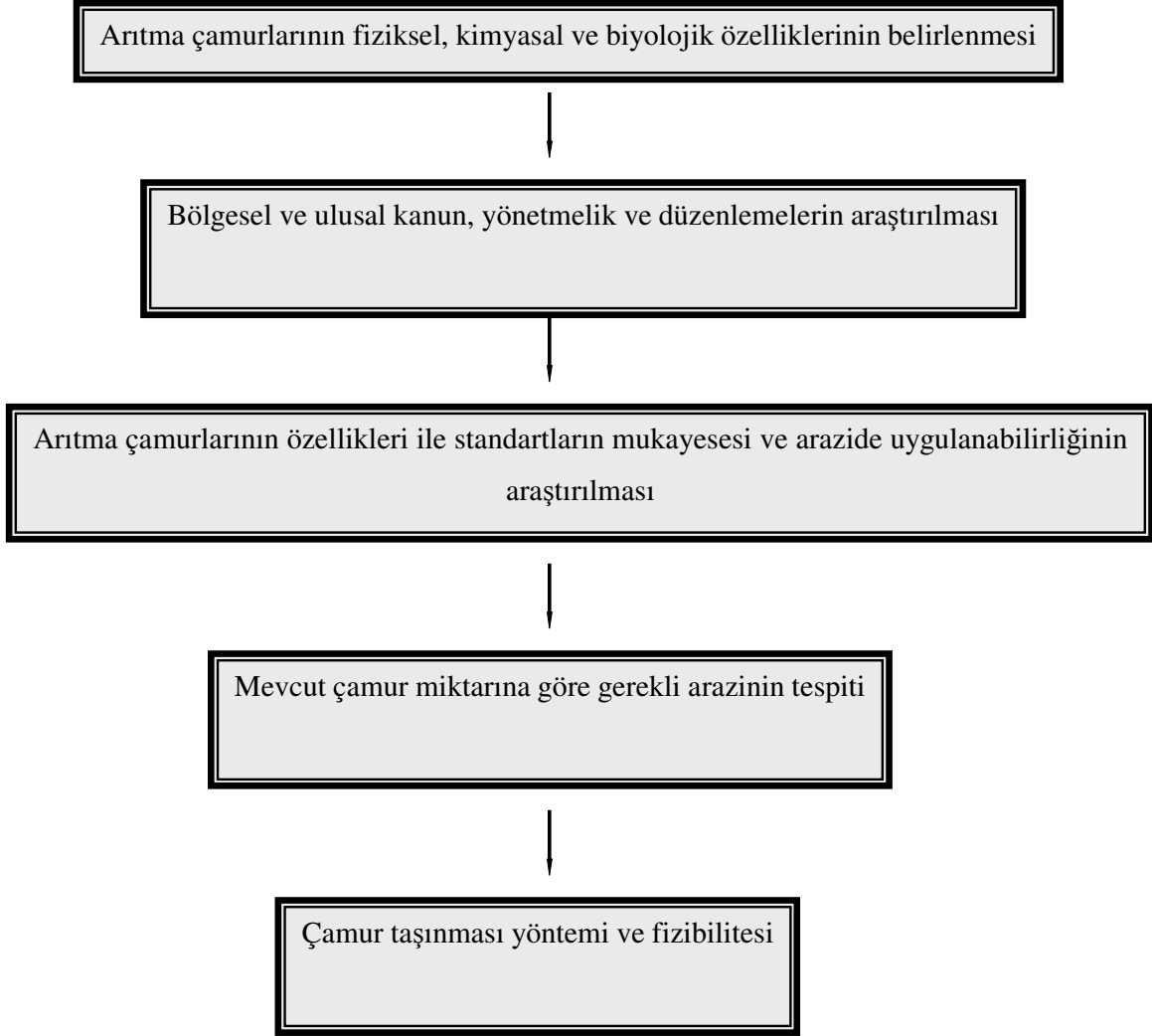
Arazide bertaraf yöntemi ise, nihai bertaraf yöntemi olarak düşünülmemeli, arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı toprak şartlandırıcı olarak kullanılması olarak değerlendirilmelidir. Bu yöntemde, arıtma çamurları içeriğindeki organik maddeler ve mineral tuzlar toprak özelliklerini iyileştirerek erozyonu önlemekte ve bitkiler için çeşitli besin maddeleri sağlamaktadır. Tarımsal amaçla kullanılması mümkün olmayan arazilerin uygun özellikteki arıtma çamurları ile desteklenerek tarımsal değeri olan araziler haline dönüştürülmesi mümkündür.

### **2.3 Arıtma Çamurlarının Araziye Uygulanması**

Arıtma çamurlarının araziye verilerek bertaraf edilmesi, uzun yıllardan beri uygulanan bir yöntem olmuştur. Ancak ham veya işlenmemiş çamurların araziye gelişigüzel boşaltılması, koku ve patojen mikroorganizma sorunu, yer altı sularının kirlenmesi gibi istenmeyen bazı olumsuzluklara neden olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda çamurların üzerinde yapılan araştırmalar ve çalışmalar yoğunlaştırılmış, arıtma çamurlarının nihai bertarafına yönelik yasal düzenlemeler geliştirilip uygulamaya konulmuştur (Rhyner ve ark. 1995).

Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında önce çamurun özelliklerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesi gerekir. Dikkat edilmesi gereken diğer noktalar; çamurun kalitesi ve miktarı,

yasal düzenlemeler ve bertaraf alternatiflerinin değerlendirilmesidir (Filibeli 1998). Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında izlenecek yol Şekil 2.1.'de özetlenmiştir.



Şekil 2.1: Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında izlenecek kademeler.

Kaynak: Aral, N. 1990. Arıtma Çamurlarının Tasfiyesinde Arazide Kullanılma İmkanları. İ.T.Ü. 2 Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, İstanbul, 24-26 Eylül 1990, 118 s.

Aritma çamurlarının tarımsal alanlara uygulanması ile çamurun, gübre besin elementleri kaynağı olarak ve/veya toprak şartlandırıcı olarak kullanılması ve tarımsal üretimin artırılması amaçlanmaktadır. Aritma çamurlarından tarımsal faydalanmanın temel prensibi çamurun tarım arazilerine agronomik oranlarda uygulanmasıdır. Yani yıllık yükleme bazında çamur ile verilen ve ürünlerdeki mevcut N ve/veya P miktarı, ürünün ihtiyacı olan yıllık N ve/veya P miktarını geçmeyecek şekilde çamur yüklemesi yapılmalıdır. Aritma çamurları başta azot ve fosfor olmak üzere çeşitli makro besin elementleri ve çoğu durumda önemli miktarda, bor, mangan, bakır, molibden ve çinko gibi mikro besin elementlerini içermektedir. Bu besin elementlerinin çamur içerisindeki kesin oranları, iyi dengelenerek formüle edilmiş bir gübredeki değerler gibi olmasa da tarımsal ürünlerin çoğu, çamurdaki besin elementlerine olumlu yönde cevap vermektedir.

Aritma çamurları eğer agronomik yükleme oranlarının üzerinde uygulanırsa, değerli bir toprak şartlandırıcı olarak kullanılabilir. Yumuşak killi topraklara eklenen arıtma çamuru, toprağı daha gevşek ve uflanabilir bir yapıya dönüştürür ve gözenek büyüklüğünü artırarak hava su girişini kolaylaştırır. Kaba kumlu topraklarda ise toprağın su tutma kapasitesini artırır ve besin element değişimi ve adsorpsiyon için kimyasal bölgeler sağlar (Anonim 1984).

Aritma çamuru uygulanacak topraklarda uygulamadan önce bazı testlerin yapılması gerekmektedir. Aritma çamuru uygulanacak toprağın pH'ının 6.5 veya daha yüksek olması istenir. Böylece ağır metallerin toprak içerisindeki hareketleri sınırlandırılmış olur. Eğer toprağın pH'ı çok düşükse kireç eklemesiyle bu değer uygun seviyelere getirilir. Toprakta bulunan bitkiye yararlı N, P ve K miktarlarının belirlenmesi çamur uygulama oranlarının hesaplanmasında büyük önem taşımaktadır. Toprağın kation değiştirme kapasitesi, toprağın ağır metalleri bağlama yeteneğinin bir göstergesi olduğu için arıtma çamuru uygulanacak toprakların bu açıdan da incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca toprağın geçirgenliği ve yapısı bölgenin drenaj özelliklerini belirlediği için çamur uygulamalarında yol gösterici toprak özelliklerindedir. Geçirgenliği yüksek topraklar, çamur bileşenlerinin çık hızlı bir şekilde toprağın alt tabakalarına doğru taşınımına neden olurken, geçirgenliği düşük topraklar yüzeysel göllenmelerin oluşumuna yol açmaktadır. Bu nedenle arıtma çamuru uygulamalarında orta geçirgenlikteki topraklar tercih edilmektedir. (Anonim 1983).

Aritma çamurunun tarımsal uygulamalarındaki diğer önemli bir husus da arazinin yeraltı su kaynaklarına olan uzaklığıdır. Çoğu durumda yer altı sularında mevsimlere bağlı değişimler söz konusu olduğu için çamur uygulama arazilerinin yer altı sularına kabul edilebilir minimum mesafesinin belirlenmesinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Konuyla ilgili

yasal düzenlemelerde genellikle yeraltı suyuna olan minimum mesafe 1 m olarak verilmektedir (Anonim 1983).

Aritma çamurlarının tarımsal arazilerde kullanılmasını sınırlayan faktörlerden biri olan azot tüm bitkilerin en fazla ihtiyaç duyduğu bitki besin elementidir. Toprağa bitkinin ihtiyacından fazla N uygulamak yer altı sularına nitrat karışması riskini doğurmaktadır. Nitrat toprak partikülleri tarafından adsorbe olmaz ve süzüntü sularıyla beraber toprağın alt tabakalarına doğru taşınır. Su kaynaklarındaki yüksek nitrat seviyeleri özellikle yeni doğmuş bebekler için önemli sağlık sorunlarına yol açmaktadır. İçme sularındaki izin verilebilir maksimum  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu 10 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$  olarak belirlenmiştir. Uygun dizayn edilmiş ve iyi yönetilen bir çamurdan tarımsal olarak faydalanma programında yer altı sularına nitrat karışması riski, konvensiyonel azotlu gübrelerin kullanılmasının taşıdığı riskten fazla değildir (Anonim 1983).

#### **2.4 Ağır Metalin Arıtma Çamurunun Kullanımına Olan Etkileri**

Evsel atıksu çamurlarından yararlanılabilmesi veya bertaraf edilebilmesi için çevre ve halk sağlığına uygunluk ön plana çıkmaktadır. Ağır metaller çamurdan yararlanma ve bertarafı dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Bu bakımdan kısaca bu konuya değinmek faydalı olacaktır.

Ülkemiz 10-12-2001 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (Bilgin, 2002) ve Avrupa Birliği yönetmeliklerinde (Bilgin, 2002) arıtma çamuru uygulamasından önce ve uygulama boyunca alıcı ortam olan topraklarda ağır metallerin takibi ile ilgili esaslar yer almaktadır. Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.3’de verilmiştir. Yönetmeliklerde yer alan sınır değerler toprak pH’ı baz alınarak düzenlenmiştir.

Aritma çamurlarının araziye uygulanmasında bir yılda arıtma çamuru ile toprağa verilecek metal yükleri yasal düzenlemelerle kontrol altında tutulmaktadır. Avrupa Birliği söz konusu yıllık metal yük sınır değerlerini 10 yıllık ortalamayı esas alarak belirlemiştir. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ülkemiz topraklarına bir yılda verilebilecek ağır metal yüklerini belirlemede Avrupa Birliği’nin 86/278/EEC Yönetmeliğinde (Bilgin, 2002) belirtilen değerlerin aynısını kabul etmiştir. Ancak Avrupa Birliği, Taslak Yönetmelikte de görüldüğü gibi, 2000 yılı sonrasında toprağa bir yılda verilebilecek metal yüklerini önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir. (Çizelge 2.4).

Amerika’da EPA tarafından 1993 yılında 40 CFR Part 503 adı altında bir yönetmelik oluşturulmuştur. Bu yönetmelikte kirletici limit değerleri ve evsel atıksuların işlenmesi sonucu oluşan çamurların uzaklaştırma ve kullanım esaslarına yer verilmiştir. Yönetmelikte yer alan ağır metal konsantrasyon limitleri Çizelge 2.5.’te ve yükleme oranları Çizelge 2.6’te verilmiştir.

Çizelge 2.3: Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru toprak)

Element	TKKY (Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği)		86/278/EEC (AB-Avrupa Birliği Yönetmeliği)		AB Taslak Yönetmelik		
	pH<6	pH>6	pH<6	pH>6	5≤pH<6	5≤pH<6	pH≥7
Kadmiyum(Cd)	1	3	1	3	0,5	1	1,5
Krom (Cr)	100	100	100	100	30	60	100
Bakır(Cu)	50	140	50	140	20	50	100
Civa(Hg)	1	1,5	1	1,5	0,1	0,5	1
Nikel(Ni)	30	75	30	75	15	50	70
Kurşun(Pb)	50	300	50	300	70	70	100
Çinko(Zn)	150	300	150	300	60	150	200

Kaynak: Bilgin N, H.Eyüpoğlu ve H.Üstün. 2002. Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara, s.28.

Çizelge 2.4: 10 yıllık ortalamalar esas alınarak bir yılda toprağa verilebilecek ağır metal miktarları (g kuru madde/da/yıl).

Element	TKKY (Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği)	86/278/EEC (AB-Avrupa Birliği Yönetmeliği)	AB Taslak Yönetmelik		
			Önerilen	Orta vade	Kısa vade
Kadmiyum(Cd)	15	15	3	1,5	0,6
Krom (Cr)	1500	-	300	240	180
Bakır(Cu)	1200	1200	300	240	180
Civa(Hg)	10	10	3	1,5	0,6
Nikel(Ni)	300	300	90	60	30
Kurşun(Pb)	1500	1500	225	150	60
Çinko(Zn)	3000	3000	750	600	450

Kaynak: Bilgin N, H.Eyüpoğlu ve H.Üstün. 2002. Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara, s.28.

Çizelge 2.5: Kirletici konsantrasyon limitleri.

Kirletici	Tavan konsantrasyonları (mg/kg kuru ağırlık)	Aylık ortalama kirletici konsantrasyonları (mg/kg kuru ağırlık)
Arsenik	75	41
Kadmiyum	85	39
Krom	3000	1200
Bakır	4300	1500
Kurşun	840	300
Civa	57	17
Molibden	75	--
Nikel	420	420
Selenyum	100	36
Çinko	7500	2800

Kaynak: Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as amended 08/04/99.

Çizelge 2.6: Kirletici yükleme oranları

Kirletici	Kümülatif yükleme oranları (kg/ha kuru ağırlık)	Yıllık yükleme oranları (kg/ha kuru ağırlık)
Arsenik	41	1,8
Kadmiyum	39	1,7
Krom	3000	134
Bakır	1500	67
Kurşun	300	13
Civa	17	0,76
Molibden	--	--
Nikel	420	19
Selenyum	100	4,5
Çinko	2800	125

Kaynak: Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as amended 08/04/99.

## 2.5 Patojen Mikroorganizmaların Arıtma Çamurunun Kullanımına Olan Etkileri

Evsel arıtma çamurları bitki besin elementleri içermesi ve toprak şartlandırıcı özellikler taşıması yanında, patojenik bakteriler, virüsler, protozoalar, parazitler ve diğer hastalık yapıcı mikroorganizmalar da içermektedir. Patojen mikroorganizmalar arıtma çamuruna,

- İnsanların boşaltım sistemlerinden atıksuya,
- Hayvanların boşaltım sistemlerinden atıksuya,
- Hastanedeki faaliyetlerden atıksuya,



karişması yolu ile bulaşmaktadır. (Anonim,1999b).

Çizelge 2.7’de evsel atıksularda ve arıtma çamurlarında görülen başlıca patojenler görölmektedir (Anonim,1999b).

Çizelge 2.7: Evsel atıksu ve Evsel Atıksu Çamurunda Bulunabilecek Temel Mikroorganizmalar.

Organizma	Hastalıkları/Belirtileri
<b>Bakteri</b>	
Salmonella sp.	Salmonellosis (besin zehirlenmesi), Tifo Hastalığı
Shigella sp.	Basilli Dizanteri
Yersinia sp.	Akut Gastroenteritis (ısal ve mide ağrısı)
Vibrio Cholerae	Kolera
Campylobacter jejuni	Mide ve Bağırsak Hastalıkları
Escherichia Coli (İndikatör M.O)	Mide ve Bağırsak Hastalıkları (Gastroenteritis)
<b>Enteric Viruses</b>	
Hepatitis A virus	Hepatit hastalığı
Norwalk ve Norwalk Benzeri Virüsler	Salgın Mide ve Bağırsak
Rota Virüsler	Akut Mide ve Bağırsak Problemleri ve Siddetli İsal
Enterovirüsler,	Polimiyelitis(Çocuk felci)
Poliovirüsler	Menenjit, Zatüre, hepatit, hastalıkları, üşütme belirtileri v.s
Coxsackievirüsler,	Menenjit, paralisis (felç), beyin hastalığı (encephalitis),
Echovirüsler,	hastalıkları üşütme belirtileri, isal v.s
Reovirüsler	Solumun enfeksiyonları, Mide ve Bağırsak Problemleri
Astrovirüsler	Salgın Mide ve Bağırsak Problemleri
Calicivirüsler	Salgın Mide ve Bağırsak Problemleri
<b>Protozoalar</b>	
Cryptosporidium	Mide ve Bağırsak Problemleri
Entamoeba histolytica	Akut Bağırsak Problemleri
Giardia lamblia	Giardiasis (ısal, mide krampı, kilo kaybı içerir)
Balantidium coli	İsal ve Dizanteri
Toxoplazma gondii	Toxoplasmosis
<b>Helminth Kurtları</b>	
Ascaris lumbricoides	Sindirim ve beslenme bozuklukları, karın ağrısı, kusma, yorgunluk
Ascaris suum	Öksürük,göğüs ağrısı ve ateş gibi belirtiler olabilir.
Trichuris trichiura	Karın ağrısı, isal, kansızlık, kilo kaybı
Toxocara canis	Ateş, Karın rahatsızlıkları, adale ağrısı, sinirsel belirtiler
Taenia saginata	Sinirlilik, uykusuzluk, iştahsızlık, karın ağrısı, sindirim bozuklukları
Taenia solium	Sinirlilik, uykusuzluk, iştahsızlık, karın ağrısı, sindirim bozuklukları
Necator americanus	Çengel kurdu hastalığı
Hymenolepis nana	Taeniasis(Tenya Hastalığı)

Kaynak: Anonim. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

### 2.5.1 Patojenlerin Yaşama Süreleri

Evsel atıksu genelde yüksek konsantrasyonlarda patojenler içermektedir. Hastaneler, endüstriler, bireysel bulaşmalar patojenlerin baş sorumlusudur. Evsel atıksu arıtma prosesi patojenleri evsel atıksu çamurunda konsantre ederek gidermektedir. Patojenler belli koşullarda hayatta kalabilmektedir. Bu koşulların sağlanamadığı ortamlarda yaşama olasılıkları azalmaktadır. Her patojen türü değişik koşullara karşı farklı dayanma özelliklerine sahiptir. Patojenlerin yaşam sürelerini pH, sıcaklık, güneş ışığı, nem seviyesi, mikroorganizmalar arası rekabet, ev sahibi organizmalarla temas ve yararlı nutrientler etkilerler. Çeşitli mikroorganizmaların yaşam süreleri Çizelge 2.8’da verilmiştir. (Anonim,1999b).

Çizelge 2.8: Toprak ve bitki yüzeyinde patojenlerin yaşam süreleri

TOPRAK		
Patojen	Nihai Maksimum	Normaldeki Maksimum
Bakteri	1 yıl	2 ay
Virüsler	1 yıl	3 ay
Protoza sistleri	10 gün	2 gün
Helminth Yumurtası	7 yıl	2 yıl
BİTKİLER		
Patojen	Nihai Maksimum	Normaldeki Maksimum
Bakteri	6 ay	1 ay
Virüsler	2 ay	1 ay
Protoza sistleri	5 gün	2 gün
Helminth Yumurtası	5 ay	1 ay

Kaynak: Anonim. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

### 2.5.2 Ülkemizde Evsel Atıksu Çamuru İle İlgili Mevzuatlar ve Sınırlandırmalar

Ülkemizde, 10 Aralık 2001 tarih ve 24609 sayılı resmi gazetede yayınlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nin (Bilgin, 2002) üçüncü bölümü, ham çamur, işlenmiş arıtma çamuru ve kompostun toprakta kullanılmasına ilişkin sınırlamalar getirmektedir. Yönetmelikte, çevre ve insan sağlığına olabilecek etkileri azaltmak amacıyla biyolojik, kimyasal, ısıl arıtma, kurutma, kompostlama ve uzun süreli depolama gibi stabilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri uygulanması gerekliliği belirtilmiştir. Ancak bu yöntemlerin

işletme koşullarıyla ilgili detay bilgilerin ve işlenmiş çamurun mikrobiyolojik özelliklerine ilişkin sınır değerlerin verilmediği dikkat çekmektedir (Anonim 2001).

### **2.5.3 U.S. EPA'ya Göre Evsel Atıksu Çamuru ile İlgili Mevzuatlar ve Sınırlandırmalar**

U.S. EPA yönetmelikleri ise araziye uygulanacak arıtma çamurları için iki seviyede patojen giderimini baz almaktadır. B sınıfı seviyesindeki patojen gideriminde patojen miktarındaki nihai azalmanın arazide meydana geleceği düşünülür. A sınıfı seviyesinde patojen içeren çamurlar daha sıkı standartlara tabidirler ve araziye uygulandıktan sonra halkın girişi veya bekleme periyotlarına ilişkin sınırlamalar söz konusu değildir. Sınırlamaların uygun olarak gözlemlenmesi durumunda B sınıfı seviyesindeki arıtma çamurlarının da A sınıfı kadar güvenli olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 2.9'da listelenen altı arıtma ve dökümantasyon alternatifinden birini sağlayan arıtma çamurları A sınıfı arıtma çamuru olarak isimlendirilirler. Bu alternatifler içinde yer alan termal olarak işlem görmüş arıtma çamurlarının Çizelge 2.10'de verilen zaman-sıcaklık ihtiyaçlarının karşılanması büyük önem taşımaktadır. A sınıfı çamur eldesi için önerilen 5. alternatifte adı geçen PFRP proseslerinin detayları ise Çizelge 2.11'de görülmektedir.

Ayrıca tüm bu alternatifler için A sınıfı arıtma çamurlarının fekal koliform yoğunluklarının 1000 MPN/g katı madde veya salmonella konsantrasyonunun 3 MPN/ 4 g katı madde'den az olması gerekmektedir. Salmonella testleri fekal koliform testlerine göre daha pahalı ve deneyim isteyen testlerdir. Salmonella testleri yerine fekal koliform testlerinin uygulanmasının temelinde fekal koliform yoğunluğuyla salmonella varlığı arasındaki korelasyondur. Farklı arıtma çamurları ve stabilizasyon metotlarında yapılan çalışmalar fekal koliform yoğunluğunun 1000 MPN/ g katı madde'den düşük olduğunda salmonella'nın belirlenemeyen seviyelerde olduğunu göstermiştir (Anonim 1999b).

Çizelge 2.9: A sınıfı arıtma çamurları için gereksinimler.

Tüm alternatifler: Fekal koliform 1000MPN/g toplam katı madde'den veya salmonella 3MPN/4 g toplam katı maddeden düşük olmalı
Alternatif 1: Termal olarak işlem görmüş arıtma çamurları.
Alternatif 2: Yüksek pH, yüksek sıcaklık prosesleriyle işlem görmüş arıtma çamurları. pH'ı 72 saat süresince 12'nin üzerinde tutmak, sıcaklığı en az 12 saat 52 °C'nin üzerinde tutmak, 72 saatlik yüksek pH uygulamasının ardından çamurun katı madde içeriğini %50'nin üzerine çıkartmak üzere havada kurutmak.
Alternatif 3: Diğer proseslerle işlem gören arıtma çamurları. Viable helmint yumurtası 1/4g toplam katı madde'den ve enterik virüsler 1 PFU/4g toplam katı madde'den az olmalı. Eğer arıtma prosesi helmint ve virüsleri azaltabiliyorsa, patojen arıtma şartları belgelendirilmelidir, belgelendirilen şartlar yerine getirildiğinde işlem gören çamur A sınıfı olarak sınıflandırılır.
Alternatif 4: Bilinmeyen proseslerle işlem görmüş arıtma çamurları. Viable helmint yumurtası 1/4 g toplam katı madde'den ve enterik virüsler 1 PFU/4g toplam katı madde'den az olmalı. Bu alternatif için kullanılan her küme arıtma çamuru ayrıca test edilir.
Alternatif 5: PFRP prosesleriyle işlem gören arıtma çamurları.
Alternatif 6: PFRP proseslerine eşdeğer proseslerle işlem görmüş arıtma çamurları. Devlet veya EPA tarafından PFRP proseslerine eşdeğer olduğu kabul edilen proseslerin kullanılması.

Kaynak: Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as amended 08/04/99.

Çizelge 2.10: A sınıfı arıtma çamurları için zaman ve sıcaklık ihtiyaçları, Alternatif 1. (Zaman/sıcaklık ihtiyaçlarına ek olarak A sınıfı çamurlar ayrıca fekal koliform veya salmonella standartlarını da sağlamalıdır).

Sıcaklık ° C	%7 veya daha fazla katı madde içeriği			%7'den daha az katı madde içeriği		
	Gün	Saat	Dakika	Gün	Saat	Dakika
50	14			5		
52	7			3		
54	4			2		
56	2			1		
58		24			10	
60		13			5	
62		7			3	
64		4			2	
66		2				41
68			57			30
70			30			30
72			20			16
74			20			8.5
76			20			4.5
78			20			2.3
80			20			1.2
82			20			0.7
84			20			0.33
84'ün üzeri			20			0.25

Kaynak: Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as amended 08/04/99.

Çizelge 2.1: İleri derecede patojen giderimi sağlayan prosesler (PFRP).

<b>Kompostlama:</b> Vessel kompostlama veya statik havalandırılmalı yığın yöntemi kullanılarak arıtma çamuru sıcaklığı üç gün boyunca 55°C veya daha yüksek derecede tutulur. Windrow kompostlama metodunun kullanılması durumunda arıtma çamuru sıcaklığının onbeş gün veya daha fazla süre ile 55°C'de tutulması sağlanır, bu sürede windrow en azından 5 kez dönmelidir.
<b>Isıyla kurutma:</b> Arıtma çamuru sıcak gazlarla direkt ya da indirekt temas yoluyla kurutulurken nem içeriği %10 veya daha düşük seviyelere indirilir. Arıtma çamuru partiküllerinin sıcaklığı 80°C'yi geçmemelidir veya kurutucuyu terk eden ısıtma gazlarının sıcaklıklarının 80°C'yi geçmesi sağlanmalıdır.
<b>Isıl işlem:</b> Sıvı haldeki arıtma çamurları 30 dakika süre ile 180°C veya üzeri sıcaklıklarda ısıtılır.
<b>Termofilik aerobik çürütme:</b> Sıvı formdaki arıtma çamuru havayla veya oksijenle karıştırılarak aerobik şartlar sağlanır. Arıtma çamurunun ortalama hücre bekleme süreleri 55 ila 60°C için 10 gündür.
<b>Beta ışını uygulaması:</b> Arıtma çamurlarına oda sıcaklığında (yaklaşık 20°C) 1.0 megarad dozajında beta ışını uygulanır.
<b>Gamma ışını uygulaması:</b> Arıtma çamurlarına oda sıcaklığında (yaklaşık 20°C) kobalt 60 ve sezyum 137 gibi bazı izotoplardan gamma ışını uygulanır.
<b>Pastörizasyon:</b> Arıtma çamuru sıcaklığının 30 dakika veya daha uzun süre ile 70°C veya üzerinde kalması sağlanır.

**Kaynak:** Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as amended 08/04/99.

B sınıfı arıtma çamurları için gerçekleştirilen patojen giderimi A sınıfı çamurları seviyesinde değildir; çünkü nihai patojen gideriminin arazi uygulama bölgesinde gerçekleşeceği düşünülür. Çizelge 2.12'de B sınıfı arıtma çamuru elde etmek için uygulanacak üç alternatif listelenmiştir. Bu alternatiflerden sadece Alternatif 1 mikrobiyal popülasyonun izlenmesini gerektirmektedir. Alternatif 1 için verilen fekal koliform limiti fekal koliform sayısı ile viral ve bakteriyel patojen sayısı arasındaki korelasyona dayandırılmaktadır. B sınıfı çamur eldesi için önerilen 2. alternatifte adı geçen PSRP proseslerinin detayları ise Çizelge 2.14'de görülmektedir. (Anonim,1999b).

Çizelge 2.12: B sınıfı arıtma çamurları için gereksinimler

<b>Alternatif 1:</b> Fekal koliform 2,000,000 MPN veya 2,000,000 CFU/g toplam katı madde'den az olmalı ve yedi örneğin geometrik ortalaması alınmalıdır.
<b>Alternatif 2:</b> Patojen miktarını önemli derecede azaltan proseslerden (PSRP) birinin kullanılması.
<b>Alternatif 3:</b> Devlet veya EPA tarafından PSRP proseslerine eşdeğer olduğu kabul edilen proseslerin kullanılması.

**Kaynak:** Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as amended 08/04/99.

A Sınıfı'dan farklı olarak B sınıfı arıtma çamurları bir miktar patojen içermektedir. Bu bakımdan kullanımda ve serilmesinde Çizelge 2.13'deki sınırlamalar getirilmiştir. Burada amaç patojen giderim metotları ile belli bir miktar patojen giderimi sağlanarak, kısıtlanmalı

çamur kullanımı ve serilmesi ile kalan patojenlerin doğal etkileşimlerle yok olmaları amaçlanmaktadır. (Anonim,1999b).

Çizelge 2.13: Sınıf B çamurlarının sahada kullanımında uygulanması gereken kısıtlamalar ve serme yolları

Yollar	Part 503 Arazi Sınırlamaları
Atıksu Çamurun uygulanmış olduğu tarlalarda Toprağı İşlemek,	Sınıf B çamuru uygulandıktan sonra en az 1 yıl halk girişi* engellenmelidir.
Atıksu çamurunun uygulandığı Toprakları ve yiyecekleri ev bahçelerinde kullanmak,	Sınıf B atıksu çamuru ev bahçelerinde uygulanmamaktadır.
Toz Solunmak**	Sınıf B atıksu çamuru uygulanmasından 1 yıl sonrasına kadar halk girişi engellenmelidir.
Atıksu çamurunun uygulandığı tarlalarda dolaşmak**	Sınıf B atıksu çamuru uygulanmasından 1 yıl sonrasına kadar halk girişi engellenmelidir.
Atıksu çamurunun uygulandığı tarlalardan yararlanmak	Çevresel kullanım sağlana kadar ürün alımı arazi sınırlamalarıyla engellenmelidir.
Atıksu çamurunun uygulandığı tarlalarda hayvanların otlatılmasından elde edilen süt ve et ürünlerinin kullanımı	Sınıf B atıksu çamuru uygulandıktan 30 gün sonrasına kadar hayvan otlatılmamalıdır.
Atıksu çamurunun uygulanmış alanlardan yüzeysel suya karışması durumunda bu suyun içme ve kullanma suyu olarak kullanımı,	Sınıf B atıksu çamuru sızmanın engellenmesi için su kaynağına 10 m uzaklığa uygulanmalıdır.
Atıksu çamurunun uygulanmış alanlardan yüzeysel suya karışması durumunda bu sudan çıkan yetersiz pişmiş balıkların yenmesi	Sınıf B atıksu çamuru sızmanın engellenmesi için su kaynağına 10 m uzaklığa uygulanmalıdır.
Atıksu çamuruna temas etmiş vektörlerle temas	Bölüm 8'deki Vektör cazibesi azaltma koşullarından birine uygun arazi uygulaması yapılmalıdır.

\*Halk girişi için sınırlamalar tarım işçilerine uygulanmaz. Eğer halkın girişinin olma olasılığı düşükse, sınırlamalar 30 güne kadar indirilebilir. Eğer top sahaları gibi aktiviteler varsa 1 yıl giriş engellenmelidir.

\*\*tarım alanı özel mülktür. Halk giriş potansiyeli yüksek değildir. Ama yinede giriş yasakları uygulanmalıdır.

Kaynak: Anonim. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

Bu çamurla çalışan insanların da bazı dikkat etmesi gereken hususlar vardır. Bunlar

- Yemekten önce, bir şey içmekten önce, sigara içmekten önce veya tuvaleti kullanmadan önce eller yıkanmalıdır.
- Biyokatılara, atıksu çamuruna veya bunlara temas eden yüzeylere dokunmadan önce mutlaka eldiven takılmalıdır.
- Taşıtlara binmeden önce ayakkabılardan yapışan çamurlar giderilmelidir.
- Yaraları temiz, kuru bandajla kapatmak gerekir.
- Eğer biyokatıya veya atıksu çamuru ile temas olursa, temas bölgesinin su ve sabunla yıkanması gerekir.

Bu bakımdan Sınıf B çamuru direkt elden ele gezemez, torbalarda veya diğer taşıyıcılarla satılamaz. (Anonim,1999b).

B sınıfı arıtma çamurlarında fekal koliformun takibi son derece önemlidir. Bir arıtma çamurunun B sınıfı değerlerine uygun olması için herhangi bir işleme tabi tutulmakta olan çamurdan alınan 7 örnekte fekal koliform sayısının geometrik ortalamasının 2 milyon CFU veya MPN / gram kuru biyokütle ağırlığına ulaşılmış olması gerekmektedir. Bu ortalama muhtemel bakteri ve virütik patojen sayılarının indikatör bakteri kullanılarak belirlenen ortalamasıdır. 7 numune kullanımındaki amaç standart sapmayı makul bir düzeyde indirmektir. Standart sapmanın yüksek olması değişken örnekleme veya laboratuvar analizindeki değişkenliklerden kaynaklanabileceği gibi arıtma prosesinde patojenler için homojen bir azalma sağlanamamasından kaynaklanabilir. Bu da bize analizin, örneklemenin ve arıtma prosesinin tekrarlanması gerektiğini belirtir. (Anonim,1999b).

Fekal koliform tayini için numune alımında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

- Numunelerin prosesin aynı noktasından alınması ve arıtmanın eşit gerçekleşmiş olmasının sağlanmalıdır,
- Örnekler doğru saklanmalı ve 24 saat içinde analiz yapılmalıdır.
- Laboratuvar örnekleme Standart MethoKM'a uymalıdır.

B sınıfı arıtma çamurunun fekal koliform takibi ve geometrik ortalama hesabı şu şekilde yapılmalıdır.

- 2 haftada bir 7 örnek alınmalıdır,
- Membran filtre veya en muhtemel sayı (MPN) seyreltme metodu kullanarak Fekal Koliform için örneklere analiz yapılmalıdır,
- Sonuçların 10 tabanına göre logaritması alınmalıdır.
- Bu logaritmik sonuçların aritmetik ortalaması alınmalıdır.
- Aritmetik ortalaması bulunmuş değer ters logaritması alınmalıdır. Bu değer sonuçların geometrik ortalamasıdır.

Burada değinilmesi gereken bir husus ta bazı analizler 2 milyon MPN/ kuru gram limitin üstün de çıksa da ortalama sonuç, bu değer altındadır ise, bu çamurun Sınıf B çamuruna uygun olduğudur. Genelde tekrarlı örneklerde 0.3'ün altındaki logaritmik standart sapma değeri laboratuvar analizleri için uygundur. (Anonim,1999b).

Bekletme süresi ve sıcaklık gibi proses parametreleri uygun çalışma koşullarının devamlılığı için izlenmelidir. İzleme ekipmanları da düzenli kalibre edilmelidir.

Çizelge 2.14: Önemli derecede patojen giderimini sağlayan prosesler (Bu alternatiflerden biriyle stabilize edilen arıtma çamurları B sınıfı çamur gereksinimlerini karşılamış olur.)

<b>Aerobik çürütme:</b>
Aritma çamurları aerobik şartların sağlanması için 20 <sup>0</sup> C’de 40 gün ve 15 <sup>0</sup> C’de 60 gün arasında değişen belirli sıcaklık ve zaman için havayla veya oksijenle karıştırılırlar.
<b>Havada kurutma:</b>
Aritma çamurları kum yataklar üzerinde veya kurutma havuzlarında kurutulurlar. Çamurlar en az 3 ay süreyle kurutulmalıdır. Bu 3 ayın 2 ayı boyunca ortalama çevre sıcaklığı 0 <sup>0</sup> C’nin üzerinde olmalıdır.
<b>Anaerobik çürütme:</b>
Aritma çamurları havasız ortamda 35 ila 55 <sup>0</sup> C’de 15 gün ve 20 <sup>0</sup> C’de 60 gün arasında değişen spesifik süre ve sıcaklıklarda muamele edilirler.
<b>Kompostlama:</b>
Vessel, statik havalandırmalı yığın veya windrow yöntemiyle kompostlaştırılan arıtma çamurlarının sıcaklığı 40 <sup>0</sup> C veya üzerine çıkmalı ve 5 gün süre ile bu sıcaklıkta kalmalıdır. Bu 5 günün ilk 4 saati kompost yığımının sıcaklığı 55 <sup>0</sup> C’yi geçmelidir.
<b>Kireç stabilizasyonu:</b>
İki saatlik bir temas süresi zarfında arıtma çamuru pH’ını 12’ye yükseltecek yeterli miktarda kireç eklenir.

Kaynak: Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as amended 08/04/99.

Çizelge 2.15: Çizelge 2.14’e yakın patojen giderim usülleri

Aritma Tipi	Özellikler
Kireç stabilizasyonuna benzer alkali ilavesi	Çamuru çimento külü ve kireç külü kullanarak 12 saat boyunca pH 12’yi sağlamak.
Oksiozonizasyon	Kesikli prosesle çamur pH’ı sülfirik asitle 3’e çekilir, 120.1 mg/l ozonla 60 psig basınçta 1 saat temas ettirilir, basınç kaldırılır, 2 saatten fazla 100 mg/l sodyum nitratla bekletilir ve pH 3.5’in altında saklanır. (%4 Katı maddeli, 20 °C’nin üstündeki çamurda. Ayrıca sodyum nitrat muamelesi öncesi katı madde oranı %6.2’nin altında olmalıdır.)

Kaynak: Anonim. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Enviromental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

Vektörel taşınma, stabilize olmamış biyolojik katılardaki patojenlerin sinek, kemirgen, sivrisinek ve diğer organizmalar vasıtasıyla taşınarak hastalığın yayılmasına yol açmasını ifade etmektedir. Biyolojik katılar çürütme, kireç stabilizasyonu, kompostlama, kurutma gibi proseslerle işlem gördüğünde veya toprağın içine uygulandığında vektörel taşınma azaltılmış olur. Kompostlama ve çürütme vektörler için besin kaynağı olan organik karbon bileşiklerinin



yok edilmesini baz alırken, kireç stabilizasyonu ve kurutma vektörler için uygun olmayan çevre şartlarını oluşturarak vektörel taşınmayı azaltır. (Anonim,1999b).

Amerika'daki şu anki federal kurallar ve eyalet yönetmelikleri vektörel taşınmanın azaltılmasını patojen azaltılmasından ayrı olarak değerlendirmektedir. Çizelge 2.16'da araziye uygulanacak arıtma çamurları için vektörel taşınmada kabul edilebilir bir azalmayı sağlayan 10 alternatif görülmektedir. (Anonim,1999b).

Çizelge 2.16: Vektörel taşınmanın azaltılması için uygulanan proses alternatifleri

Alternatif	Açıklama
1	Uçucu katı içeriğinde %38'den fazla azalma sağlayabilen çürütme prosesleri
2	Anaerobik çürütme proseslerinin test edilmiş son ürünleri.30-37 <sup>0</sup> C'de 40 günlük anaerobik test. Test süresince uçucu katı içeriğinde %17'den az azalma varsa kabul edilebilir stabilizasyon sağlanır.
3	%2 katı madde içeren aerobik çürütme proseslerinin test edilmiş son ürünleri.20 <sup>0</sup> C'de 30 günlük aerobik test. Test süresince uçucu katı içeriğinde %15'ten az azalma varsa kabul edilebilir stabilizasyon sağlanır.
4	Aerobik çürütme. Spesifik oksijen alım hızı (SOUR) testi kullanılarak çürütme prosesinin son ürünü test edilir. SOUR 20 <sup>0</sup> C'de 1 g toplam katı başına 1,5 mg oksijenden azsa kabul edilebilir stabilizasyon sağlanır.
5	Kompostlama için zaman-sıcaklık ihtiyaçları: 40 <sup>0</sup> C'nin üzeri sıcaklıklarda 14 günlük bekleme süresi.
6	Yüksek pH stabilizasyonu. pH'ı 2 saat 12'nin üzerinde, 24 saat 11,5'un üzerinde olan arıtma çamurları
7	Kurutma prosesi. Stabilize olmamış primer atıksu katılarını içermez. Diğer materyallerle karıştırmadan önce katı madde içeriği %75'ten büyük olmalıdır.
8	Kurutma prosesi. Stabilize olmamış primer atıksu katılarını içerir. Diğer materyallerle karıştırmadan önce katı madde içeriği %90'dan büyük olmalıdır.
9	Bariyer prosesi. Toprağa enjeksiyon. Class A arıtma çamurları için uygulama patojen giderim prosesinin ardından 8 saat içinde yapılmalıdır. Tillage
10	Bariyer prosesi. Toprağın tillage ile birleştirilmesi. Class A arıtma çamurları için uygulama patojen giderim prosesinin ardından 8 saat içinde yapılmalıdır
11	Sadece septikler için. Araziye uygulamadan önce yüksek pH muamelesi. pH 30 dakika için 12'den yüksek tutulursa kabul edilebilir stabilizasyon sağlanır.

Kaynak: Anonim. 1999a. U.S. EPA. 40 CFR Part 503-Standarts for the Use or Disposal of Sewage Sludge as amended 08/04/99.

1 ila 8 no'lu alternatiflere göre vektörel taşınma bir arıtma prosesiyle gerçekleştirilir. Çürütme, kireç stabilizasyonu ve kurutma proseslerinden oluşan bu alternatiflerin uygulanması sonucunda arıtma çamurları ev bahçeleri ve çimenlikler de dahil olmak üzere herhangi bir bölgeye uygulanabilmektedirler. Bu sekiz alternatiften birini karşılayan arıtma çamurları, YK arıtma çamurları olarak sınıflandırılırlar. Satılan veya torbalarla veya benzer kaplarla uzaklaştırılan arıtma çamurları bu alternatiflerden en az birini karşılamak zorundadır.

9. ve 10. alternatif ise arıtma çamurları ve potansiyel vektörler arasında bir bariyer oluşturma yoluyla vektörel taşınmanın azaltılmasını hedefler. Bu alternatifler arıtma çamurunun araziye uygulama bölgesindeki toprağın altına gömülmeyi veya enjekte edilmeyi ifade eder. Bu yaklaşımlar ilk 8 alternatifin uygulanmadığı arıtma çamurları için kullanılabilir. 9. ve 10. alternatifin uygulanması durumunda arıtma çamurları YK olarak sınıflandırılmaz ve evlerin bahçelerine ve çimenliklerine uygulanamazlar. 11. alternatif ise sadece septikler için uygundur.

Amerika'daki uygulamaya benzer şekilde, Avrupa Birliği ülkeleri tarafından 2000 yılında hazırlanmış olan Taslak Yönetmelikte, çamura uygulanan stabilizasyon yöntemlerine göre arıtma çamurları iki gruba ayrılmıştır. Dezenfeksiyonun sağlanabileceği dezenfeksiyon yöntemlerinin uygulandığı biyokatılar "Yüksek Standart", diğer yöntemlerle stabilize edilen arıtma çamurları "Geleneksel Standart" olarak değerlendirilmiştir. Arıtma çamurlarının araziye uygulanması konusundaki sınırlama ve yasaklar bu iki farklı standart esas alınarak düzenlenmiştir.

## **2.6. Araziye Uygulanacak Arıtma Çamurlarında Patojen Giderimi**

### **2.6.1. Patojen Gideriminde Genel Yaklaşımlar**

İnsanlarda ya da hayvanlarda enfeksiyona yol açacak patojen miktarı patojen ve konakçıya bağlıdır. Bir patojenin hastalığa yol açması için, kolay etkilenen bir konakçıya, bir bulaşma yoluna ve enfekte edici doza ihtiyaç vardır. Bu üç eleman olmadan hastalık meydana gelmez. Arıtma çamurlarının araziye uygulanması ve yönetimi çalışmalarında bu elemanlardan bir ya da daha fazlasının elimine edilmesi üzerine dizayn yapılır. Patojenler arıtma çamurlarının arıtımı safhasında kimyasal, fiziksel ve biyolojik proseslerle yok edilirler/azaltılırlar. Bu prosesler: Yüksek sıcaklıklar (kimyasal, fiziksel ve biyolojik prosesler sonucu), kimyasal dezenfektanlar (örneğin kireç, klor), mikrobiyal besin kaynağının yok edilmesi (uçucu katıların azaltılması), kurutma ve diğer mikroorganizmaların rekabeti.

Patojenlerin ve vektörel taşınmanın kontrolü için öngörülen bu yaklaşımlar çerçevesinde elde edilen verim ve tipik proses örnekleri Çizelge 2.17'de görülmektedir.

Çizelge 2.17: Arıtma çamurlarındaki patojenlerin ve vektörel taşınmanın kontrolü için genel yaklaşımlar.

YAKLAŞIM	VERİM	PROSES ÖRNEKLERİ
<i>Yüksek sıcaklık uygulaması</i> (Fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler)	Zamana ve sıcaklığa bağlıdır. Uygun süre ve sıcaklık sağlandığında bakteri, virüs, protozoa sistleri ve helmint yumurtası belirlenebilir seviyelerin altına düşebilmektedir. Helmint yumurtaları yüksek sıcaklığa karşı daha dirençlidir.	Kompostlama Isıl kurutma ve ısıl arıtma Pastörizasyon Aerobik çürütme Anaerobik çürütme
<i>Radyasyon uygulaması</i>	Doza bağlıdır. Yeterli dozlar bakteri, virüs, protozoa sistleri ve helmint yumurtası belirlenebilir seviyelerin altına düşebilmektedir. Virüsler radyasyona karşı daha dirençlidir.	Gama ve yüksek enerjili elektron ışını radyasyonu
<i>Kimyasal dezenfektanların uygulanması</i>	Öncelikle bakteri ve virüsleri azaltıp vektörel taşınmayı önler.	Kireç stabilizasyonu
<i>Çamurun uçucu organik içeriğinin azaltılması</i> (mikrobiyal besin kaynağının)	Bakterileri azaltıp vektörel taşınmayı önler.	Aerobik çürütme Anaerobik çürütme Kompostlama

Kaynak: Anonim. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

Arıtma çamurlarındaki patojenler araziye uygulandıktan sonra da çeşitli faktörlerin etkisiyle yok olmaktadır. Bu faktörler:

- Sıcaklık
- Güneş ışığı
- Kuruma
- Uygun olmayan pH
- Diğer mikroorganizmalar

Toprak yüzeyine uygulanan arıtma çamurlarındaki patojenler, ara yüzeye uygulanan çamurlardakine göre daha olumsuz çevre şartlarına maruz kalırlar. Yüzeydeki güneş ışığı, sıcaklık ve kuruma etkisi patojenlerin yaşamlarını kısaltmaktadır. Bakteriler ve virüsler toprak yüzeyinde uzun süre yaşayamazlar. Toprak ve vejetasyon üzerindeki bakteri ve virüslerin 30 günlük bir bekleme periyodunun ardından otlayan hayvanlar açısından tehlike oluşturmayacağı kabul edilmektedir. Patojenlerin en dayanıklısı olan helmintler çok daha uzun süreler yaşayabilirler, çünkü yumurtaları çok sert çevre koşullarında bile yaşamlarını sürdürebilmektedir. Nihai patojen azalmasının arazide gerçekleşeceğinin düşünüldüğü çamur

uygulamalarında helmint yumurtaları baz alınarak hasattan önce 38 ay gibi uzun bir bekleme süresine ihtiyaç duyulur. Patojenlerin yeniden çoğalması üzerinde durulan diğer önemli bir konudur. Virüsler, helmintler ve protozoa spesifik konukçularının dışında tekrar çoğalamazlar. Bu patojen popülasyonu bir kez azaltıldığında, tekrar çoğalmaz o seviyede kalır. Ancak bakteriler için durum farklıdır. Eğer tamamıyla yok edilmedilerse veya yeni bir kontaminasyon söz konusuysa tekrar çoğalabilirler.

### **2.6.2. Alkali Stabilizasyonu**

Stabilizasyon yöntemleri içinde sönmüş veya sönmemiş kireç kullanmak suretiyle gerçekleştirilen alkali stabilizasyonu özellikle malzemenin ucuz olduğu bölgelerde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olmuştur.

Günümüzde uygulanan kireç stabilizasyonu oranlarının tam olarak kestirilmesi güç olsa da 1991-1992 yılı verilerine göre Avrupa'daki atıksu arıtma tesislerinde üretilen 6,5 milyon ton toplam katı maddenin yaklaşık olarak % 4'ü kireçle stabilize edilmiştir. Aynı verilere göre % 3'ünün kompostlanarak stabilize edildiği düşünüldüğünde kireç stabilizasyonunun yaygın şekilde uygulanmış olması dikkat çekicidir (Spinosa ve Vesilind 2001).

Organik maddenin stabilizasyonu için kirecin kullanımı yeni bir kavram olmamasına rağmen suyu alınmış atıksu arıtma çamurlarına kireç uygulaması nispeten yeni bir yaklaşımdır. Bu proste hidrate kireç veya sönmemiş kireç suyu alınmış çamurla karışımın pH'ı yükselene dek karıştırılır. Sönmemiş kireçle su arasında meydana gelen ekzotermik reaksiyon karışımın sıcaklığını 50°C'nin üzerine çıkartarak kurt yumurtalarını inaktive ettiği için sönmemiş kireç kullanımı tercih edilmektedir. Suyu alınmış çamurlara uygulanan kireç stabilizasyonunda toprak oluşumunu önleyecek yeterli bir karıştırmanın yapılması kritik önem taşır. Küçük çamur partikülleriyle kirecin temasının sağlanması için iyi karıştırma özellikle önemlidir. Kireç ve çamur iyi karıştığında elde edilen karışım uzun süre depolanmasına veya konvansiyonel bir gübre sericisiyle araziye kolayca uygulanmasına elverişli ufalanan bir yapıya sahip olur (Tchobaoglous ve Burton, 1991).

### **2.6.3. Kireç Stabilizasyonunun Kimyası**

Kireç stabilizasyonu prosesinin anlaşılabilmesi için öncelikle kireç ürünlerinin kimyasının anlaşılması gerekmektedir. Kireç taşı denizde yaşayan ve kireç biriktiren

mikroorganizmaların milyonlarca yıl önce sedimentlere çökmesiyle oluşan doğal bir kaynaktır. Kireç taşı fırınlarda ısıtılmak suretiyle CaO'e dönüştürülür. CaO'in daha sonra suyla reaksiyona girmesiyle Ca(OH)<sub>2</sub> oluşur. CaO ve su arasında meydana gelen reaksiyon büyük miktarda ısının açığa çıktığı ( $\Delta H = -65 \text{ kJ/mol}$ ) ekzotermik bir reaksiyondur. Açığa çıkan bu ısı çamurun ısıtılması ve suyun buharlaştırılmasındaki ana ısıtma kaynağıdır (Smith ve ark. 1998).

Kireç, kanalizasyon arıtımında geniş olarak kullanılan kolayca uygulanabilen bir alkalidir. Kirecin kullanımını şu faydalara sahiptir: (ANDREADAKIS, 1999).

- a) Tüm çamur türlerine uygulanabilmesi
- b) Toksik maddelerin çökmesi ve besinlerin (nutrients) giderilmesi
- c) Patojenik faktörlerin yok edilmesi
- d) Biyokimyasal ve biyolojik oksijen ihtiyacının, askıda katıların azalması
- e) Kötü kokuların giderilmesi,

Kireç uygulanmasının 2 formu genellikle seçilir:

- a) Sönmemiş olarak (Sönmemiş kireç – CaO)
- b) Sönmüş olarak (Ca(OH)<sub>2</sub>)

Ayrıca çamurun arıtımı sırasında, kireç, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma öncesinde veya susuzlaştırmadan sonra çamura ilave edilebilir. Susuzlaştırılmamış çamur durumunda, yüksek su içeriğiyle arıtıldığı zaman, hidratlanmış (suyla birleşmiş) kireçle sönmemiş kireç etkisi arasında önemi bir farklılık gözlenmemiştir. Birkaç dakika içinde CaO suyla tepkimeye girerek Ca(OH)<sub>2</sub> oluşturur. Yüksek su içeriğine sahip çamurda eğer sönmemiş kireç kullanılırsa, uygulamada sönmüş kireçle sağlanan etkinin aynısı sağlanır, ancak daha düşük dozda kimyasal madde kullanılmış olur (1:1,3). Sönmemiş kirecin kullanımı çok karmaşık olduğu için, hidratlanmış kireç küçük arıtma ünitelerinde, sönmemiş kireç ise büyük arıtma ünitelerinde kullanılır. Sönmemiş kireç hidratlanmış forma söndürüldüğü zaman, enerji yayılır (1160 kJ/kg CaO). Teorik olarak, 350, 400 kg CaO/m<sup>3</sup> su, sıcaklığı kaynama noktasına yakın bir noktaya getirebilir. Ayrıca, pratikte, normal olarak kullanılan kirecin miktarları, çamurun kuru katı içeriğiyle ilgili olduğu için, susuzlaştırılmamış çamurun arıtımı, sıcaklıkta önemli bir artışla sonuçlanmayacaktır. (ANDREADAKIS,1999).

Susuzlaştırılmamış çamurun kireçlenmesinin etkileri, genellikle 10-20 kg/m<sup>3</sup>'lük dozda, şu şekilde özetlenebilir:

- i) Çamur susuzlaştırma özelliklerinin gelişimi (demirli sülfat veya ferrik (demir III) klorür ilavesiyle olan kombinasyondaki bazı durumlarda);
- ii) Yaklaşık iki hafta süren pH'ın 11,5-12'ye artışı;

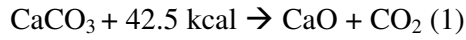
iii) Sıcaklıkta artış olmaması;

iv) Bakteriyel ve viral patojenlerin etkisizliği ancak parazitlerin etkilerinin sınırlandırılması;

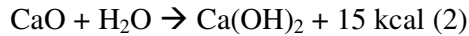
v) Bakteriyel patojenlerin yeniden gelişmesi.

Susuzlaştırılmış çamur durumunda, sönmemiş kireç ilavesi belirgin bir sıcaklık artışı ve buharlaşma yüzünden yüksek kuru katı içeriğiyle sonuçlanır. Bu, dönüşte (değişimde) geliştirilmiş çamur kullanım özelliklerine ve uzun süren dezenfeksiyona öncülük eder. (ANDREADAKIS,1999).

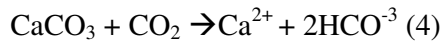
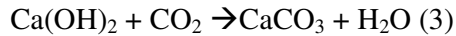
Kalsiyum, CaCO<sub>3</sub> formunda kolaylıkla bulunabilir. Ancak, çamura CaCO<sub>3</sub> eklenmesi, pH artışını 8,5' a kadar sınırladığından, patojenlerin gideriminde sınırlı etkiye sahiptir. Bu nedenden dolayı, kalsiyum karbonat, CaO üretmek için 1100 – 1200<sup>0</sup>C'de termal işleme tabi tutulur. (ANDREADAKIS,1999).



Son ürünün (sönmemiş kireç) kalitesi, CaCO<sub>3</sub>'ün kalitesine bağlıdır ve termal proses ve süre içindeki bu kalite, suyla CaO'nun sonraki reaksiyonunun sıcaklık artış oranını belirler. (ANDREADAKIS,1999).



Uygun miktarda CaO ilavesiyle, pH'daki yaklaşık 12,50'e kadar bir artış sağlanabilir. Ancak, şuna dikkat edilmelidir ki, aşırı CaO kullanılmaması durumunda, üretilen Ca(OH)<sub>2</sub>'nin atmosferdeki veya biyolojik aktivite sonucu üretilen CO<sub>2</sub> ile reaksiyonu sonucunda, daha sonra pH'da bir azalma gözlenebilir. (ANDREADAKIS,1999).



Beklenen sıcaklık artışı, ısı yayılımının %100'ünün kullanılmasının değerlendirilmesi ve suyun, ilk katıların (TS<sub>1</sub>) ve kirecin özel ısı değerlerinin ele alınmasıyla teorik olarak hesaplanabilir. (ANDREADAKIS,1999) .

$$\Delta T = 1160 \times \% \text{CaO} / [4,16(\%100 - \% \text{TS}_1) + 0,25\% \text{TS}_1 + 0,3\% \text{CaO}] \quad (5)$$

(5) denklemi, CaO dozu ile  $\Delta T$ 'nin neredeyse doğrusal bir artışını verir. Her bir CaO dozaj yüzdesi için, 3,4'den 3,9 °C'ye artışların % 20-30'luk aralığında TS içeriğiyle susuzlaştırılmış çamurlar için teorik olarak tahmin edilebilir. Isı almaları ve sönmemiş kireç kalitesi /%100 aktif CaO'nun %100'nden az) yüzünden pratikte, incelenen (gözlenen) sıcaklık artışları, teorik değerlerin % 60-82'sine kadar sınırlandırılır. Sıcaklık artışını gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan süre, kireç kalitesine bağlı olarak karıştırma sonrası yaklaşık 1 veya 2 saattir. (ANDREADAKIS,1999).

Sönmemiş kireç ilavesi yüzünden katılarda artış neredeyse doğrusaldır. Yeni katı içeriği (TS<sub>2</sub>), 2. kimyasal reaksiyon düşünülerek, teorik olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. (ANDREADAKIS,1999).

$$\%TS_2 = \{TS_1 + [74/56 \times \%CaO] \times 100\} / (100\% + \%CaO) \quad (6)$$

Katıların başka küçük bir miktarda artışı, CO<sub>2</sub> ile reaksiyonun bir sonucu olarak CaCO<sub>3</sub> oluşumu yüzünden meydana gelebilir. Katı içeriği artışı, kolayca depolanabilen ve kullanabilen çok sıkı (yoğun) bir çamur ile sonuçlanır. (ANDREADAKIS,1999).

Kireç stabilizasyonundaki pH artışı Çizelge 2.6.3.1'de görülen üçüncü reaksiyon tarafından belirlenmektedir. 12 civarındaki kararlı pH değeri mikrobiyal prosesleri inhibe etmekte ve böylece karışımın stabil kalmasını sağlamaktadır. Sönmüş kirecin çözünürlüğü düşüktür ve bu nedenle hidroksit konsantrasyonu sınırlıdır. Doygun sönmüş kireç çözeltisi 1 litre suda 0.08g (100<sup>0</sup> C) ila 1.85g (0<sup>0</sup>C) arasında Ca(OH)<sub>2</sub> içermektedir. Normal atıksu arıtma tesisi sıcaklıklarında gerçekleşebilecek maksimum pH değeri ise 12.4 ila 12.6'dır. Toplam katı maddenin tamponlama kapasitesi maksimum pH'a ulaşmak için gerekli olan kireç miktarını arttırabilmektedir. Sönmüş kirecin maksimum çözünebilirlik seviyesinin üzerindeki sönmüş ve sönmemiş kireç miktarları arıtma çamurunun katı halde sönmemiş kireç ve çok sınırlı miktarda kalsiyum karbonat içermesine neden olmaktadır. Çamura kalsiyum karbonat eklemekle ne pH yükselir ne de yüksek pH'ta CO<sub>2</sub> / asitler tamponlanır. Kalsiyum karbonatın çözünürlüğü düşüktür (0.02 g/l civarında) ve bu durum olası maksimum pH'ın 8.3 civarında olmasına neden olmaktadır.(KOCAER F.O. 2005).

Çizelge 2.18: Kireç taşının alkali ve asidik reaksiyonlarla dönüşümü (s=katı madde, aq=çözelti)

$\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow$		(0) Kireç taşı
$\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{ısı} \rightarrow$	$\text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2$	(1) Sönmemiş kireç oluşumu
$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$	$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{ısı}$	(2) Sönmüş kireç oluşumu
$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow$	$\text{Ca}^{+2}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$	(3) pH yükselmesi
Organik C + organizmalar $\rightarrow$	$\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$	(4) Respirasyon (oksijenli)
Organik C + organizmalar $\rightarrow$	$\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}^{+} + \text{R-COO}^{-}$	(5) Fermentasyon (oksijensiz)
$\text{Ca}^{+2}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{aq}) \rightarrow$	$\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}$	(6) Karbonasyon
$\text{Ca}^{+2}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq}) + \text{H}^{+} + \text{R-COO}^{-} \rightarrow$	$\text{Ca}^{+2}(\text{aq}) + \text{R-COO}^{-} + \text{H}_2\text{O}$	(7) Nötralizasyon
$\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$	$\text{Ca}^{+2}(\text{aq}) + 2\text{HCO}_3^{-}$	(8) Karbondioksit reaksiyonu
$\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}^{+} + \text{R-COO}^{-} \rightarrow$	$\text{Ca}^{+2}(\text{aq}) + \text{R-COO}^{-} + \text{HCO}_3^{-}$	(9) Nötralizasyon

Kaynak: Spinosa, L. ve P.A.Vesilind. 2001. Sludge into Biosolids: Processing, Disposal, Utilization, IWA Publishing, 242-255.

Tamponlama etkisi çamurdaki kuru madde yüzdesiyle artış göstermektedir. Bu durum pH'ın 12'ye ulaşması için her bir gram toplam katı madde için yaklaşık 0.1 g sönmüş kirecin ekstra ilavesini gerektirmektedir. (KOCAER F.O. 2005).

Sönmemiş kireç sönmüş kirece göre pH'ın birim ağırlık başına artışı bakımından % 32 daha yüksek bir potansiyele sahiptir. Genellikle bu bileşiklerin birim fiyatları eşit olduğu için sönmemiş kireç ekonomik yönden daha cazip bulunmaktadır. Kirecin kalitesinin belirlenmesi için çeşitli yollar mevcuttur: Spesifik yüzey alanı, % aktif CaO, sönmemiş kireç için sönme reaksiyonu sırasında sıcaklığın 60°C'ye çıkması için gerekli zaman, ...vb. Genel olarak partikül büyüklüğünün küçük oluşu ve yüksek spesifik alan reaksiyon hızını arttırmaktadır (Spinosa ve Vesilind 2001).

Çamurdaki pH 'ı 7'den 12,5'a yükseltmek için, çamur proteinlerinin tamponlama kapasitesi nötralize edilsin diye, TS'nin gr'ı başına 1,7 mol (OH)'a gereksinim duyulur. 56 mg CaO, 2 mmol (OH) ürettiği için, gr TS başına 50 mg CaO gerekir. % 20-30 TS'li çamur için, %1-1,5 CaO, 12,5'a kadar artış olması için gerekir. Bu dozda, organik asit üretimini ve CO<sub>2</sub>'yi nötralize edecek fazla CaO yoktur. Bu yüzden, normalde daha yüksek, tipik olarak %2'nin üzerinde bir CaO dozu gereklidir. Yeterli derecede uzun periyotların (aylarca) üzerinde yüksek pH'ın korunmasını garantiye almak için %6-10 oranında CaO dozlarının kullanılması bu yüzden yaygındır. CO<sub>2</sub> üretimi ve yeterli pH azalması için, ana nedenlerden biri, çamur içindeki biyolojik aktivitedir. Yetersiz karıştırma ve tamponlama kapasitesinin yetersizliği yönünden, %2'lik bir CaO dozunda, pH'ın 12'den düşük olacağından mikrobiyal aktiviteye ve CO<sub>2</sub> üretimine izin vereceğinden, çamurun bir çok bölgesi kararsız (dengesiz)



durumda olacaktır. Bunun sonucuna, bütün çamur içinde pH'da hızlı bir azalma gözlenebilir ve bu da birkaç hafta içinde 8-9 civarında seyreden düşük pH değerlerine neden olacaktır. Daha düşük bir oranda (2 aylık) olmasına rağmen, %4'lük CaO dozuyla da aynı şey olur. Her 2 doz için, kokular artabilir. oH = 12,5 civarındaki sabit pH'ın yeterli derecede ve uzun periyotlarca korunması (3 ay üstü) % 6 – 10 aralığındaki dozlarla garantiye alınabilir. (ANDREADAKIS,1999).

Hesaba katılması gereken diğer bir faktör, çamur yüzeyindeki fungi aktiviteleri tarafından üretilen CO<sub>2</sub> ve/veya atmosferin dış CO<sub>2</sub>'siyle reaksiyondur. Ayrıca uygun depolamayla (düşük yüzey alanı/hacim oranları, düşük sıcaklıklar) bu faktör en aza indirilebilir. (ANDREADAKIS,1999).

#### **2.6.4. Alkali Stabilizasyonu ve Diğer Yöntemlerin Patojen Giderimi Açısından Karşılaştırılması**

Atıksu arıtımı sonucunda oluşan arıtma çamurları, doğal besin döngüsünün bir bölümü olan organik ve inorganik bileşikler içerdikleri için gübre olarak yeniden kullanım açısından önemli bir alternatif olarak kabul edilmektedirler. Arıtma çamurunun toprak yüzeyine uygulanmasıyla toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri gelişmekte ve toprağın gübre ihtiyacı kısmen karşılanmaktadır. Ancak, ağır metal, patojen mikroorganizma ve sentetik organik kimyasalları içerebilmelerinden dolayı, arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda kullanılabilmesi kapsamında hijyenik ve çevresel etkilerinin daima değerlendirilmesi gerekmektedir. (KOCAER F.O. 2005).

Arıtma çamurundaki patojenlerin giderimi için mikrobiyal büyümeyi ve patojenlerin yayılmasını önleyecek bir ortamın yaratılmasını hedefleyen farklı yaklaşımlara sahip pek çok arıtma prosesi mevcuttur. 1980'lerden önce oluşan arıtma çamurlarının çoğu biyolojik olarak çürütülmekte ve çamur organik içeriği stabilize edilerek patojenler azaltılmaktaydı. 1980'lerde çamur arıtımı için, patojen içermeyen bir çamur üreten ve çamur organik maddesini stabilize eden daha ileri teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. En yaygın olarak kullanılanlar biyolojik kompostlama ve alkali stabilizasyonudur. Kompostlama prosesi çamur organik maddesini stabilize etmek ve patojenleri öldürmek için biyolojik parçalama, ısı ve kurutma işlemlerini içerirken, alkali stabilizasyonu aynı amaca ulaşmak için yüksek pH, sıcaklık ve kurutmadan oluşan bir kombinasyonu kullanır (Logan ve Harrison 1995).

Arıtma çamurlarını araziye vermeden önce stabilize etmek veya pastörize etmek için kireç kullanımı çok yaygın bir uygulamadır. Çizelge 2.19’de farklı stabilizasyon yöntemleri bakteriyel giderim açısından karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.19: Kireç stabilizasyonu, kompostlama, aerobik ve anaerobik çürütmeyle bakteri inaktivasyonunun karşılaştırılması.

Proses	Log Giderimi	
	Fekal koliform	Fekal Streptokok
Anaerobik çürütme <sup>a</sup>		
Ortalama	1,84	1,48
Aralık	1,44-2,33	1,10-1,94
Kompostlama <sup>b</sup>	≥4	2,90
Aerobik çürütme <sup>c</sup>		
20 <sup>0</sup> C	1	1
30 ve 40 <sup>0</sup> C	2	2
Kireç stabilizasyonu		
Standart proses		
Primer ham çamur <sup>d</sup>	5,1	3,4
Primer ham çamur <sup>e</sup>	3,8	3,3
Fe <sup>+3</sup> ’le şartlandırılmış primer çamur	4,0	2,0
Primer çamur <sup>f</sup> ve damlatmalı filtre humusu karışımı (%2 katı madde)	7,2	3,4
Primer çamur <sup>g</sup> ve damlatmalı filtre humusu karışımı (%4 katı madde)	2,6	1,8
Atık aktif çamur <sup>d</sup>	3,2	3,2
Anaerobik çürütülmüş çamur <sup>d</sup>	2,6	1,5
Vakum filtrasyonu uygulanmış çamur <sup>h</sup>	5,8	3,0
Kek ve kuru kireç <sup>h</sup>	5,2	2,7

- 35 °C’ de 14-15 gün bekleme süresi olan tam ölçekli çalışma,
- 15-70 °C’ de 9-28 gün bekleme süresi olan tam ölçekli çalışma,
- 35 gün bekleme süreli laboratuvar çalışması
- Tam ölçekli çalışma, pH 12.4’e yükselmiş analizler uygulamadan hemen sonra yapılmış,
- Laboratuvar çalışması, pH 12.5’e yükselmiş analizler uygulamadan hemen sonra yapılmış,
- Laboratuvar çalışması, pH 12.5’ e yükselmiş analizler uygulamadan yarım saat sonra yapılmış,
- Laboratuvar çalışması, pH 12.4’ e yükselmiş analizler uygulamadan bir saat sonra yapılmış,
- Laboratuvar çalışması, 2 saat süresince pH ≥12 , analizler uygulamadan 2 saat sonra yapılmış,

Kaynak: Westphal, P. A. ve G.L. Christensen. 1983. Lime Stabilization: Effectiveness of Two Process Modifications, Journal WPCF, 55, (11): 1381-1387.

Fekal koliform ve fekal streptokok gideriminde genellikle kireç stabilizasyonunun mezofilik kompostlama, anaerobik çürütme ve aerobik çürütmeden daha iyi olduğu görülmektedir. Poon ve Boost (1996) yaptıkları çalışmada stabilize ve pastörize edici madde olarak sönmemiş kireç ve pülverize yakıt külünün kullanıldığı modifiye edilmiş prosesin etkilerini araştırmışlardır. Çamura uygulanan kireç ve kül yüzdelere bağlı olarak ham

çamurda >18000 MPN/l olan koliform ve *E. coli* varlığının tamamen giderilebildiği veya 60 ila 120 MPN/l seviyelerine düşebildiğini ve hijyenik açıdan EPA kriterlerine uygun bir çamur elde edilebildiğini belirtmişlerdir. Akrivos ve ark. (2000)'nin yaptıkları çalışmada ise suyu alınmış çamura sönmemiş kireç uygulamasıyla fekal koliform miktarının 10900 FC/g kuru madde'den 3 FC/g kuru madde'ye düştüğü tespit edilmiştir.

Aşağıdaki Çizelge de çamura uygulanan arıtmanın bakteri, virüs ve parazitlere olan etkisini belirtmektedir.

Çizelge 2.20: Atıksu Çamuru arıtma proseslerinin Patojen giderilmesine olan etkisi (log 10 tabanına göre)

Arıtma Prosesi	Bakteri	Virüsler	Parazitler (Protozoa ve Helmitler)
Anaerobik Çürütme	0.5 – 4.0	0.5 – 2.0	0.5
Aerobik Çürütme	0.5 – 4.0	0.5 – 2.0	0.5
Kompostlaştırma	2.0 – 4.0	2.0 – 4.0	2.0 – 4.0
Havada Kurutma	0.5 – 4.0	4.0	0.5
Kireçle Stabilizasyon	0.5 – 4.0	4.0	0.5

Kaynak: Anonim. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

### 2.6.5. Kirece Alternatif olarak Kullanılan Diğer Alkali Materyaller

Alkali stabilizasyonu proseslerinde pH'ı yükseltmek, sıcaklığı arttırmak, arıtma çamurunun katı madde içeriğini % 40-50 seviyelerine getirmek ve geniş yüzey alanı veya spesifik kimyasal reaksiyonların bir sonucu olarak kokuyu absorplamak üzere çeşitli alkali maddeler veya bu maddelerin belirli karışımları kullanılabilir. Alkali stabilizasyonu proseslerinde en sık kullanılan alkali maddeler aşağıda kısaca açıklanarak tanımlanmıştır. (KOCAER F.O.,2005).

#### a) Çimento Klinker Tozu:

Alkali stabilizasyonu proseslerinde (Örneğin N-Viro Soil Company) en sık kullanılan malzemedir. Çimento endüstrisinde normalde atık olarak kabul edilmektedir; çünkü çözünebilir Na ve K tuzları çimento kalitesini düşürmektedir. Çimento klinker tozu ince taneli, geniş yüzey alanına sahip ve çok kuru (katı madde>%99) bir malzemedir.

Kompozisyonu, çimento üretimi için karıştırılan ve bir fırında yakılan kireçtaşı ve kilin fonksiyonu olarak değişiklik göstermektedir. Kireç taşı birincil olarak kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) veya dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) formundayken, kil, Fe ve Al oksitler, silis ( $\text{SiO}_2$ ) veya kaolinit, mika, vermikulit, montmorillonit gibi alumino silikatlar içerebilmektedir. Fırında yakılmasının ardından kireçtaşının bir kısmı kalsine olarak CaO ve MgO oluşturmaktadır, bu nedenle klinker tozu Ca ve Mg oksit ve karbonatlarının bir karışımını içermektedir. Bu içerik kireç reaksiyonları açısından önemlidir. (KOCAER F.O., 2005).

#### **b) Kireç Klinker Tozu:**

Kireç klinker tozu alkali stabilizasyonu proseslerinde yaygın şekilde kullanılan diğer bir malzemedir. Kalkitik veya dolomitik kireç taşının kalsine edilmesiyle gerçekleşen kireç üretiminde (CaO veya MgO) bir yan ürün olarak oluşmaktadır. Kireç klinker tozunun fiziksel özellikleri çimento klinker tozuna benzemektedir, ancak kireç içeriği daha yüksektir. (KOCAER F.O. 2005).

#### **c) Uçucu Kül:**

Uçucu küller, elektrik üretimi için kömürün yakılması sonucu oluşan mineral kalıntılardır. Kömürün nasıl yakıldığına bağlı olarak çeşitli tipte uçucu kül mevcuttur. Uçucu kül taneciklerinin büyüklüğü, katı madde içeriği ve kimyasal kompozisyonu farklılıklar gösterebilmektedir. Stabilizasyon çalışmalarında sadece kuru uçucu kül kullanılmaktadır. Külün kimyasal yapısı yakılan kömürün tipine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin piritçe ( $\text{FeS}_2$ ) zengin kömürlerin yakılması sonucu asidik karakterli uçucu kül oluşmaktadır. Tüm uçucu küller yüksek Si içeriğine sahiptir ve Si genellikle küresel cam formundadır. Bazı uçucu küllerin odunkömürü formundaki kalıntı C içerikleri nispeten yüksektir. Bu tip küller arıtma çamuru kokusunu absorplamada oldukça etkilidir. (KOCAER F.O. 2005).

#### **d) Baca Gazı Desülfürizasyon Yan Ürünü:**

Kükürt içeriği yüksek olan kömürlerin yanması sonucu oluşan gazlardan  $\text{SO}_2$ 'nin uzaklaştırılması için kireç taşı ve kireç kullanılması uzun yıllardan beri uygulanan bir yöntemdir. Kuru modern proseslerde bu işlem ya kireç veya kireç taşının kömürle karıştırılmasıyla ya da kirecin baca gazıyla reaksiyona girmesi için duman üzerine enjekte

edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu proses sonucu elde edilen ürün baca gazı desülfürizasyonu yan ürünü olarak isimlendirilmektedir ve uçucu kül ve kirecin kuru karışımından oluşmaktadır. (KOCAER F.O. 2005).

#### **e) Odun Külü:**

Yakıt olarak kullanılan odunun külü mineral kalıntı ve odun kömürünün bir kombinasyonudur. Asidik veya alkali karakterli olabilen odun külünün K içeriği ağırlığının % 5'inden daha fazladır. CaO içermemektedir ancak muhtemelen K<sub>2</sub>O'nun hidrolizine bağlı olarak, ıslatıldığında küçük miktarlarda ısı açığa çıkmaktadır. Alkali stabilizasyonu proseslerinde K kaynağı olarak küçük miktarlarda kullanılmaktadır. (KOCAER F.O. 2005).

#### **f) Su Arıtımında Kullanılmış Kireç:**

Su arıtma tesislerinde, kireç, sert suların yumuşatılmasında ve askıda sedimentlerin flokulasyonunda kullanılmaktadır. Bu işlemin ürünü olan kireçli çamur neredeyse saf CaCO<sub>3</sub> içermektedir. Bu kireçli çamur çökmenin gerçekleştiği depolama lagünlerine pompalanmaktadır. Bu çamur lagünden kazılarak % 70 oranında katı madde içerecek şekilde havada kurutulabilir ve alkali stabilizasyon proseslerinde yüksek kireçleme etkisinden istifade edilmek üzere kullanılabilir. (KOCAER F.O. 2005).

### **2.7. Biyolojik Katıların Uygulanması Konusunda Uyulması Gereken Saha Sınırlamaları**

U.S.EPA 203.32 (b) (5)'e göre arıtma çamurları için uyulması gereken kurallar vardır. Buna göre biyolojik katılardaki patojenlerin besin değeri taşıyan bitkiler aracılığıyla insanlara bulaşması üç faktörün fonksiyonudur: İlk önce biyolojik katılarda patojenler olmalıdır; ikinci olarak B Sınıfı biyolojik katıların tarımda uygulanmasında patojenlerin hasatta bulaşmış olması gereklidir ve üçüncü olarak da, besinlerin patojenleri azaltacak şekilde işleme tabi tutulmadan yenilmesi gereklidir. Bu faktörlerin herhangi biri ortadan kaldırılırsa kamu sağlığının etkilenmesine giden yol da ortadan kaldırılmış olacaktır. A Sınıfı biyolojik katılar, atıksu çamurundaki patojenleri tespit edilebilir düzeyin altına indirerek kamu sağlığını korumaktadır. B Sınıfı koşullarına uyan biyolojik katılar, azaltılmış miktarlarda patojenik bakteri, virüs, protozoa ve yaşayabilir helminth yumurtaları ihtiva ederse de yine de bunların yoğunluğu önemli boyutlardadır. Bu nedenle, sahadaki kısıtlamalar patojenlerin nüfusunda

daha ileri düzeyde azalmaya olanak tanıyacak şekilde olmalıdır. Besinde bulunması olası patojenler ölmeden bitkilerin hasatının yapılması kurallar dahilinde kısıtlanmalıdır. Hasatta kısıtlamalar, bitkinin türüne göre değişim gösterir.

Sahadaki kısıtlamalar, temelde atıksu çamurlarında mevcut olan patojenlerin en dayanıklılarından biri olan yaşayabilir helminth yumurtasının yaşayabilme oranına dayandırılır. Helminth yumurtası dahil, patojenlerin yaşaması, çevreyle temasa bağlıdır. Patojenlerin yaşamasını etkileyen faktörlerden bazıları pH, sıcaklık, nem, katyonlar, güneş ışığı, toprak mikroflorasının mevcudiyeti ve içerdiği organik malzemelerdir. Toprağın yüzeyinde helminth yumurtasının 4 ay içinde öldüğü görülmüşse de, patojenler toprak içinde olduğunda çok daha uzun süre yaşamaktadırlar. Helminth yumurtasının yıllarca toprak içinde canlı kaldığı görülmüştür. Sahadaki kısıtlamalar, arazi yüzeyine uygulanan biyolojik katılarla, toprak yüzeyinde en az 4 ay kaldıktan sonra toprağa karıştırılmış biyolojik katılar ve uygulandıktan sonraki 4 ay içinde toprağa karıştırılmış biyolojik katılar arasında ayırım yaparak bu durumu göz önüne alırlar.

Saha kısıtlamaları patojenlerle temas yollarını da göz önüne alır. Örneğin, buğday ve yulaf gibi toprakla temas etmeyen bitkiler biyolojik katıların etkisine maruz kalabilirse de, güneş ışığına, kurumaya ve başka çevre faktörlerine maruz kalmaları nedeniyle bitki yüzeyindeki patojenler çok çabuk azalmaktadır (830 gün). Karpuz ve salatalık gibi toprağa dokunan bitkiler de biyolojik katı parçacıklarıyla temas halinde olsalar da, patojenler güneş ışığı ve yağmurun etkisiyle çok çabuk ölmektedirler. Patates gibi toprak içinde yetiştirilen bitkiler biyolojik katıların eklenmiş olduğu toprakla çevrilidirler ve patojenler toprak altında çok daha yavaş ölürler.

Belirli bir durumda hangi saha kısıtlamasının uygun olacağına karar vermeden önce bu yolların göz önüne alınması gereklidir. Tarım ve hasat uygulamalarıyla birlikte bitkilerin kullanım amaçları da göz önüne alınmalıdır. Örneğin portakallar toprağa değmeyen besin olarak kabul edilir. Ancak, bazı portakallar toprağa çok yakın büyür ve toprakla temas edebilir. Eğer toprağa düşmüş olan veya toprağa değerek büyüyen portakallar doğrudan tüketim için toplanırsa, toprağa değen bitkiler için mevcut olan 14 aylık hasat kurallarına uyulmalıdır. Toprağa hiç bir şekilde değmeyen portakallar bu 14 aylık sınırlamaya girmezler, ve toprakla temas etmeyen besinler için geçerli olan 30 günlük sınırlamaya tabi tutulmalıdır. Benzeri durumlarda, halkın sağlığına yapacağı etki göz önüne alınmalıdır. Toprakta B Sınıfı biyolojik katıların kullanımıyla ilgili kısıtlamalar aşağıda özetlenmiştir: mevzuata bağlı açıklamalar italik olarak yazılmıştır. Kısıtlamalar bitkilerin ekilmesi veya yetiştirilmesi ile ilgili değil, sadece hasatı ile ilgilidir.

#### **a) Toplanan Bölümleri Atıksu Çamuru / Toprak Karışımına Dokunan Tarım Bitkileri**

US EPA 503.32 (b)(5)(i): Toplanan bölümleri atıksu çamuru / toprak karışımına temas eden ve tamamı toprağın yüzeyinin üstüne yakın olan bitkiler, atıksu çamurunun uygulanmasından sonra 14 ay boyunca toplanmamalıdır.

Bu süre, güneş ışığı, sıcaklık ve kurutma gibi çevre koşullarının toprak yüzeyindeki patojenleri daha da azaltmasına olanak tanımaya yetecek düzeydedir ve kısıtlama sadece bitkinin toplanması için geçerlidir. Çamurun uygulanmasından sonra 14 ay boyunca hasat yapılmadığı sürece, bitkiler biyolojik katıların uygulanmasından önce veya sonra herhangi bir zamanda ekilebilir. Bu sınıfa giren bitkilere örnek olarak lahana, marul, karpuz, çilek ve baharatlı otlar gösterilebilir. Hasatla ilgili kısıtlamalar nedeniyle bitkilerin zamanının geçmemesi için gerekli arazi uygulamalarında uygun bir program yapılmalıdır.

#### **b) Toplanan Kısımları Toprağın Altında Olan Tarım Bitkileri**

US EPA 503.32 (b)(5)(ii): Atıksu çamurunun uygulanmasından sonra, atıksu çamuru toprağa karıştırılmadan önce 4 ay veya daha uzun bir süre yüzeyde kalıyorsa, hasat edilen bölümleri toprak yüzeyinin altında olan bitkiler, 20 ay boyunca toplanmamalıdır.

Yüzeydeki patojenler çevredeki giderici faktörlere maruz kalacaktır ki bu da sayılarını büyük oranda azaltacaktır. Helminth yumurtasının toprak yüzeyinde 4 ay sonra öldüğü görülmüştür. Bu nedenle toprağın üstünde 4 ay süreyle bırakılmış olan biyolojik katı atıklarla daha kısa bir süre içinde toprakla karıştırılan veya sürülen biyolojik katı atıklar arasında bir ayırım yapılmaktadır.

Eylül 1999'da hasadı yapılacak bir ekim için, biyolojik katı atıklar 1997 yılında Aralık sonunda toprak yüzeyine uygulanıp, 1998'in Nisanında toprakla karıştırılır ve sonra da 1999 Eylülünde hasat yapılacak şekilde bitki ekilir. Toprağın altındaki bölümü hasat edilen bitkilere örnekler arasında patates, turp, pancar, soğan ve havuç gösterilebilir.

US EPA 503.32 (b)(5)(iii): Atıksu çamurunun uygulanmasından sonra, atıksu çamuru toprağa karıştırılmadan önce yüzeyde 4 aydan daha kısa bir süre kalıyorsa, hasat edilen bölümleri toprak yüzeyinin altında olan bitkiler, 38 ay boyunca toplanmamalıdır.

Bu koşullarda, patates ve havuç gibi tarım bitkilerinin yüzeylerinin helminth yumurtasıyla temas edebilecek durumda olması en önemli sorundur. Toprak yüzeyinde bulunan biyolojik katı atıklardaki helminth yumurtalarının azalması için, mevcut çevre

koşullarında gerekli süre en az 4 ay kabul edilmektedir. B Sınıfı biyolojik katı atıkların toprağa uygulamadan sonraki 4 ay içerisinde karıştırılması durumunda oldukça önemli miktarda yaşayabilir helminth yumurtasının bulunma şansı yüksektir. Bir kez toprağa karıştırıldılar mı, bu organizmaların ölmesi çok zaman almaktadır ve bu nedenle halkın sağlığını koruma amacıyla, çok daha uzun bir bekleme süresi gerekmektedir. Biyolojik katıların uygulanmasından sonra 38 ay beklemek genellikle helminth yumurtasının tespit edilebilir düzeylerin altına inmesi için yeterli bir süredir.

### **c) Tarım Bitkileri, Yem Bitkileri ve İplik Üretiminde Kullanılacak Bitkiler**

US EPA 503.32 (b)(5)(iv): Tarım bitkileri, yem bitkileri ve iplik üretiminde kullanılacak bitkiler, atıksu çamurunun uygulanmasından sonra 30 gün boyunca toplanmamalıdır.

Bu gruba hasat edilen bölümleri normalde biyolojik katılara/ toprak karışımına dokunmayan ve ağaçtan veya bitki gövdesinden düştükten sonra yerden toplanmayan bitkiler girmektedir. Bu kısıtlama aynı zamanda yem olarak ve iplik üretiminde kullanılan bitkileri de kapsar. Bu bitkiler biyolojik katılar toprağa karıştırıldığında bunlarla temasa geçmiş olabilir. Bu bitkilerin kısa zamandaki hasatıyla bu biyolojik katı patojenleri de yetiştirme ortamından çevreye karışabilir. Ancak, uygulama sırasında bitkiye bulaşmış olan herhangi bir patojen 30 gün içerisinde tespit edilemez düzeye inecektir. Bu gruba dahil bitkilere örnek olarak saman, mısır, soya fasulyesi veya pamuk gösterilebilir.

### **d) Hayvan Otlatma**

US EPA503.32 (b)(5)(v): Atıksu çamurunun uygulanmasından sonra 30 gün boyunca hayvanların otlanmasına izin verilmemelidir.

Biyolojik katı atıkların uygulandığı toprakta yürüyen hayvanlara biyolojik katılar bulaşabilir ve dolayısıyla insanların bu hayvanlarla teması sonucunda da insanlara geçme olasılığı artar (biyolojik katıların kullanıldığı arazide otlatılan atlar ve süt veren inekler gibi). Biyolojik katıların uygulandığı yüzeyde patojenlerin önemli ölçüde azalması için 30 gün yeterlidir ve dolayısıyla hem hayvanlara hem de insanlara bulaşma riski azalmaktadır.



### **e) Çimen Aktarma**

US EPA 503.32 (b)(5)(vi): Atıksu çamurunun uygulandığı arazide yetiştirilen çimen eğer bir bahçeye veya halka açık bir yere yerleştirilecekse, atıksu çamurunun uygulanmasından sonra bir yıl boyunca arazi kullanılmamalıdır. Eğer uygulama farklıysa, bekleme süresi ruhsatı veren kurumca belirlenecektir.

1 yıl bekleme süresi, çimenle temas edecek olan insan ve hayvanlarda bir risk olmaması için patojenlerin büyük oranda azalmasına imkan vermek için tasarlanmıştır. Eğer çimen halkın çok girmeyeceği bir yerde kullanılacaksa, ruhsatı veren resmi kurum bu süreyi kısaltabilir.

### **f) Kamunun Kullanımı**

US EPA 503.32 (b)(5)(vii): Halkın büyük oranda kullanıldığı arazide atıksu çamurunun uygulanmasından sonra bir yıl boyunca arazi halka açılmamalıdır.

Yukarıda çimen için belirtilen şartlar geçerlidir. Bir top sahası, oyun sahası, halka açık park halkın temas olasılığının yüksek olduğu alanlardır. Buralarda arazi çok yoğun bir şekilde kullanılmakta ve muhakkak toprakla temas olmaktadır.

US EPA 503.32 (b)(5)(viii): Halkın düşük oranda kullanıldığı arazide atıksu çamurunun uygulanmasından sonra 30 gün boyunca arazi kullanılmamalıdır.

Mısır veya soya fasulyesi yetiştirmek için kullanılacak olan bir tarla, halkın az kullandığı araziye bir örnektir. Tarlanın sahibi, ailesi ve çalışanlar bile bu arazide çok az yürürler. Kamunun kullanımı yönündeki kısıtlamalar tarlada çalışanlar için geçerli değilse de, bu kişilerin arazi uygulamaları ve arazi uygulamalarıyla ilgili programlarda halkın sağlığıyla ilgili konulara dikkat etmeleri ve bu 30 günlük süre boyunca hijyen kurallarına uymaları gereklidir. Örneğin çalışanların toprağı ve toprakla temas eden bitkileri elledikten sonra ellerini yıkamaları gereklidir. B Sınıfı biyolojik katıların uygulanmasından sonraki dönemde çalışanların koruyucu kıyafet ve ayakkabı giymeleri önerilmektedir. (Anonim,1999b)

## 2.8 Arıtma Çamurlarındaki Patojen Miktarını Azaltmayı Amaçlayan Bazı Örnek Çalışmalarda Elde Edilen Sonuçlar ve Açıklamalar

### 2.8.1 Kireç Dışı Başka Alkali Maddelerin Kullanımı

Yapılan çalışmalarda ilave edilen alkali karakterli uçucu külün çamurun fekal koliform içeriği üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Arıtma Çamuruna Katı Maddece %40, %80 ve %120 oranlarında sadece uçucu kül eklendiğinde bu maddenin etkili bir patojen giderimi sağlamadığı gözlemlenmiştir. Bunun en önemli nedenlerinden birisi uçucu Orhaneli Termik santral Külünün çamur pH'ını giderim için gerekli pH seviyesi olan pH 10.5 değerine çıkaramamasıdır. Bunun yanında %40 kuru madde seviyelerine kadar kurutulan kül-çamur karışımları etkin bir fekal koliform giderimi sağlayamazken, %60 kuru madde seviyelerine kadar kurutulan karışımlarda 1 ila 2 logluk bir azalma gerçekleşmiştir. %90 kuru madde seviyelerine kadar kurutulan örneklerde ise indikatör bakterilerin 3 ila 5 log azalabildiği tespit edilmiştir. (KOCAER, ve BAŞKAYA, 2004)

Regina Atıksu Arıtma Tesisindeki atıksu çamurunu Boundary Barajı Enerji Santralinden gelen uçucu kül ile iyileştirme (şartlandırma) konusu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Suyu alınmış çürütülmüş ilk çamurun mikroorganizma popülasyonu  $3,76 \times 10^7$  cfy/100 n (pH 7,25) olarak belirlenmiş ve bu çamur çeşitli oranlarda uçucu külle karıştırılmıştır. (Çizelge2.21)

Çizelge 2.21: Çeşitli Kül, Çamur oranlarında ve karıştırma zamanlarında pH'ta, Mikroorganizma (Standart Palte Count) nüfusunda meydana gelen değişimler.

Kül/Çamur Oranı	Karıştırma Zamanı (sa)	pH	Mikroorganizma Miktarı (CFU/100 ml)	Ölüm Yüzdesi (%)
1:1	8	10,2	$1,32 \times 10^4$	99,97
1:1	24	10,3	$1,30 \times 10^4$	99,97
1:1	72	10,5	$1,29 \times 10^4$	99,97
1:3	8	9,0	$1,25 \times 10^5$	99,67
1:3	24	9,4	$4,51 \times 10^4$	99,88
1:3	72	9,6	$4,02 \times 10^4$	99,89
1:9	8	8,0	$2,43 \times 10^6$	93,54
1:9	24	8,5	$2,35 \times 10^6$	93,75
1:9	72	8,9	$2,31 \times 10^6$	93,86

Katılan kül oranının artması ile % nem içeriğini düşmesi ve pH'ı 10.5 seviyesine çıkması ile ancak 3 logluk bir azalmanın gözlenebildiği belirtilmiştir. (WANG, S. ve ark.,1998)

Bunun yanında Termik Santralarda kullanılan yakıt külü ve sönmemiş kireç karışımlarının patojen gideriminde son derece etkili olduğu belirlenmiştir. Katı maddenin % 60'ı Atıksu Çamuru % 40'ı da 1 Birimi Sönmemiş Kireç, 8 Birimi Yakıt Külü olacak şekilde yapılan karışımlarda pH'ın 1 hafta boyunca 12'nin altına inmediği tespit edilmiştir. (Boost, M.V ve ark,1998).

### 2.8.2 Sönmemiş Kireç Kullanımı ve Önemi

Kireç, evsel atıksu arıtımında geniş olarak kullanılan kolayca uygulanabilen bir alkalidir.

Arıtma çamurlarına sönmemiş kireç karıştırıldıktan sonra, seçilen bakteriyolojik parametreler üzerindeki etkisi Çizelge 2.22'de gösterilmiştir. Burada %2'lik bir CaO dozunda bile patojenlerin önemli oranda azalmasının mümkün olduğu görülmektedir. Ayrıca, Çizelge 2.23 ve 2.24, uzatılmış periyotların üzerinde, patojenlerdeki bir azalmanın, %4'lük bir CaO dozunun üstünde bir doz gerektirdiğini belirtmektedir. Yüksek pH ve sıcaklık altında, sürenin etkileri, patojen türüyle değişiklik gösterecek gibi görünür. Koliformların yüksek pH'lı bir ortama uzun süre (birkaç günden fazla) maruz kalması, arttırılan sıcaklık sadece bitkisel (Sistem dışı çalışan) *clostridium perfringens*'lerin için verimli görünmektedir. (ANDREADAKIS,1999)

Çizelge 2.22: 20°C'de karıştırmadan 4 saat sonra bakteriyolojik parametreler üzerinde CaO'nun etkisi

CaO Dozu	Toplam Koliform	Sıcaklık	Streptococcus	Clostridium	Salmonella
%	adet/g	adet/g	adet/g	adet/g	adet/g
0	23 x 10 <sup>4</sup>	49 x 10 <sup>3</sup>	11 x 10 <sup>4</sup>	30 x 10 <sup>3</sup>	10 g'da görüldü
2	33 x 10 <sup>1</sup>	-	<10 <sup>0</sup>	18 x 10 <sup>2</sup>	-
4	13 x 10 <sup>1</sup>	-	<10 <sup>0</sup>	14 x 10 <sup>2</sup>	-
6	33 x 10 <sup>1</sup>	-	<10 <sup>0</sup>	13 x 10 <sup>2</sup>	-
8	13 x 10 <sup>1</sup>	-	<10 <sup>0</sup>	9 x 10 <sup>2</sup>	-
10	13 x 10 <sup>1</sup>	-	<10 <sup>0</sup>	2 x 10 <sup>2</sup>	-

Kaynak: A.D. Andreadakis, Treatment and disinfection of sludge using quicklime Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iroon Polytechniou St., Zografou, Athens 15773, Greece

Çizelge 2.23: Mikrobiyal yüklenme üzerinde depolama süresinin ve CaO dozunun etkisi

	Sıcaklık	Toplam Koliiform		Isiya Dayanımlı Toplam Koliiform		<i>Clostridium perfringens</i>				Salmonella	
						Vejetatif		Spor			
Günler	1	1	14	1	14	1	14	1	14	1	14
CaO Dozu										10 g Çamur İçinde Belirlenmesi	
%	oC	sayı/g çamur									
0	20	10x10 <sup>6</sup>	49x10 <sup>4</sup>	33x10 <sup>4</sup>	49x10 <sup>4</sup>	90x10 <sup>3</sup>	10x10 <sup>2</sup>	90x10 <sup>3</sup>	40x10 <sup>3</sup>	+	-
2	20	33x10 <sup>2</sup>	46	2.3	<2	30x10 <sup>2</sup>	10x10 <sup>2</sup>	<10x10 <sup>2</sup>	100	-	-
4	20	70x10 <sup>2</sup>	4.9	<2	<2	13x10 <sup>2</sup>	60	<10	100	-	-
6	20	70	5.0	<2	<2	12x10 <sup>2</sup>	100	<10	<10	-	-
6	26	70	5.0	<2	<2	60x10 <sup>1</sup>	<10	<10	<10	-	-
8	20	63	<2	<2	<2	20x10 <sup>2</sup>	100	<10	<10	-	-
8	28	26	<2	<2	<2	11x10 <sup>2</sup>	<10	<10	<10	-	-
10	20	9	6	<2	<2	18x10 <sup>2</sup>	<10	<10	<10	-	-
10	33	34	5	<2	<2	70x10 <sup>1</sup>	<10	<10	<10	-	-
15	20	33	<2	<2	<2	11x10 <sup>1</sup>	<10	<10	<10	-	-
15	39	11	<2	<2	<2	<10	<10	<10	<10	-	-

Kaynak: A.D. Andreadakis, Treatment and disinfection of sludge using quicklime Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iroon Polytechniou St., Zografou, Athens 15773, Greece

Çamur sönmemiş kireç uygulanması, ayrıca parazitlerin gideriminde de etkilidir. CaO ilavesi olmadan Ascaris yumurtalarının gelişiminin karşılaştırmalı çalışmaları, pratik olarak sadece tek hücreli yumurtalar sönmemiş kireç artımıyla incelendiği için, referans örnekte % 71'e kadar tam olarak büyütülen larvanın gelişim ve çok hücreli yumurtaların varlığı ortaya çıkar. Ayrıca, yumurtaların çamurda CaO'ya uzun süre maruz kalmasından 5 ay sonra elverişli şartlar altında bile, büyüebilme kabiliyetlerini yitirebilecekleri gösterir. (ANDREADAKIS,1999)

Çizelge 2.24: 1. gün sonunda sıcaklıkta ve MO seviyesinde CaO dozuna göre değişimler.

CaO Dozu	1. Gün sonrası Sıcaklık	Toplam Koliform			<i>Clostridium perfringens</i>				
		4 hr	1 gün	14 gün	Vejetatif			Spor	
%		4 hr	1 gün	14 gün	4 saat	1 gün	14 gün	1 gün	14 gün
0	20	-	-	1,3	-	-	0,1	-	0,4
2	20	2,8	3,5	5,3	1,2	1,5	2,0	2,0	>4,0
4	20	3,2	3,2	6,3	1,3	1,8	2,2	>4,0	>4,0
6	20	3,8	5,2	6,3	1,4	1,9	3,0	>4,0	>4,0
6	26	-	5,2	6,3	-	2,2	4,0	>4,0	>4,0
8	20	5,2	3,2	>6,7	1,5	1,7	3,0	>4,0	>4,0
8	28	-	5,6	>6,7	-	1,9	>4,0	>4,0	>4,0
10	20	3,2	6,0	6,2	1,2	1,7	>4,0	>4,0	>4,0
10	33	-	5,5	6,3	-	2,1	>4,0	>4,0	>4,0
15	20	-	5,5	>6,7	-	2,9	>4,0	>4,0	>4,0
15	39	-	6,0	>6,7	-	>4,0	>4,0	>4,0	>4,0

Kaynak: A.D. Andreadakis, Treatment and disinfection of sludge using quicklime Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iron Polytechniou St., Zografou, Athens 15773, Greece

Çizelge 2.25: Ascaris yumurtalarının büyümesi (gelişimi) (referans örnek)

Büyüme Evresi	Gün						
	0	14	28	42	56	70	150
Döllenmemiş Yumurta	1	9,6	11,3	9,2	6,7	5,3	3,3
Tek Hücreli	99	85	4	0	8	9,7	10
Çift Hücreli	0	1	0	0	1	0	1
4 Hücreli	0	0	0	0	0	0,3	0,3
>8 Hücreli	0	0,7	16,7	24,6	19,2	10,3	13,3
Olgunlaşmamış Larva	0	3,7	11,3	8,5	6,7	3,3	2,8
Tam Olgunlaşmış Larva	0	0	56,7	57,7	59,3	71	69,3
Toplam	100	100	100	100	100	100	100

Kaynak: A.D. Andreadakis, Treatment and disinfection of sludge using quicklime Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iron Polytechniou St., Zografou, Athens 15773, Greece

Çizelge 2.26: Ascaris yumurtalarının büyümesi (gelişimi) (%10 CaO ile artırılmış çamur)

Büyüme Evresi	Gün						
	0	14	28	42	56	70	150
Döllenmemiş Yumurta	1	1,3	1,7	0	0	0	0
Tek Hücreli	99	98	96	92,3	92,7	99,3	100
Çift Hücreli	0	0,7	1	0	0,3	0	0
4 Hücreli	0	0	0,3	0	0	0	0
>8 Hücreli	0	0	1	7,7	3	0	0
Olgunlaşmamış Larva	0	0	0	0	4	0,7	0
Tam Olgunlaşmış Larva	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	100	100	100	100	100	100	100

Kaynak: A.D. Andreadakis, Treatment and disinfection of sludge using quicklime Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iron Polytechniou St., Zorgafou, Athens 15773, Greece

Çizelge 2.27: % 10 CaO ile artırılmış örneğin dışının izole edilmesinden sonra %1 formaldehit çözeltisinde Ascaris yumurtalarının yetiştirilmesi.

Büyüme Evresi	Mayalanma Öncesi Örnekteki Yumurta Bekletme Süresi (Hafta)				
	2	4	6	8	20
Döllenmemiş Yumurta	1,7	3,3	0	0	0,4
Tek Hücreli	0,7	7,3	11,7	40,7	63,4
Çift Hücreli	0	1,7	2,3	0	2,3
4 Hücreli	0	0,3	2,3	0,3	0,6
>8 Hücreli	24	26,7	54,7	37,4	32,7
Olgunlaşmamış Larva	6,3	4,3	7,7	6,3	0,6
Tam Olgunlaşmış Larva	67,3	56,7	21	15,3	0

Kaynak: A.D. Andreadakis, Treatment and disinfection of sludge using quicklime Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iron Polytechniou St., Zorgafou, Athens 15773, Greece

Çamur özellikleri üzerinde CaO uygulamasının uzun süreli etkisi, Çizelge 7’de gösterilmektedir. Sönmemiş kireç ilavesiyle toplam katı madde içeriği ve pH’da artış gözlenirken, uçucu katı içeriği, fosfor, azot ve amonyak içeriğinin azaldığı görülür. 7 aydan fazla süren depolamada, pH 12’nin üzerinde kalsa da, ufak bir azalma gözlenirken, toplam katı içeriği de kademeli olarak artma eğilimi gösterir. (ANDREADAKIS,1999)

pH ve alkalinite de etkili bir azalma ancak 2 yıllık bir depolama periyodundan sonra gözlenir. Organik maddenin bozunması yüzünden toplam uçucu katının toplam katıya oranı azalırken, toplam katı içeriği önemli oranda artar. (ANDREADAKIS,1999)

Bu bozunma, aynı zamanda gözlenen yüksek fosfor içeriğini de açıklar. Çamur, hafif ama kötü olmayan kokuya sahip odunsu bir yapı kazanır. (ANDREADAKIS,1999)

Kireç ilavesi sonucu kireçli çamur, ham çamurun % 68'i kadar yayırlı fosfor içerir. pH değeri artar. (ANDREADAKIS,1999).

Çizelge 2.28: Çamur özellikleri üzerinde CaO uygulamasının (%10) uzun süreli etkileri

Parametreler	Birim	Günler						
		Ham	0	14	45	120	210	720
pH		7,1	12,5	12,5	12,5	12,3	12,1	8,4
KM	g/kg	168	283	292	291	332	303	531
Uçucu KM	g/kg	101	87	86	90	93	104	103
Uçucu KM/KM	%	60	31	29	31	28	34	19
Toplam Fosfor	g/kg KM	17	9,8	9,6	-	9,3	-	17
Toplam Azot	g/kg KM	32	19	17	17	17	17	13
Amonyak Azotu	g/kg	1,5	0,27	0,21	0,27	0,31	0,18	-
Alkalinite	mmol/kg	-	-	2390	2700	3080	2700	1340
Koku			-	-	-	-	-	-

Kaynak: A.D. Andreadakis, Treatment and disinfection of sludge using quicklime Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iron Polytechniou St., Zografou, Athens 15773, Greece

Ancak, uzun bekleme süreleri sonunda normal pH değerlerinin yanında yayırlı fosfor değerlerinde ham çamurdaki ilk konsantrasyonun % 90'ı kadar bir konsantrasyon artışı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni zamanla çamur içindeki uçucu katı kısmının azalmasıdır. (ANDREADAKIS,1999)

Sonuç olarak, uygulamadaki deneyim her iki takım veya sürekli tıpa akış sistemi çamurun sönmemiş kireçlenmesi için kullanılabilir ve en önemli teknolojik konu sistemde çamur ile CaO karışımının verimliliğine bağlıdır. (ANDREADAKIS,1999)

Susuzlaştırılmış çamura ve en az 3 ay pH 12 üzerinde uygun depolanmış çamura sönmemiş kireç ilavesi, yüksek oranda bir çamurun sıhhi hale getirilmesini garanti eder. Bu çamur toprak iyileştirici olarak ve patojenler açısından herhangi bir sınırlama olmaksızın gübre olarak kullanılabilir. Uzun depolama sonunda elde edilen nötr pH'lı ürün ham ürüne

göre yüksek yarayırlı fosfora ve daha düşük azota sahiptir. Sonuç olarak, sönmemiş kireç uygulması, çamurun kullanım+ özelliklerini geliştirir ve koku artışı olmadan uzun süreli depolamaya izin verir. (ANDREADAKIS,1999)

## **2.9. Açık ve Kapalı Kurutma Yatakları ve Sistemin Ekonomik Değerlendirmesi**

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının susuzlaştırılması, stabilizasyonu ve nihai bertaraf alternatifinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu hem yaratacağı çevresel etkilerin değerlendirilmesi hem de atıksu arıtma tesislerinin fayda / maliyet analizlerinde dikkate alınması açısından gereklidir. Birim atıksu arıtım maliyetlerinde önemli bir paya sahip olan çamur bertarafı konusunda çamurun su içeriği belirleyici unsurdur.

Stabil bir çamur, çevreye zarar vermeden bertaraf edilebilen ve rahatsız edici bir ortam oluşturmeyen çamur olarak tarif edilebilir. (Vesilind, 1979) Stabilize çamur, sağlık riski ve koku oluşturmamalıdır. (Vesilind, 2001) Çamurdaki patojenlerin, istenmeyen kokuların giderimi ve potansiyel bozunmanın azaltılması veya durdurulması çamur stabilizasyonun amaçları olarak sıralanabilir.(Filibeli, 1996)

Arıtma çamurlarının B sınıfı kriterlerini sağlaması amacıyla Çizelge 2.5.3.6'da belirtilen alternatiflerinden biri olan havada kurutma alternatifi bu çalışmada kullanılacaktır. Bu alternatife göre arıtma çamurları kum yatakları üzerinde veya kurutma havuzlarında en az 3 ay süreyle kurutulmalıdır. Bu 3 ayın 2 ayı boyunca ortalama çevre sıcaklığı 0<sup>0</sup>C'nin üzerinde olmalıdır. Bu alternatifte yüzeye belli bir kalınlıkta serilen arıtma çamurlarındaki patojenler çeşitli faktörlerin etkisiyle yok olmaktadır. Bu faktörler sıcaklık, güneş ışığı, kuruma, uygun olmayan pH ve diğer mikroorganizmalardır. Bu sayede açık kurutma yatakları sayesinde B sınıfı arıtma çamuru kriterleri rahatlıkla tutturulabilir.

Bu çalışmada farklı olarak kapalı kurutma yatakları da kullanılacaktır. Mekanik susuzlaştırma işleminden çıkan atıksu arıtma çamurlarının susuzlaştırılması ve stabilizasyonu için güneş enerjisinden yararlanan hibrit bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemle, bugüne kadar uygulanan sistemlere nazaran daha düşük maliyetli bir kurutma prosesinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonunda, mekanik susuzlaştırma sonrası % 20-25 KM içeriğine ulaşan atıksu arıtma çamurlarının susuzlaştırılması ve stabilizasyonu için gerekli kireç sarfiyatının azaltılması, taşıma maliyetlerinin aşağı çekilmesi ve ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinden istifade edilerek kurutma için gerekli enerji miktarından tasarruf sağlanması hedeflenmektedir. Klasik tip çamur kurutma yataklarının en büyük dezavantajı yüksek alan



gereksinimi, koku ve sinek oluşumudur. Bu yüzden ülkemizde yaygın olarak kullanılmamaktadır. (SALİHOĞLU N.K.,PINARLI V.,2005)

Kapalı Kurutma Yatağı Sisteminin önemli özelliklerinden biri olan tabandaki dolgu yatakla ilgili olarak Kürklü vd. tarafından 2003 ve 2004 yılında çalışmalar yapılmıştır. Benzer özellikleri olan bir dolgu yatakta yürütülen çalışmalarda dolgu yatağın güneş enerjisini %34 oranında toplama verimi olduğunu, bunun %50 oranında geri kazanıldığını, polikarbonatla örtülü sera iç sıcaklığını 10 °C'lerde tuttuğunu ortaya koymuşlardır.

Çalışma yapılacak Kapalı kurutma yatağının özellikleri şu şekildedir.

- Taban tamamen sızdırmaz beton kaplama yatak biçiminde tasarlanmış, kurutmanın buharlaşmaya dayalı olarak kontrollü bir hacimde gerçekleştirilmesi düşünülmüştür. Böylece gerek koku ve sinek kontrolü gerekse kararlı bir nihai ürün eldesi sağlanabilecektir.
- Beton taban, güneş kolektörüne bağlı borularla ısıtılmaktadır.
- Gün boyunca ısınan ve neme doymuş hale gelen iç ortam havası tabandaki dolgu yatağa verilerek tabandan meydana gelecek ısı kayıpları azaltılmaya, kararlı bir taban sıcaklığı oluşturulmaya çalışılmaktadır.
- Güneş kolektörüyle sağlanan taban ısıtmasının yetersiz geldiği durumlarda ilave enerji kaynağıyla ısıtmanın sağlanabileceği bir yapı tasarlanmıştır.
- Tesiste mekanik susuzlaştırma sonrası çamur kurutma denemeleri gerçekleştirilmektedir.

Üzerinde çalışılan kapalı kurutma yatağının tasarım amacı:

- Güneş enerjisinden yararlanarak kurutma maliyetlerinin azaltılması,
- Kurutma sırasında dış ortam şartlarının etkilerinin en aza indirilmesi,
- Oluşturulan hacimde koku ve uçucu bileşiklerin kontrolünün sağlanması,
- Standart nihai ürün eldesi,
- Özel durumlarda geçici depolamanın da gerçekleştirilebileceği bir hacim oluşturulması,
- Tesiste diğer ünitelerle bütünlük arz edecek ve estetik kaygıları ortadan kaldıracak bir yapının oluşması şeklinde sıralanabilir. (SALİHOĞLU N.K.,PINARLI V.,2005).

Özellikle kapalı kurutma yataklarının kullanılması ile birlikte % 20 ila %25 katı madde içeren arıtma çamurunun ortalama koşullarda 60 günde katı maddesini % 90'lar seviyesine çıkartmak mümkün olacaktır. Bu toplam çamur hacminde 3.6 ila 4.5 katlık azalmayı işaret etmektedir. Bu sayede nihai bertaraf alanına 20 kamyonla taşınacak çamur, 5 kamyonla

taşınabilecektir. Bir diğer husus Termal Sistemlerde 1 ton suyu buharlaştırmak için 749 kW saat enerjiye ihtiyaç varken, bu sistemde sadece 28 kW saatlik enerjinin harcanması yeterli olmaktadır. Bunun yanında mikrobiyal giderimde elde edilecek avantajlar bu sistemi destekleyebilir niteliktedir.(BUX. M. ve ark.,2002).

Kurutma yataklarında çamurların kurutulmasında çevresel faktörlerin büyük önemi bulunmaktadır. Bu faktörler ortam sıcaklığı, sistem açıksa yağış, güneşlenme süresi, bulut kapallığı gibi bir dizi meteorolojik faktörlerdir.

Bu çalışmada yağış ve sıcaklık düzenli bir şekilde izlenmiştir. Çünkü bu iki parametre kuruma sürecinde en etkili olan parametrelerdir.

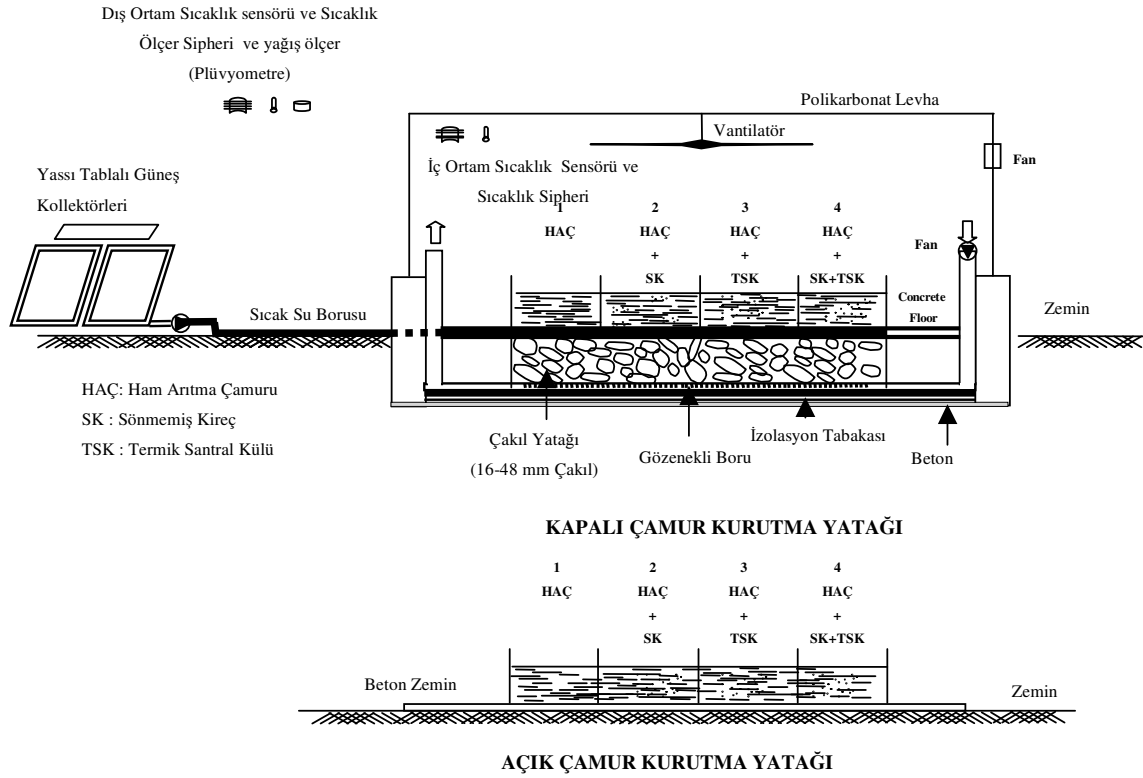
Sıcaklık yükseldikçe, kuruma süresinin azalması beklenmektedir. Kapalı sera sistemlerinde sıcaklığın dış koşullara göre daha yüksek gerçekleşmesi beklenen bir sonuçtur. Yağışın kuruma sürecini geciktirici etkisi kapalı kurutma yataklarını cazip hale getirmektedir. Açık kurutma yatağına serilmiş bir çamurun üzerine yağış düşmesi durumunda her 1 mm'lik yağışta m<sup>2</sup> başına 1 kg su eklenmektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyaller

##### 3.1.1 Açık ve Kapalı Kurutma Yatakları

BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisinde 2 adet pilot ünite ve bir meteoroloji istasyonu kurulmuştur (Şekil 3.1). Şekil 3.1’den de anlaşılacağı üzere 2 adet pilot ünite vardır.



Şekil 3.1: Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarının Şematik Gösterimi

%20-25 katı madde (KM) içeren ve mekanik yolla suyu çekilmiş İnegöl AAT belt pres çıkışı arıtma çamuru örnekleri, özel olarak tasarlanmış olan tünel tipindeki KÇKY ve AÇKY kurutulmuştur. (Şekil 3.1.1) Her iki tesis de, 15 cm kalınlığında su geçirmez beton zemin üzerine inşa edilmiştir.

AÇKY'nın yüksekliği 2,5 m ve 10 mm kalınlığı olan çift cidarlı (duvarlı) saydam polikarbonat levhalarla kaplı bir çatısı bulunmaktadır. Su geçirimsiz beton zemin altında 16-

48 mm çaplı çakıllarla 50 cm derinliğinde bir taş yatak inşa edilmiştir. AÇKY'nın zemini iki yassı tabla halindeki güneş kolektörleri ile ısıtılmıştır. İçerdeki sıcak havanın sirkülasyonu ise, aksenel fanlarla taş yatak içinden sağlanmıştır. Ayrıca çamur üzerinde oluşan doymuş buhar tabakasının atılması için de bir vantilatör monte edilmiştir.

AÇKY de 15 cm kalınlığında su geçirmez beton zemin üzerinde inşa edilmiştir. AÇKY'de taş yatak, vantilatör ve fan sistemleri uygulanmamıştır. KÇKY ve AÇKY'nin her ikisinde de 0,5 m x 1,25 boyutlarında dörder çamur havuzu bulunmaktadır.

### **3.1.2 Çamur Örneği**

Çamur, Bursa ili İnegöl ilçesinin kentsel ve endüstriyel atıksuyunu 64.000 m<sup>3</sup>/gün akış hızında arıtan belediye AAT'nden alınmıştır. Uzun havalandırmanın akabinde, çamur bir ikincil çöktürme tankında ve cazibeli çamur yoğunlaştırıcılarda çökmeye bırakılmıştır. Son olarak, çamurun % 20-25 katı içeriğe sahip olacak şekilde bir filtre preste suyu çekilmiştir. Her iki sistemde de çamur örnekler 25 cm yükseklik oluşturacak şekilde yayılmıştır.

### **3.1.3 Çalışma Kapsamında Kullanılan Alkali Maddeler**

Çalışmada arıtma çamurlarıyla karıştırılmak üzere alkali özellik gösteren Orhaneli Termik Santrali uçucu külü kullanılmıştır. Uçucu kül numunelerinin alındığı Orhaneli Termik Santrali Bursa Orhaneli'nde 1992 yılında kurulmuş bir kamu iktisadi teşebbüsüdür. Orhaneli ve Tunçbilek Linyitlerinin yakıldığı tesiste günlük kömür tüketimi 5000 tondur. Türkiye Kömür İşletmelerinden Orhaneli Termik Santralına gelen kömür öncelikle birincil kırıcılarda parçalanarak 300 mm çapına getirilmekte ve bantlarla santralin içine taşınmaktadır. Burada ikincil kırıcılara gelen kömürün çapı 30 mm'ye indirilmektedir. İkincil kırıcılardan çıkan kömür 150000 ton depolama kapasitesi olan stok sahasına gelmekte ve buradan yine bantlarla taşınarak kömür değirmenlerine iletilmektedir. Değirmenlerde kömür 50 – 100 µ arasında öğütülmekte ve sıcak hava ile kurutulmaktadır. Öğütülmüş kömür farklı noktalara yerleştirilmiş 16 adet yakıcı ile kazan içine püskürtülmektedir. Yanma sonucu açığa çıkan uçucu küller mekanik bunker ve elektro statik filtrelerde tutulmaktadır. Uçucu kül daha sonra suyla karıştırılıp borularla kül havuzuna gönderilmektedir. Kömürün yakılması sonucu yaklaşık % 25 oranda kül ve cüruf açığa çıkmaktadır. Bir günde oluşan 1250 ton kül + cürufun yaklaşık 1000 tonu küldür.

Uçucu kül tek başına pH'ı EPA B tipi çamur için belirlenen pH 12 değerine ulaştıramamaktadır. Bu değeri sağlamak için sönmemiş kireç (CaO) kullanılmıştır. Sönmemiş kireç ilgili toptancıdan taş halinde getirilmiş ve uygulama öncesinde çekiç ve el silindiri kullanılarak ufalanmış ve bu haliyle arıtma çamurlarına katılmıştır.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1 Çamur Karakterizasyonu

Bu aşamada arıtma çamurunun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri belirlenmiş ve çalışmanın hangi parametreler ışığı altında yürütüldüğü ortaya konulmuştur.

Çizelge 3.1:Ham çamurda belirlenmesi gerekli parametreler:

Parametre	Birim
pH	
Kuru Madde Miktarı	%
İnorganik Madde Miktarı	%
Organik Madde Miktarı	%
Toplam Azot Miktarı	mg/kg fırınlanmış kuru çamur
Amonyum Azotu Miktarı	mg/kg fırınlanmış kuru çamur
Nitrat Azotu Miktarı	mg/kg fırınlanmış kuru çamur
Toplam Fosfor Miktarı	mg/kg fırınlanmış kuru çamur
Ağır Metaller (Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, As, Mn ve Hg)	mg/kg fırınlanmış kuru çamur
Bakteri ölçümler (Toplam Koliform, Fekal Koliform,HPC)	Miktar/ fırınlanmış kuru g çamur

### 3.2.2 Arıtma Çamurunun Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarına Serilmesi

Arıtma Çamurları 8 adet 50cm x 122 cm'lik alana sahip bölmelere serilmiştir. Birinci havuzlarda, sadece işlenmemiş çamur yayılmıştır. İkinci havuzlarda ise, işlenmemiş çamura sönmemiş kireç (KM'de % 15) eklenmiştir. Üçüncü havuzlarda da, işlenmemiş çamura TSK (KM'de %40) eklenmiştir. Dördüncü havuzlarda da, işlenmemiş çamura sönmemiş kireç (KM'de % 6-7) ve TSK (KM'de %40) eklenmiştir. Çamurlar günde iki kez kürek kullanılarak elle karıştırılmıştır. Kapalı sistem yaz haricindeki dönemlerde açık sistemden önce kurumaktadır. Deneyin süresini kapalı sistemde serili bulunan çamurların hedef katı madde oranına ulaşmaları belirlemiştir. Bölmeler ile ilgili ayrıntılı özellikler aşağıda belirtilmiştir.

**1. Bölme:** Açık sistem de olup, ham arıtma çamuru serilmiştir. 3 mevsim(İlkbahar, Yaz, Sonbahar) boyunca kapalı 5. bölme hedef kuru madde oranını (%75) yakalayana kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre deneyin bitiş süresi olmuştur. Bu süre boyunca haftanın Pazartesi ve Perşembe günlerinde Patojen Mikroorganizma değişimleri izlenmiştir. 1. Bölmeye serilen arıtma çamurunun özellikleri aşağıdaki Çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.2: 1. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler

Deney Elemanları	Değer
Bölme Alanı	1.22 m * 0.50 m = 0,610 m <sup>2</sup>
Serilecek Çamur Yüksekliği	0.25 m
Serilecek Çamur Hacmi	0.1525 m <sup>3</sup> /152.5 litre
Çamurun Öz Kütlesi	907 kg/m <sup>3</sup> *
Serilen Çamur Ağırlığı	138,32 kg
Serilen Çamurun Kuru Ağırlığı	27,66 kg
Serilen Çamurdaki Organik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 60'ı)	16,60 kg
Serilen Çamurdaki İnorganik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 40'ı)	11,06 kg

\* : BUSKİ tarafından İnegöl Çamuru için yapılan içindeki hava boşluğu dahil öz kütle hesabı.

**2. Bölme:** Açık sistem de olup, fırınlanmış kuru çamur ağırlığının % 15'i kadar Sönmemiş Kireç + ham çamur serilmiştir. 3 mevsim(İlkbahar, Yaz, Sonbahar) boyunca 6. bölme hedef kuru madde oranını (%90) yakalayana kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre deneyin bitiş süresi olmuştur. Bu süre boyunca haftanın Pazartesi ve Perşembe günlerinde Patojen Mikroorganizma değişimleri izlenmiştir.

Çizelge 3.3 2. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler

Deney Elemanları	Değer
Bölme Alanı	1.22 m * 0.50 m = 0,610 m <sup>2</sup>
Serilecek Çamur Yüksekliği	0.25 m
Serilecek Çamur + Kireç Hacmi	0.1525 m <sup>3</sup> /152.5 litre
Çamurun Öz Kütlesi	907 kg/m <sup>3</sup> *
Sönmemiş Kirecin Özkütlesi	1050 kg/m <sup>3</sup>
Kuru Ağırlıkça %40 Sönmemiş Kireç + Ham Çamur Öz Kütlesi	911 kg/m <sup>3</sup>
Serilen Çamur Ağırlığı	142,47 kg
Serilen Çamurun Kuru Ağırlığı	31,81 kg
Serilen Çamurun Kirecsiz Kuru Ağırlığı	27,66 kg
Serilen Çamurdaki Organik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 60'ı)	16,60 kg
Serilen Çamurdaki İnorganik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 40'ı)	11,06 kg
Katılan Sönmemiş Kireç Miktarı	4,15 kg

\*: BUSKİ tarafından İnegöl Çamuru için yapılan öz kütle hesabı.

\*\*\*:Teorik hesap.

**3. Bölme:** Açık sistem de olup, fırınlanmış kuru çamur ağırlığının % 40'ı kadar termik santral külü + ham çamur serilmiştir. 3 mevsim(İlkbahar, Yaz, Sonbahar) boyunca 7.bölme hedef kuru madde oranını (%90) yakalayana kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre deneyin bitiş süresi olmuştur. Bu süre boyunca haftanın Pazartesi ve Perşembe günlerinde Patojen Mikroorganizma değişimleri izlenmiştir.

Çizelge 3.4: 3. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler

Deney Elemanları	Değer
Bölme Alanı	1.22 m * 0.50 m = 0,610 m <sup>2</sup>
Serilecek Çamur Yüksekliği	0.25 m
Serilecek Çamur + Kül Hacmi	0.1525 m <sup>3</sup> /152.5 litre
Çamurun Öz Kütlesi	907 kg/m <sup>3</sup> *
Termik santral Külünün Özkütlesi**	1650 kg/m <sup>3</sup>
Kuru Ağırlıkça %40 Termik Santral Külü + Ham Çamur Öz Kütlesi	938 kg/m <sup>3</sup> ***
Serilen Çamur Ağırlığı	149,38 kg
Serilen Çamurun Kuru Ağırlığı	38,72 kg
Serilen Çamurun Külsüz Kuru Ağırlığı	27,66 kg
Serilen Çamurdaki Organik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 60'ı)	16,60 kg
Serilen Çamurdaki İnorganik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 40'ı)	11,06 kg
Katılan Termik Santral Külü Miktarı	11,06 kg

\*: BUSKİ tarafından İnegöl Çamuru için yapılan öz kütle hesabı.

\*\* : Boşluklar dahil.

\*\*\*:Teorik hesap.

**4. Bölme:** Açık sistem de olup, fırınlanmış kuru çamur ağırlığının % 40'ı kadar termik santral külü + pH değerini 12'nin üstüne çıkaracak miktarda sönmemiş kireç + ham çamur serilmiştir. 3 mevsim(İlkbahar, Yaz, Sonbahar) boyunca 8.bölme hedef kuru madde oranını (%90) yakalayana kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre deneyin bitiş süresi olmuştur. Bu süre boyunca haftanın Pazartesi ve Perşembe günlerinde Patojen Mikroorganizma değişimleri izlenmiştir.

Çizelge 3.5: 4. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler

Deney Elemanları	Değer
Bölme Alanı	1.22 m * 0.50 m = 0,610 m <sup>2</sup>
Serilecek Çamur Yüksekliği	0.25 m
Serilecek Çamur + Kül Hacmi	0.1525 m <sup>3</sup> /152.5 litre
Çamurun Öz Kütlesi	907 kg/m <sup>3</sup> *
Termik santral Külünün Özkütlesi**	1650 kg/m <sup>3</sup>
Sönmemiş Kirecin Özkütlesi	1050 kg/m <sup>3</sup>
Kuru Ağırlıkça %40 Termik Santral Külü + Kuru Ağırlıkça %6 Sönmemiş Kireç+ Ham Çamur Öz Kütlesi	939 kg/m <sup>3</sup> ***
Serilen Çamur Ağırlığı	151,04kg
Serilen Çamurun Kuru Ağırlığı	40,38 kg
Serilen Çamurun Külsüz Kuru Ağırlığı	27,66 kg
Serilen Çamurdaki Organik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 60'ı)	16,60 kg
Serilen Çamurdaki İnorganik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 40'ı)	11,06 kg
Katılan Termik Santral Külü Miktarı	11,06 kg
Katılan Sönmemiş Kireç Miktarı	1,66 kg

\*: BUSKI tarafından İnegöl Çamuru için yapılan öz kütle hesabı.

\*\* : Boşluklar dahil.

\*\*\*:Teorik hesap.

**5. Bölme:** Kapalı sistem de olup, ham çamur serilecektir. 3 mevsim(İlkbahar, Yaz, Sonbahar) boyunca bölmenin hedef kuru madde oranını (%75) yakalayana kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre deneyin bitiş süresi olmuştur. Bu süre boyunca haftanın Pazartesi ve Perşembe günlerinde Patojen Mikroorganizma değişimleri izlenmiştir. 5. Bölmedeki serilecek çamur miktarı aşağıdaki Çizelgede verilmiştir. Kapalı sistemin yaz haricindeki dönemlerde açık sistemden önce kuruyacağı düşünülmüştür. Bu bakımdan deneyi kapalı sistemin sonlandıracağı düşünülmüştür.

Çizelge 3.6: 5. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler

Deney Elemanları	Değer
Bölme Alanı	1.22 m * 0.50 m = 0,610 m <sup>2</sup>
Serilecek Çamur Yüksekliği	0.25 m
Serilecek Çamur Hacmi	0.1525 m <sup>3</sup> /152.5 litre
Çamurun Öz Kütlesi	907 kg/m <sup>3</sup> *
Serilen Çamur Ağırlığı	138,32 kg
Serilen Çamurun Kuru Ağırlığı	27,66 kg
Serilen Çamurdaki Organik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 60'ı)	16,60 kg
Serilen Çamurdaki İnorganik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 40'ı)	11,06 kg

\* : BUSKI tarafından İnegöl Çamuru için yapılan öz kütle hesabı.

**6. Bölme:** Kapalı sistem de olup, fırınlanmış kuru çamur ağırlığının % 40'ı kadar sönmemiş kireç + ham çamur serilmiştir. 3 mevsim(İlkbahar, Yaz, Sonbahar) bölmenin hedef kuru madde oranını (%90) yakalayana kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre deneyin bitiş süresi



olmuştur. Bu süre boyunca haftanın Pazartesi ve Perşembe günlerinde Patojen Mikroorganizma değişimleri izlenmiştir. Kapalı sistemin yaz haricindeki dönemlerde açık sistemden önce kuruyacağı düşünülmüştür. Bu bakımdan deneyi kapalı sistemin sonlandıracağı düşünülmüştür.

Çizelge 3.7: 6. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler

Deney Elemanları	Değer
Bölme Alanı	1.22 m * 0.50 m = 0,610 m <sup>2</sup>
Serilecek Çamur Yüksekliği	0.25 m
Serilecek Çamur + Kireç Hacmi	0.1525 m <sup>3</sup> /152.5 litre
Çamurun Öz Kütlesi	907 kg/m <sup>3</sup> *
Sönmemiş Kirecin Özkütlesi	1050 kg/m <sup>3</sup>
Kuru Ağırlıkça %40 Sönmemiş Kireç + Ham Çamur Öz Kütlesi	911 kg/m <sup>3</sup>
Serilen Çamur Ağırlığı	142,47 kg
Serilen Çamurun Kuru Ağırlığı	31,81 kg
Serilen Çamurun Kireçsiz Kuru Ağırlığı	27,66 kg
Serilen Çamurdaki Organik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 60'ı)	16,60 kg
Serilen Çamurdaki İnorganik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 40'ı)	11,06 kg
Katılan Sönmemiş Kireç Miktarı	4,15 kg

\*: BUSKİ tarafından İnegöl Çamuru için yapılan öz kütle hesabı.

**7. Bölme:** Kapalı sistem de olup, fırınlanmış kuru çamur ağırlığının % 40'ı kadar termik santral külü + ham çamur serilmiştir. 3 mevsim(İlkbahar, Yaz, Sonbahar) bölmenin hedef kuru madde oranını (%90) yakalayana kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre deneyin bitiş süresi olmuştur. Bu süre boyunca haftanın Pazartesi ve Perşembe günlerinde Patojen Mikroorganizma değişimleri izlenmiştir. Kapalı sistemin yaz haricindeki dönemlerde açık sistemden önce kuruyacağı düşünülmüştür. Bu bakımdan deneyi kapalı sistemin sonlandıracağı düşünülmüştür.

Çizelge 3.8: 7. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler

Deney Elemanları	Değer
Bölme Alanı	1.22 m * 0.50 m = 0,610 m <sup>2</sup>
Serilecek Çamur Yüksekliği	0.25 m
Serilecek Çamur + Kül Hacmi	0.1525 m <sup>3</sup> /152.5 litre
Çamurun Öz Kütlesi	907 kg/m <sup>3</sup> *
Termik santral Külünün Özkütlesi**	1650 kg/m <sup>3</sup>
Kuru Ağırlıkça %40 Termik Santral Külü + Ham Çamur Öz Kütlesi	938 kg/m <sup>3</sup> ***
Serilen Çamur Ağırlığı	149,38 kg
Serilen Çamurun Kuru Ağırlığı	38,72 kg
Serilen Çamurun Külsüz Kuru Ağırlığı	27,66 kg
Serilen Çamurdaki Organik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 60'ı)	16,60 kg
Serilen Çamurdaki İnorganik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 40'ı)	11,06 kg
Katılan Termik Santral Külü Miktarı	11,06 kg

\*: BUSKİ tarafından İnegöl Çamuru için yapılan öz kütle hesabı.

\*\*\*:Teorik hesap.

**8. Bölme:** Kapalı sistem de olup, fırınlanmış kuru çamur ağırlığının % 40'ı kadar termik santral külü + pH değerini 12'nin üstüne çıkaracak miktarda sönmemiş kireç + ham çamur serilmiştir. 3 mevsim(İlkbahar, Yaz, Sonbahar) boyunca bölmenin hedef kuru madde oranını (%90) yakalayana kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre deneyin bitiş süresi olmuştur. Bu süre boyunca haftanın Pazartesi ve Perşembe günlerinde Patojen Mikroorganizma değişimleri izlenmiştir.

Çizelge 3.9: 8. Bölmeye serilen arıtma çamuru ile ilgili özellikler

Deney Elemanları	Değer
Bölme Alanı	1.22 m * 0.50 m = 0,610 m <sup>2</sup>
Serilecek Çamur Yüksekliği	0.25 m
Serilecek Çamur + Kül Hacmi	0.1525 m <sup>3</sup> /152.5 litre
Çamurun Öz Kütlesi	907 kg/m <sup>3</sup> *
Termik santral Külünün Özkütlesi**	1650 kg/m <sup>3</sup>
Sönmemiş Kirecin Özkütlesi	1050 kg/m <sup>3</sup>
Kuru Ağırlıkça %40 Termik Santral Külü + Kuru Ağırlıkça %6 Sönmemiş Kireç+ Ham Çamur Öz Kütlesi	939 kg/m <sup>3</sup> ***
Serilen Çamur Ağırlığı	151,04kg
Serilen Çamurun Kuru Ağırlığı	40,38 kg
Serilen Çamurun Külsüz Kuru Ağırlığı	27,66 kg
Serilen Çamurdaki Organik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 60'ı)	16,60 kg
Serilen Çamurdaki İnorganik Madde Ağırlığı (Toplam Katı Madde'nin % 40'ı)	11,06 kg
Katılan Termik Santral Külü Miktarı	11,06 kg
Katılan Sönmemiş Kireç Miktarı	1,66 kg

\*: BUSKİ tarafından İnegöl Çamuru için yapılan öz kütle hesabı.

\*\* : Boşluklar dahil.

\*\*\*:Teorik hesap.

Kuruma periyodu süresince hava sıcaklığı ve yağış gibi meteorolojik değişimler izlenmiştir.

Açık ve kapalı sistemde kurutulan tüm çamurlardan Pazartesi ve Perşembe günlerinde örnek alınacak, örneklerde HPC, toplam koliform, fekal koliform, toplam katı madde, toplam organik madde, toplam inorganik madde ve pH analizleri yapılacaktır.

*Öz kütle deneyinin yapılışı(BUSKİ):* 500 ml kabın darası sıfırlanır. 500 ml elde edilene kadar çamur, kül, kireç vb. maddeler eklenir. Tartıdaki ağırlık değeri kaydedilir. Ağırlığın hacme olan oranı bu maddelerin hava boşluğu dahil öz kütlelerini verir. Bu deney 3 kez tekrarlanır ve 3 değerın ortalamaları alınır.

### **3.2.3 Açık ve Kapalı Kurutma Prosesleri Süresince Bakteri Sayılarında Meydana Gelen Değişimlerin İzlenmesi**

Çamurun mikrobik açıdan stabilize edilme düzeyini belirlemek amacıyla, sırasıyla 3 ile 7 gün de bir periyodik olarak, işlenmemiş çamur, sönmemiş kireç ve/veya uçucu kül katılmış arıtma çamurlarında toplam koliform, fekal koliform ve HPC sayıları belirlenmiştir.

#### **3.2.3.1 Numunenin Ekime Hazırlanması**

Deneyde kullanılan kimyasal sarf malzemelerin hepsi otoklavda 121°C'de 15 dakika steril edilmiştir. Bunun yanında HPC deneyinde kullanılan petripler 200°C'de etüvde 2 saat bekletilmiştir. Bölmelerin 7 farklı noktasından çamur örnekleri alınmış ve karıştırılmıştır. Alınan çamur örneklerinin seyreltilmesinde kullanılmak üzere, mikroorganizmalar için gerekli mikronutrientleri içeren Ringer çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözeltinin bir kısmı seyreltmeleri yapmak amacı ile 150 mm uzunluğunda ve 15 mm genişliğindeki tüplere 9'ar ml gelecek şekilde konulmuştur. Bu sayede numuneden 1 ml konulması sonucu 10 katlık bir seyreltme elde edilmiş olmaktadır. Çamurun ilk seyreltmesini yapmak üzere 100 ml hacimli numune alma şişesi hassas terazi üzerine konulmuş ve sıfırlanmıştır ve şişesinin içine bölmelerden alınan çamur örneğinden 1 g tartılmış ve 100 g'a steril ringer çözeltisi ile tamamlanmıştır ve tamamlanan süspansiyonu içeren şişe, homojene yakın karışımın sağlanması için çalkalayıcıda 15 dakika süre ile çalkalanmıştır. Bu sayede 10<sup>2</sup> mertebesinde seyreltme yapılmıştır. Buradan alınan karışımın Ringer tüplerine 1'er ml konulması ile istenilen miktarda seyreltme yapılmıştır.

#### **3.2.3.2 Fekal Koliform Sayımları**

Fekal koliform sayımları, Standart Metotlarca verilmiş olan En Muhtemel Sayı Yöntemi ile (APHA, AWWA & WEF 1998) gerçekleştirilmiştir. Sayım için MERCK Marka A1 Broth besi yeri kullanılmıştır.

Bu besi yeri 100/3,15 oranında sulandırılarak ekim için gerekli besi yeri çözeltisi elde edilmiştir. Bu çözeltiden 150 mm uzunluğunda ve 15 mm genişliğindeki tüplere 9'ar ml konulmuştur. Aşılınmış tüpler 44.5 ± 0.2 ° C'de, 24 ± 2 saat boyunca inkübe edilmiştir. Sonuçlar 100 mL'de MPN olarak alınmış, sonra da MPN/kuru madde'ye dönüştürülmüştür.

### 3.2.3.3 Toplam Koliform Sayımları

Toplam koliform sayımları da, Standart Metotlarca verilmiş olan En Muhtemel Sayı Yöntemi ile (APHA, AWWA & WEF 1998) gerçekleştirilmiştir. Sayım için Brilliant Green Bile Broth kullanılmıştır.

Bu besi yeri 100/4,00 oranında sulandırılarak ekim için gerekli besi yeri çözeltisi elde edilmiştir. Bu çözeltiden 150 mm uzunluğunda ve 15 mm genişliğindeki tüplere 9'ar ml konulmuştur. Aşılınmış tüpler  $37,5 \pm 0,2$  °C'de 48 saat boyunca kuluçkaya yatırılmıştır. Sonuçlar 100 mL'de MPN olarak alınmış, sonra da MPN/kuru madde'ye dönüştürülmüştür.

### 3.2.3.3 HPC Sayımları

Çamur örneklerindeki HPC ise, Standart Metotlarca verilmiş olan Petri Sayım Agarı (Tryptone  $5.0 \text{ g l}^{-1}$ , Maya Özü  $2.5 \text{ g l}^{-1}$ , Glucose (Glikoz)  $1.0 \text{ g l}^{-1}$ , Agar  $9.0 \text{ g l}^{-1}$ ) (APHA, AWWA & WEF 1998) üzerinde doğrudan petrileme yöntemi yoluyla yapılmıştır. Bu besi yeri 100/1,75 oranında sulandırılarak ekim için gerekli besi yeri çözeltisi elde edilmiştir. Her seyrelme için iki kopya petri hazırlanmıştır. Ekimler Steril Ultra Fitreli Emniyet Kabini'nde yapılmıştır. Sayımların sonuçları 100 mL başına koloni oluşturan birim cinsinden elde edilmiş ve sonra da çamurdaki 1 gram kuru maddede CFU'ya çevrilmiştir.

### 3.2.4 Deney Süreci Boyunca Fiziksel, Kimyasal ve Meteorolojik Bazı Değişimlerin İzlenmesi

Deney süreci boyunca pH, toplam katı madde, toplam organik madde ve toplam inorganik madde tayinleri yapılmıştır. Ayrıca hava sıcaklığı, yağış parametreleri de deney süreci boyunca ölçülmüştür.

Aritma Çamuru pH'ı 1:5 çamur su ekstraktında potansiyometrik olarak cam elektrodlu pH metre ile belirlenmiştir.

Toplam Katı Madde Standart Metotlarca belirlenmiş (APHA, AWWA & WEF 1998) metod olan sabit tartıma getirilen krozelere içine konulan örneğin kuruyana kadar su banyosunda bekletilip 105 °C'de 1 saat tutulması sureti ile ölçülmüştür.

Toplam İnorganik Madde ise Standart Metotlarca belirlenmiş (APHA, AWWA & WEF 1998) metod olan 550 °C'de 1 saat yakılması prensibine dayanmıştır. Toplam Organik Madde ise hesap metodu ile, Toplam Katı Madde ağırlığının, Toplam İnorganik Madde Ağırlığından çıkartılması ile elde edilmiştir.

Hava sıcaklığı kurutma süresince Onset Computer H21-001 HOBO meteoroloji istasyonu ile ölçülerek ortalamalar veri derleyiciye kaydedilmiştir. İç ortam sıcaklık değerleri de Onset Computer H21-002 HOBO Mikro istasyon ile ölçülerek ortalamalar veri derleyiciye aktarılmıştır. Düşen yağış miktarları içinse Regenmesser nach Prof. Hellmann  $\leq 0,1$  mm, pluviometer kullanılmıştır. Uluslararası Meteoroloji Örgütüncü kabul edilen ölçüm esaslarına göre meteorolojik rasatlar günde 3 kere 07:00, 14:00, 21:00 saatlerinde yapılmıştır.

### **3.2.5 Açık ve Kapalı Sistemlerde Kurutulan Çamurlarda Nem İçeriğindeki Artışa Bağlı olarak Oluşabilecek Potansiyel Bakteri Büyümesinin Kıyaslanması**

Bu kısımda çamurun kuruma süresine bağlı olarak 7 günde 1 defa ,

- 1) Kapalı ve Açık sistemde kurutulan ham çamurlardan
- 2) Kapalı ve Açık sistemde kurutulan çamur + kül karışımlarından
- 3) Kapalı ve Açık sistemde kurutulan çamur + kireç karışımlarından
- 4) Kapalı ve Açık sistemde kurutulan çamur + kireç + kül karışımlarından

20 gr kuru çamur tartılarak 100 ml'lik behere konarak ve açık sistemdeki 4 bölme için % 30 kapalı sistemdeki 4 bölme için %20, tüm bölmeler içinse %50 ve %90 nem oranını sağlayacak miktarda saf steril su beherlere eklenerek homojen bir karışım elde etmek üzere çamurlar karıştırılmıştır.

Farklı oranlarda nemlendirilen çamurlar 25°C'ye ayarlı inkübatöre konulmuş ve 14 gün süreyle nemin sabit kalmasına özen gösterilmiş ve inkübe edilmiştir. (İnkübasyonun başlangıcında nemli çamur + beher ağırlığı not edilmiş. Her gün beherler tartılmış, azalan ağırlık kadar steril saf su beherlere eklenmiştir.)

14 günlük inkübasyon döneminin 7. ve 14. gününde örnek alınarak, HPC, toplam koliform, fekal koliform deneyleri yapılmıştır. (7. Gün örnek alımından sonra yeni çamur + beher ağırlığı not edilmiştir, eklenecek saf su miktarı bu değer baz alınarak hesaplanmıştır.)

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Ham Çamurun Karakterizasyonu

Çalışma kapsamında kullanılan İnegöl Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarına serilen arıtma çamurlarının bazı Fiziksel ve Kimyasal özellikleri

Parametre	Birim	İnegöl Arıtma Çamuru		
		10.03.2005	06.07.2005	23.08.2005
pH		7,19	7,18	8,12
Toplam Katı Madde	%	21,36	21,93	21,63
Toplam Organik Madde	%	60,75	60,52	57,69
Toplam İnorganik Madde	%	39,25	39,48	42,31
Toplam Azot (Top-N)	%	3,28	3,78	5,38
Amonyak Azotu (NH <sub>3</sub> -N)	%	0,06	0,38	0,86
Toplam Fosfat Fosforu (PO <sub>4</sub> -P)	%	1,65	0,70	2,69
Hg	mg/kg	0,2	0,2	0,2
Pb	mg/kg	25	31	29
Cu	mg/kg	303	237	388
Zn	mg/kg	416	448	541
Ni	mg/kg	120	94	128
Cr	mg/kg	286	330	321
Cd	mg/kg	2	1	2
As	mg/kg	40	47	45
Mn	mg/kg	194	155	165

Çizelge 4.1’deki değerler incelendiğinde 3 farklı mevsimde İnegöl arıtma çamurunun pH değerlerinin Mart ve Haziran döneminde hemen hemen aynı olduğu (7,19 ve 7,18), fakat Eylül çalışmasında biraz yükseldiği belirlenmiştir (8,12). Toplam katı madde içerikleri incelendiğinde 3 dönem için elde edilen belt pres çıkışı çamurlarının toplam katı madde içeriklerinin hemen hemen aynı oldukları belirlenmiştir (%21,36, %21,93 ve %21,63). Toplam organik madde değerleri incelenirse İnegöl çamurunun organik bir özellik taşıdığı görülebilir (%60 Organik Madde). Mart ve Haziran dönemlerinde toplam organik madde değerleri birbirine yakın iken, Eylül dönemi değeri daha düşüktür ( %60,75 , %60,52 ve %57,69). Toplam Azot parametresi değerleri 3 dönemde alınan çamurlar için farklılık

göstermektedir (% 3,28, % 3,78 ve % 5,38). Toplam Fosfor değerleri açısından da aynı salınım gözlemlenmektedir ( %1,65, % 0,70 ve %2,69). Bu değerler bize bu çamurun nutrient seviyeleri açısından dengesiz bir çamur olduğunu göstermektedir. Aynı dengesizlik çamurun Amonyak Azotu parametresinde de gözlemlenmektedir (% 0,06, %0,38 ve %0,86).

Mart numunesinde hava sıcaklığının düşük olması biyolojik aktivitenin yavaş gerçekleşmesini sağlamıştır. Bu da çamurdaki amonifikasyonun yavaş olmasını ve Mart ayında alınan çamurdaki NH<sub>3</sub>- N konsantrasyonunun diğer dönemlere göre düşük olmasını sağlamıştır.

Çamurun 3 dönemdeki ağır metal konsantrasyonları incelenirse, değerlerin hiçbirinin yönetmeliklerde belirlenmiş ve ANONİM 1999a. Belirtilen sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Bu da bize çamurun evsel nitelikte bir karektere sahip olduğunu göstermektedir.

## **4.2. Uygulanan Stabilizasyon Yöntemlerinin Değerlendirilmesi**

### **4.2.1 Çevresel Faktörlerin Çeşitli Stabilizasyon Maddeleri Katılmış Arıtma Çamurunun Kuruma Sürecine Olan Etkileri**

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamurunun ortam sıcaklığı ve yağışa göre açık ve kapalı sistemlerdeki kuruma seviyeleri Mart çalışması için Çizelge 4.2, Haziran çalışması için Çizelge 4.3'te ve Eylül çalışması için Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.2: Mart çalışması Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	10.03.2005		3,4	8,8	21,36	21,36
7	16.03.2005	1,0	8,8	15,0	24,11	23,52
14	23.03.2005	4,7	9,5	14,4	28,00	30,99
21	30.03.2005	0,2	14,1	18,4	33,32	38,16
28	06.04.2005	1,2	6,2	12,0	38,52	41,20
35	13.04.2005		18,3	24,2	47,79	60,67
43	21.04.2005	3,7	19,0	25,4	58,00	87,48
52	30.04.2005	5,8	14,2	19,6	70,11	94,22
Ortalama			12,9	18,5		

Çizelge 4.3: Haziran çalışması Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	07.06.2005		24,5	27,5	21,93	21,93
7	13.06.2005	15,6	21,0	25,1	25,95	26,54
10	16.06.2005	0,5	21,3	26,0	28,32	31,98
18	24.06.2005	2,6	22,2	26,0	38,88	66,66
23	29.06.2005		22,3	25,8	64,89	85,02
25	01.07.2005		25,5	28,2	71,11	87,62
30	06.07.2005	90,0	22,5	27,4	45,05	94,83
37	13.07.2005		26,1	29,5	75,69	97,14
Ortalama			23,0	26,8		



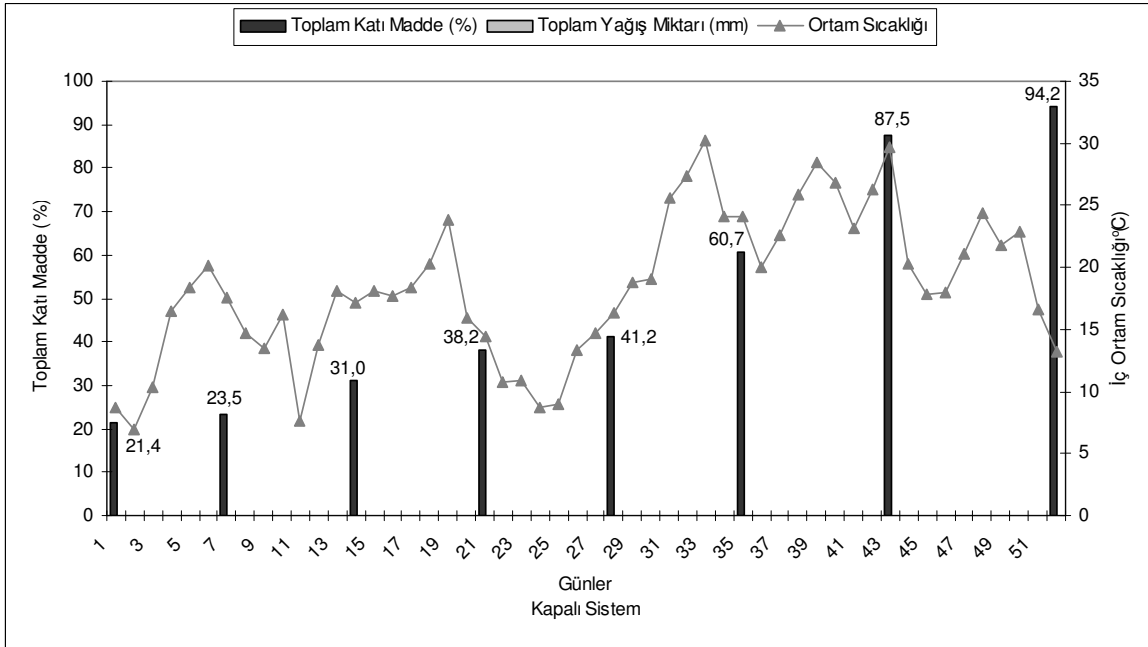
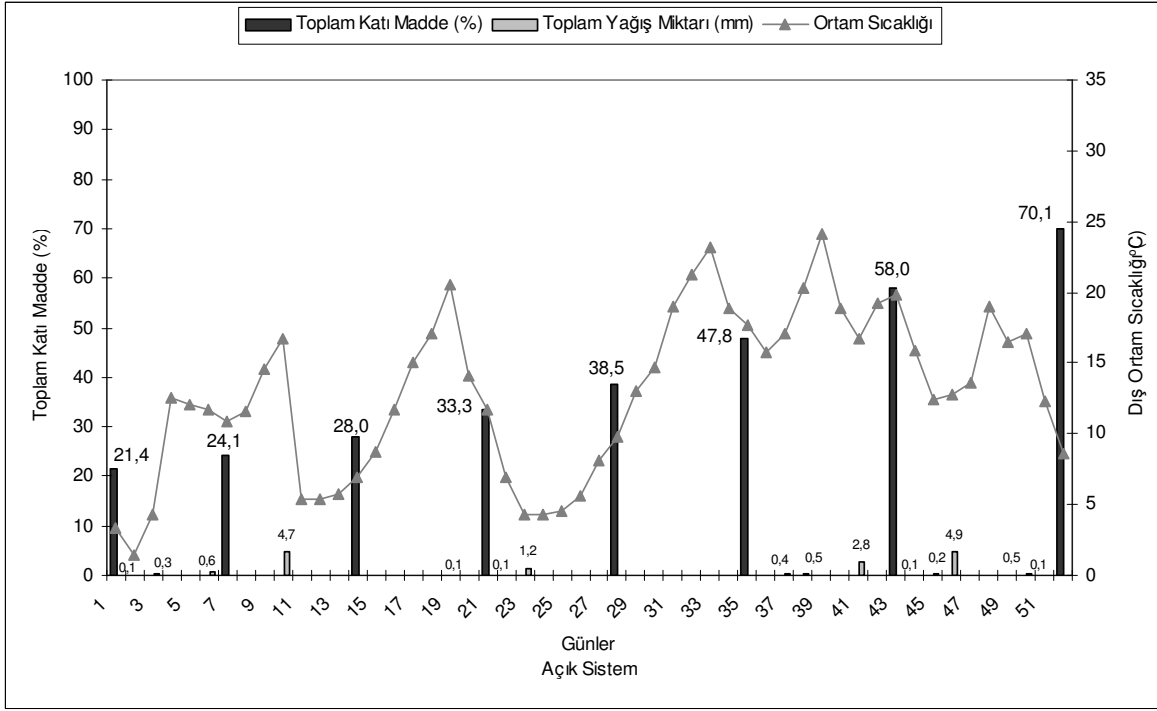
Çizelge 4.4: Eylül çalışması Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	23.08.2005		25,4	32,9	21,63	21,63
7	29.08.2005		25,7	32,2	34,96	29,61
14	05.09.2005	6,9	22,6	29,1	36,00	37,61
21	12.09.2005		21,9	29,0	41,83	46,90
28	19.09.2005	49,9	23,1	30,0	39,48	58,79
35	26.09.2005	1,1	19,7	25,7	43,38	46,01
42	03.10.2005	35,5	18,6	24,3	42,65	73,62
49	10.10.2005		17,0	23,3	49,14	76,63
59	20.10.2005	7,5	13,2	18,3	41,66	88,79
Ortalama			19,9	26,1		

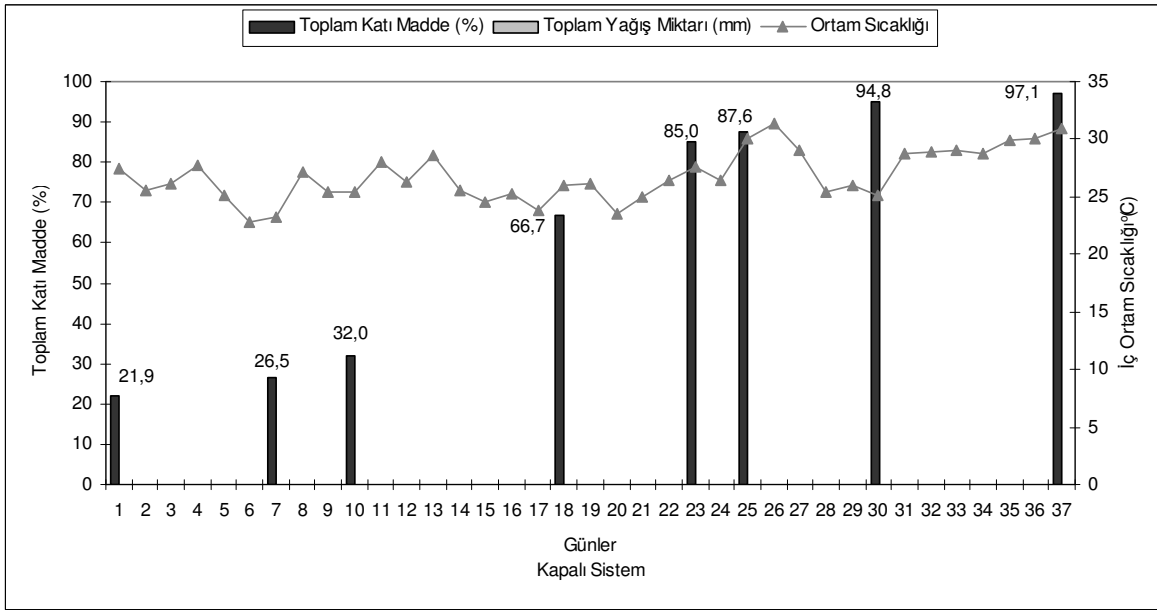
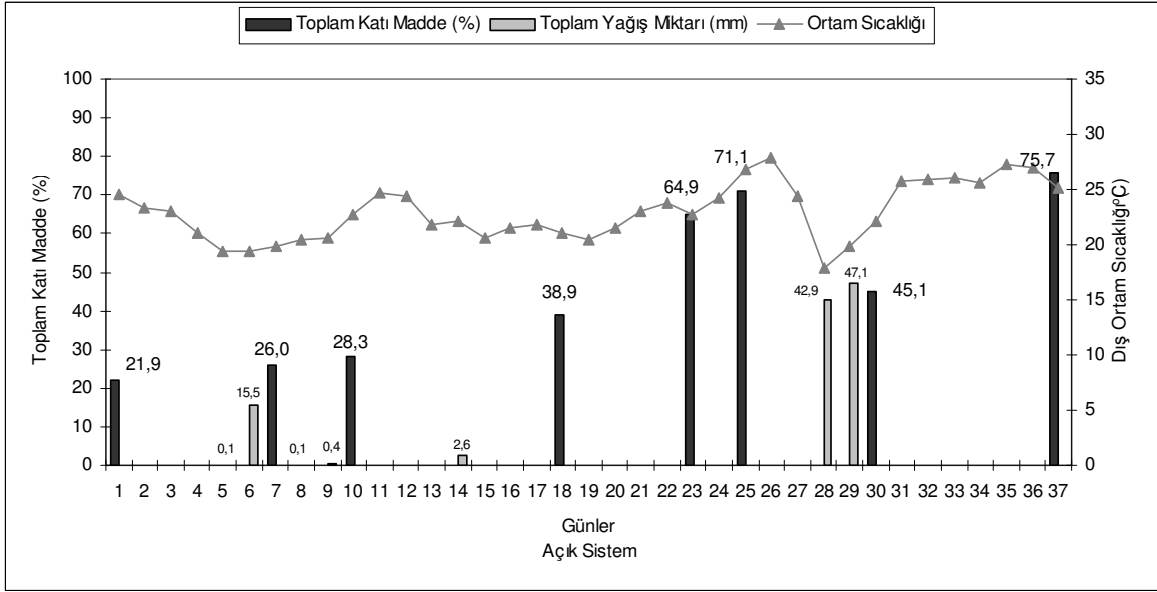
Mart döneminde çamur ilk serildiğinde % 21.36 olan toplam katı madde 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %70,11'e, kapalı sistemde %94,22'ye yükselmiştir. Bu dönemde açık sistem ortam sıcaklığı ortalama 12,9 °C olarak gerçekleşirken, kapalı sistemde 18,5°C olarak gerçekleşmiştir. Mart döneminde toplam 16,6 mm yağış gerçekleşmiştir. Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.1'de verilmiştir.

Haziran döneminde çamur ilk serildiğinde % 21.93 olan toplam katı madde 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %75,69'e, kapalı sistemde %97,14'ye yükselmiştir. Bu dönemde açık sistem ortam sıcaklığı ortalama 23,0 °C olarak gerçekleşirken, kapalı sistemde 26,8°C olarak gerçekleşmiştir. Haziran döneminde toplam 108,7 mm yağış gerçekleşmiştir. Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.2'de verilmiştir.

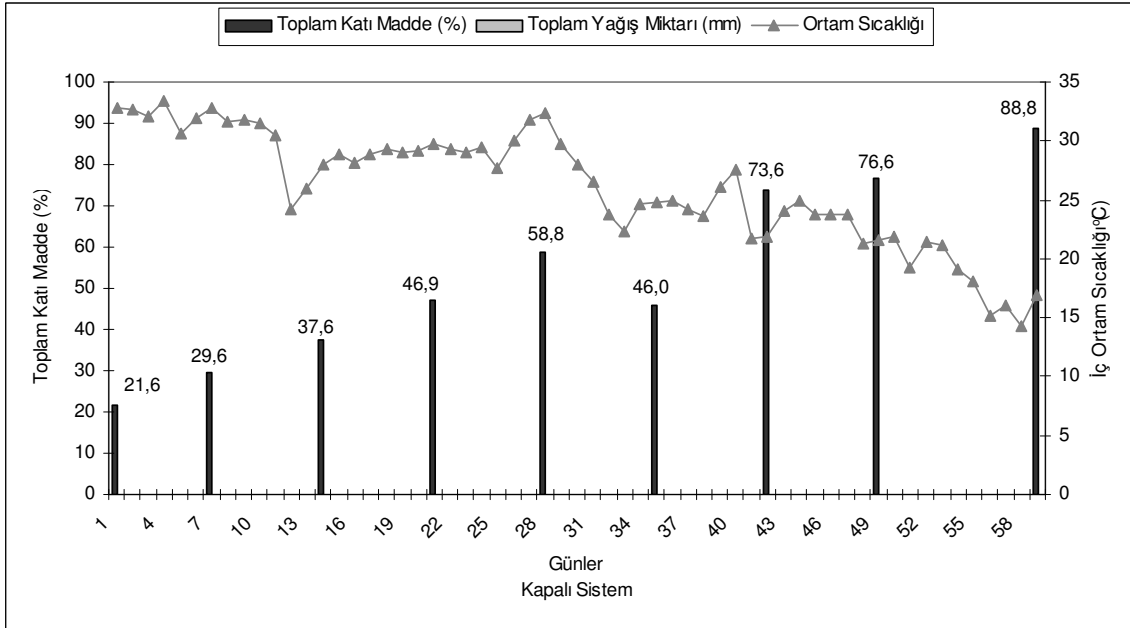
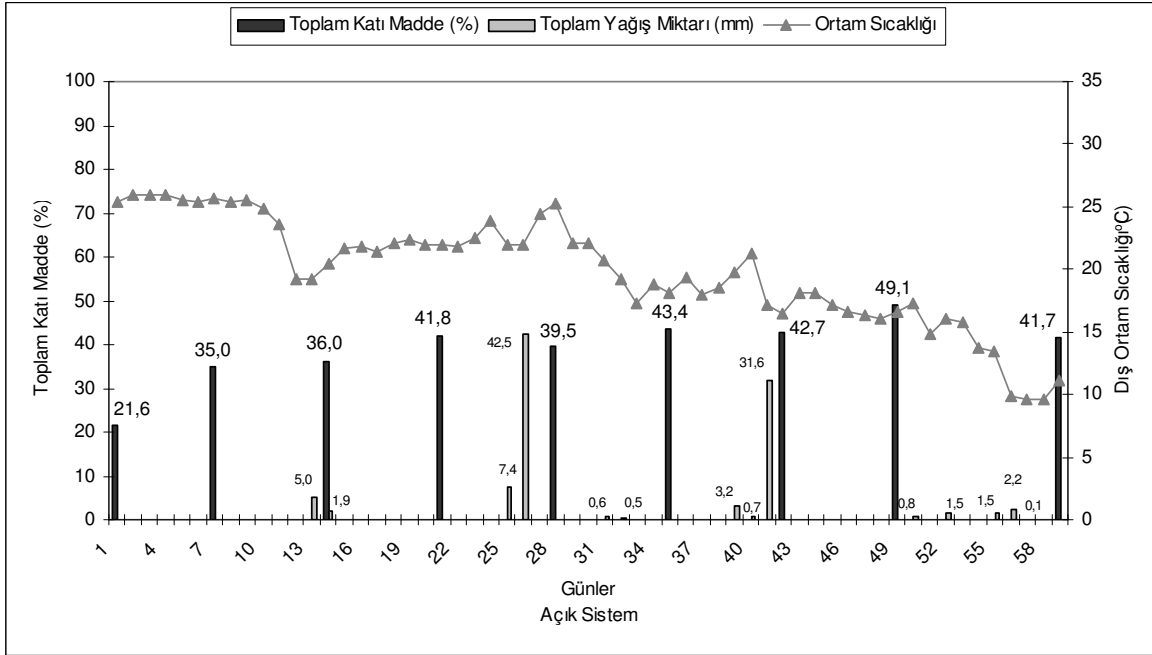
Eylül döneminde çamur ilk serildiğinde % 21,63 olan toplam katı madde 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %41,66'e, kapalı sistemde %88,79'ye yükselmiştir. Bu dönemde açık sistem ortam sıcaklığı ortalama 19,9 °C olarak gerçekleşirken, kapalı sistemde 26,1°C olarak gerçekleşmiştir. Eylül döneminde toplam 100,9 mm yağış gerçekleşmiştir. Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.1: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.



Şekil 4.2: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.



Şekil 4.3: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.

Açık ve kapalı sistemde Ham İnegöl Arıtma Çamurunun kurutulmasında, yılın hemen her döneminde, kapalı kurutma sisteminin açık kurutma sistemine göre kurutma veriminde ve ürünün kalitesinde belirgin bir üstünlüğü olduğu gözlemlenmektedir. Çizelge 4.2, 4.3 ve

4.4'de gözlemlendiği üzere, çamurun kapalı ortamda kurutulması sonucunda, çamur hacmi % 75'e varan oranda azalmaktadır.

Bux ve ark. 2002. yaptıkları çalışmada, kapalı kurutma yatağı sistemlerinin, açık kurutma yatağı sistemlerine göre metrekare de 3 kat'a kadar daha hızlı bir kurutma hızına sahip olduğunu belirtmiştir. Bizim çalışmamızda 3 dönem de her iki sistem için kuruma değerleri incelenirse bu hıza yakın kuruma hızlarının gerçekleştiği görülür. Özellikle Çizelge 4.4'de bu hız farkı daha belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu hız farkının başlıca sebebi açık kurutma yatağı sisteminin atmosfere açık olmasıdır. Özellikle Eylül döneminde meydana gelen 100,9 mm'lik toplam yağış ve Haziran dönemine göre düşük olan sıcaklık, açık kurutma yatağına serili çamurun kurumasını engellemiş ve kuruma değerinin % 41,7'de kalmasını sağlamıştır.

Fakat Haziran çalışmasında açık sistemde, Eylül dönemi ile hemen hemen aynı miktarda yağış gerçekleşmesine rağmen meydana gelen kuruma miktarı % 75,7 değerine yükselmiştir. Bunun sebebi de iki dönem arasındaki sıcaklık farkıdır. 28 ve 29. günlerde (4-5 Temmuz) meydana gelen toplam 90,0 mm yağış sonrası toplam katı madde değeri hızla %71,1'den % 45,1 değerine düşmüştür. Fakat ondan sonraki 7 gün boyunca ortalama sıcaklığın 26,1 °C'ta olması sebebi ile toplam katı madde hızla % 75,7 değerine yükselmiştir. Ama Eylül döneminde 28. gün'de (19 Eylül) yağın 42,5 mm yağış sonrası % 39,5 değerine düşen toplam katı madde, çeşitli zamanlarda yağın 44,1 mm yağış ve 28. gün, 59. gün arası ortalama sıcaklığın 17,1 °C'ta kalması ve hatta son 7 gün 13,2 °C olması sebebi ile kurumunun ancak % 41,7 değerine yükselmesini sağlamıştır.

Açık kurutma yataklarında bu olaylar meydana gelirken, kapalı kurutma yataklarında sorunsuzca % 90'a varan hatta geçen kuruma değerleri rahatlıkla gözlemlenmiştir. Kapalı sistemi, açık sisteme göre karşılaştırdığımızda 3 dönemde iç ortamda gerçekleşen ortalama sıcaklıkların dış ortama göre 4-6 °C daha yüksek olduğu gözlemlenebilir. Buradan rahatlıkla yüksek sıcaklığın ve yağıştan etkilenmemenin kuruma sürecini hızlandırdığını söyleyebiliriz. Ama Kapalı sistemleri birbirleriyle karşılaştırdığımızda özellikle Mart ve Eylül döneminde bu söylediğimize ters koşulların gerçekleştiğini gözlemleyebiliriz. Çünkü Eylül döneminde, 59 gün neticesinde % 88,8'lik katı madde değerine, 26,1 °C ortalama sıcaklık değeri ile ulaşılırken, Mart döneminde 52 gün neticesinde, % 94,2'lik katı madde değerine 18,5 °C sıcaklık ile ulaşılabilmiştir. Bux ve ark. 2002. yaptıkları çalışmada güneş radyasyonunun kuruma ve sıcaklık üzerindeki ve etkilerini belirlemişlerdir. Buna göre yüksek nem, düşük güneş radyasyonu kurumayı olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple Eylül çalışmasında, Mart

dönemine göre daha yüksek ortalama sıcaklık ve kuruma süresi olmasına rağmen elde edilen toplam katı madde sonuçları daha düşük kalmaktadır.

Açık ve kapalı kurutma sistemlerinin karşılaştırmalı verimleri, farklı tip ve oranlarda katkı maddesi katılmış üç ayrı deneyde de bir kez daha karşılaştırılmıştır (%15 Sönmemiş Kireç, % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve % 40 Termik Santral Uçucu Külü ile birlikte % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru). Bu deneylerin karşılaştırmalı sonuçları aşağıda verilmiştir.

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Kati Maddece %15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamurunun ortam sıcaklığı ve yağışa göre açık ve kapalı sistemlerdeki kuruma seviyeleri Mart çalışması için Çizelge 4.5, Haziran çalışması için Çizelge 4.6'te ve Eylül çalışması için Çizelge 4.7'te verilmiştir.

Çizelge 4.5: Mart çalışması % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	10.03.2005		3,4	8,8	21,36	21,36
7	16.03.2005	1,0	8,8	15,0	27,23	36,53
14	23.03.2005	4,7	9,5	14,4	32,20	37,00
21	30.03.2005	0,2	14,1	18,4	35,00	41,04
28	06.04.2005	1,2	6,2	12,0	39,29	44,64
35	13.04.2005		18,3	24,2	54,60	65,80
43	21.04.2005	3,7	19,0	25,4	63,48	89,13
52	30.04.2005	5,8	14,2	19,6	74,01	94,97
Ortalama			12,9	18,5		

Çizelge 4.6: Haziran çalışması % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	07.06.2005		24,5	27,5	21,93	21,93
7	13.06.2005	15,6	21,0	25,1	26,93	26,43
10	16.06.2005	0,5	21,3	26,0	40,44	40,85
18	24.06.2005	2,6	22,2	26,0	46,84	70,96
23	29.06.2005		22,3	25,8	70,00	79,14
25	01.07.2005		25,5	28,2	75,04	86,66
30	06.07.2005	90,0	22,5	27,4	55,19	84,77
37	13.07.2005		26,1	29,5	77,77	96,89
Ortalama			23,0	26,8		

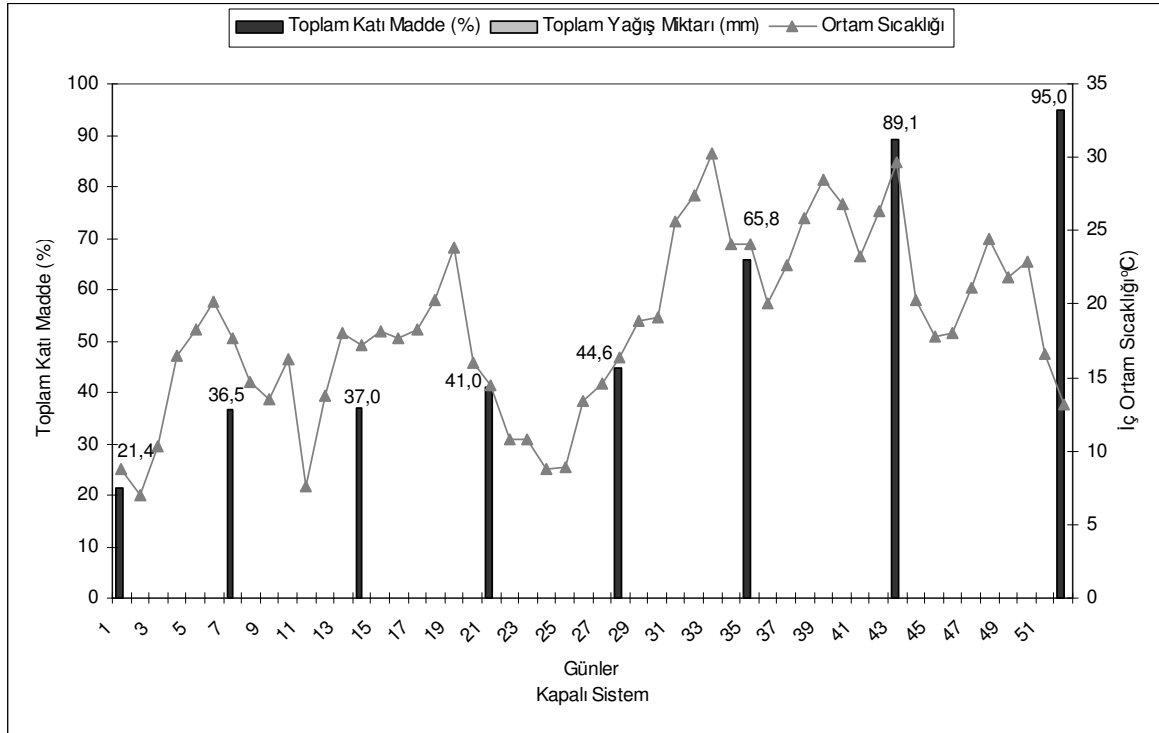
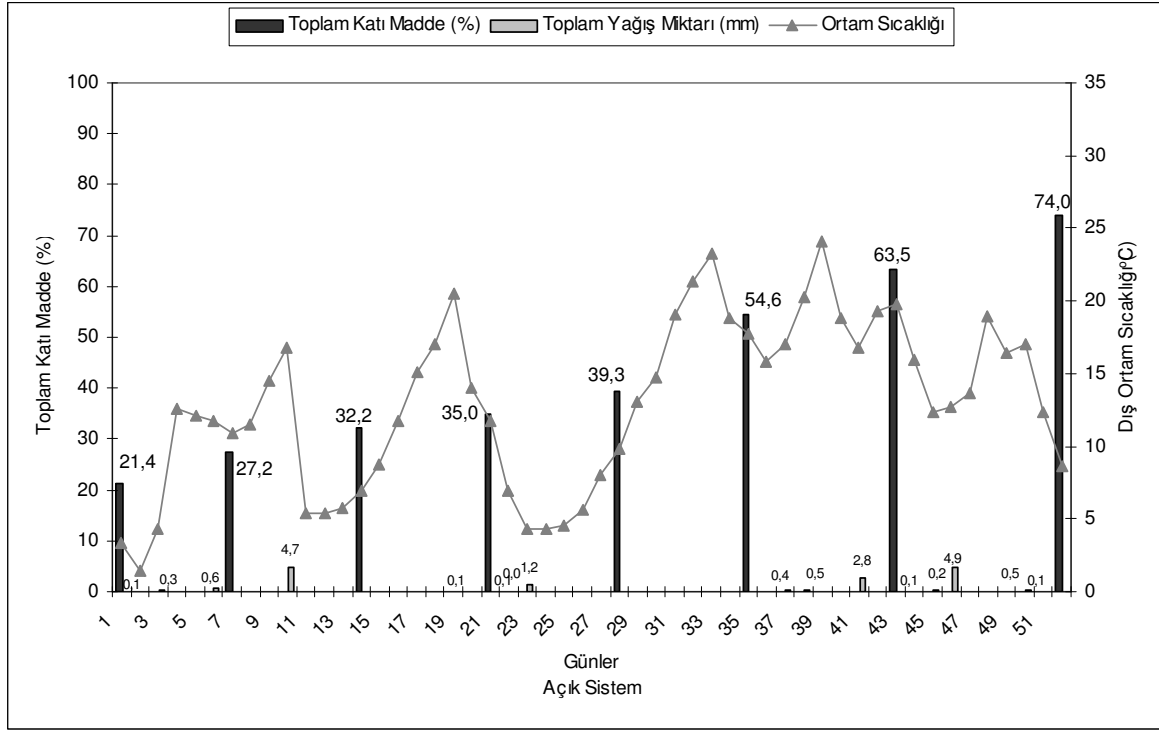
Çizelge 4.7: Eylül çalışması % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	23.08.2005		25,4	32,9	21,63	21,63
7	29.08.2005		25,7	32,2	37,88	41,55
14	05.09.2005	6,9	22,6	29,1	41,08	45,20
21	12.09.2005		21,9	29,0	48,33	55,02
28	19.09.2005	49,9	23,1	30,0	51,66	60,12
35	26.09.2005	1,1	19,7	25,7	58,56	67,55
42	03.10.2005	35,5	18,6	24,3	56,17	77,95
49	10.10.2005		17,0	23,3	56,66	80,55
59	20.10.2005	7,5	13,2	18,3	49,25	90,32
Ortalama			19,9	26,1		

Mart döneminde çamur ilk serildiğinde % 21.36 olan toplam katı madde 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %74,01'e, kapalı sistemde %94,97'ye yükselmiştir. Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.4'de verilmiştir.

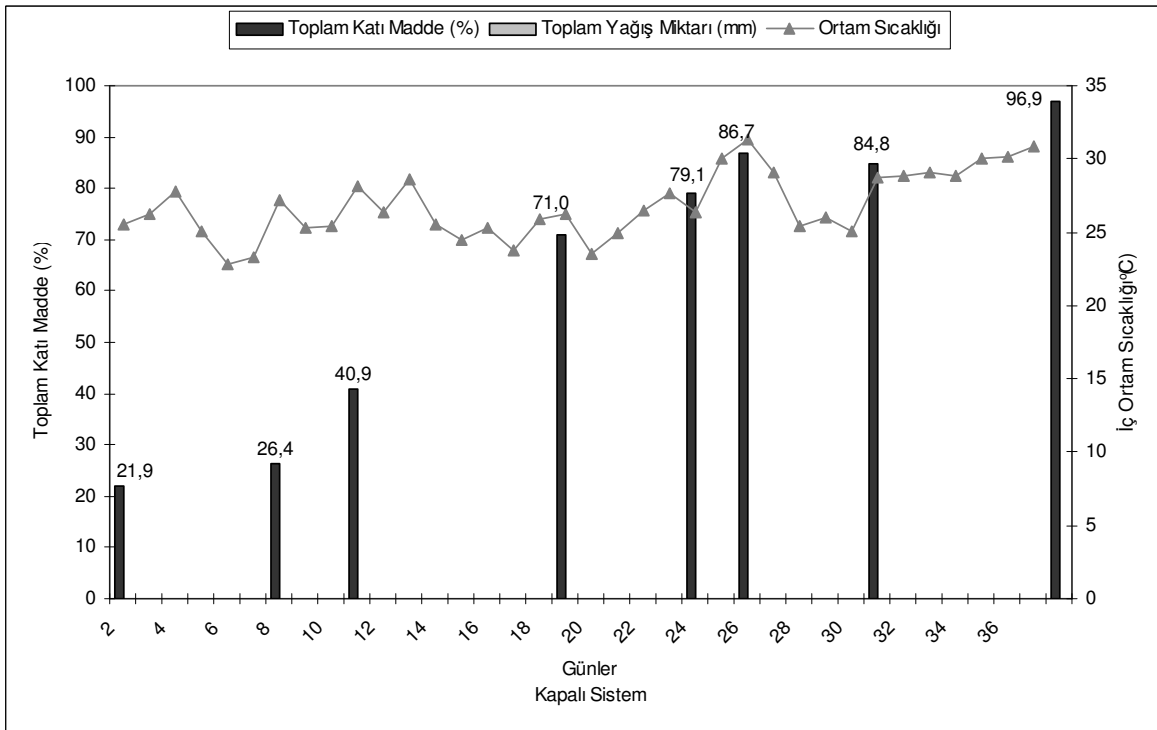
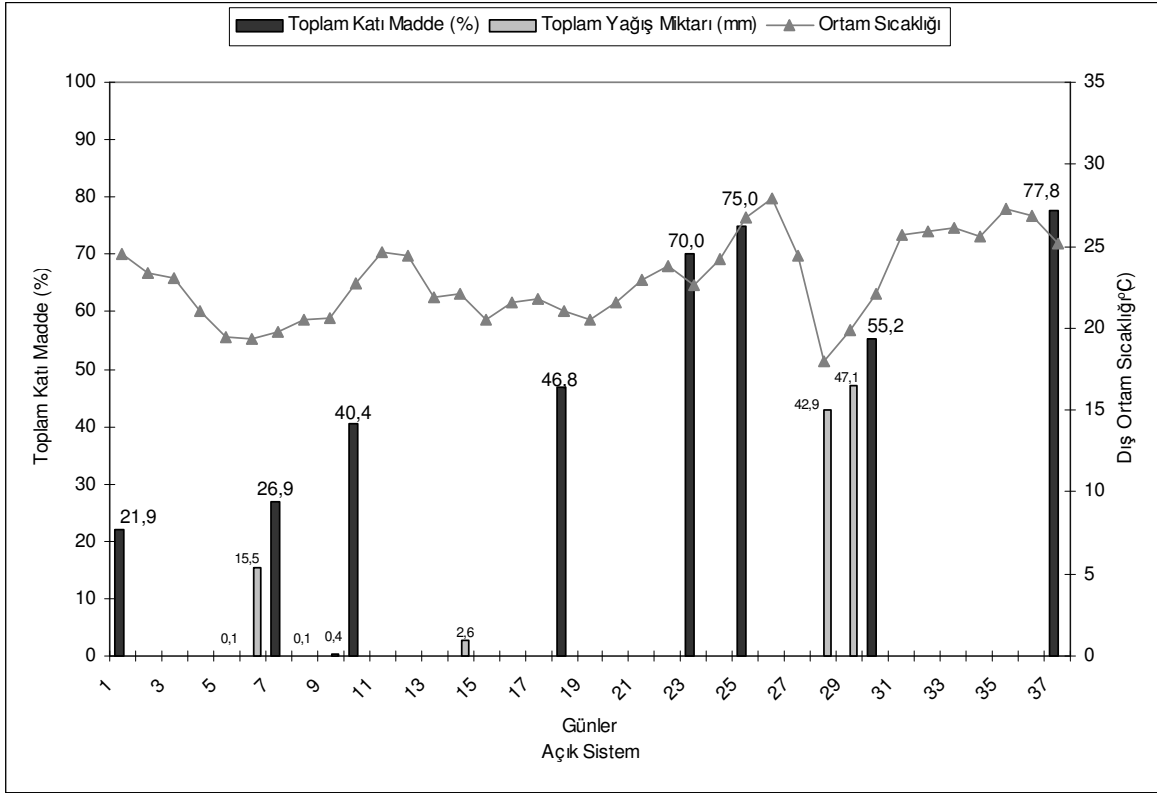
Haziran döneminde çamur ilk serildiğinde % 21.93 olan toplam katı madde 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %77,77'ye, kapalı sistemde %96,89'ye yükselmiştir. Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.5'de verilmiştir.

Eylül döneminde çamur ilk serildiğinde % 21,63 olan toplam katı madde 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %49,25'e, kapalı sistemde %90,32'ye yükselmiştir. Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.6'te verilmiştir.

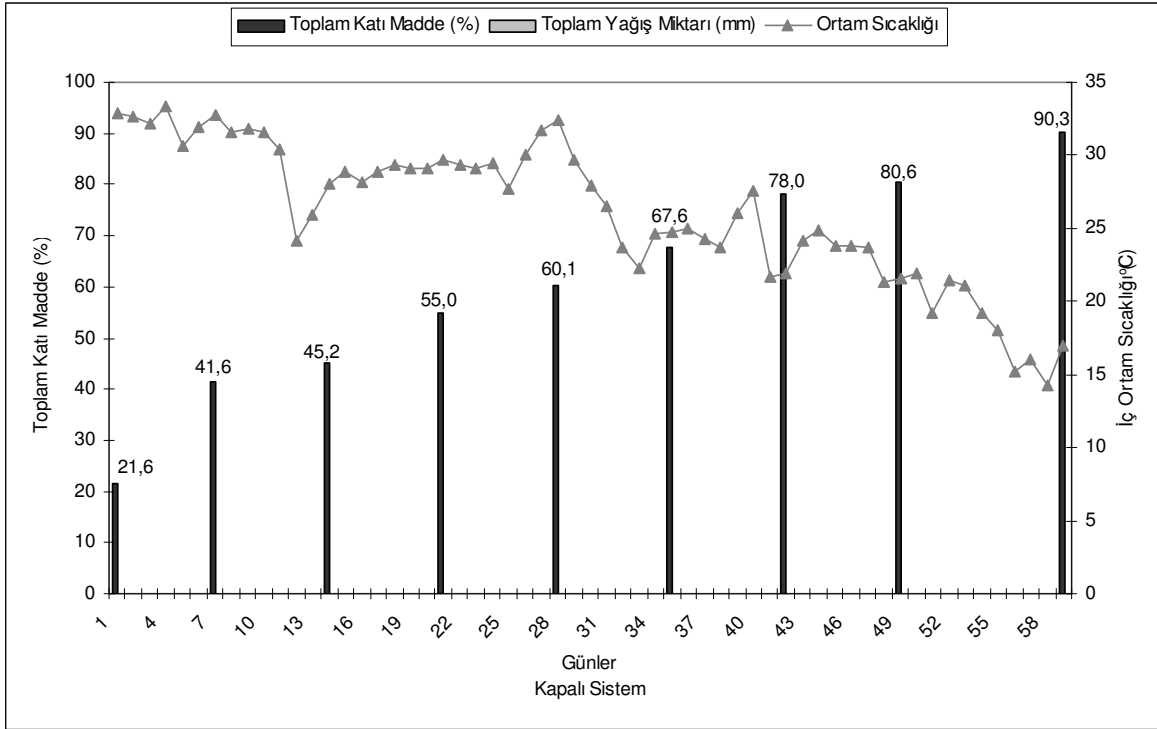
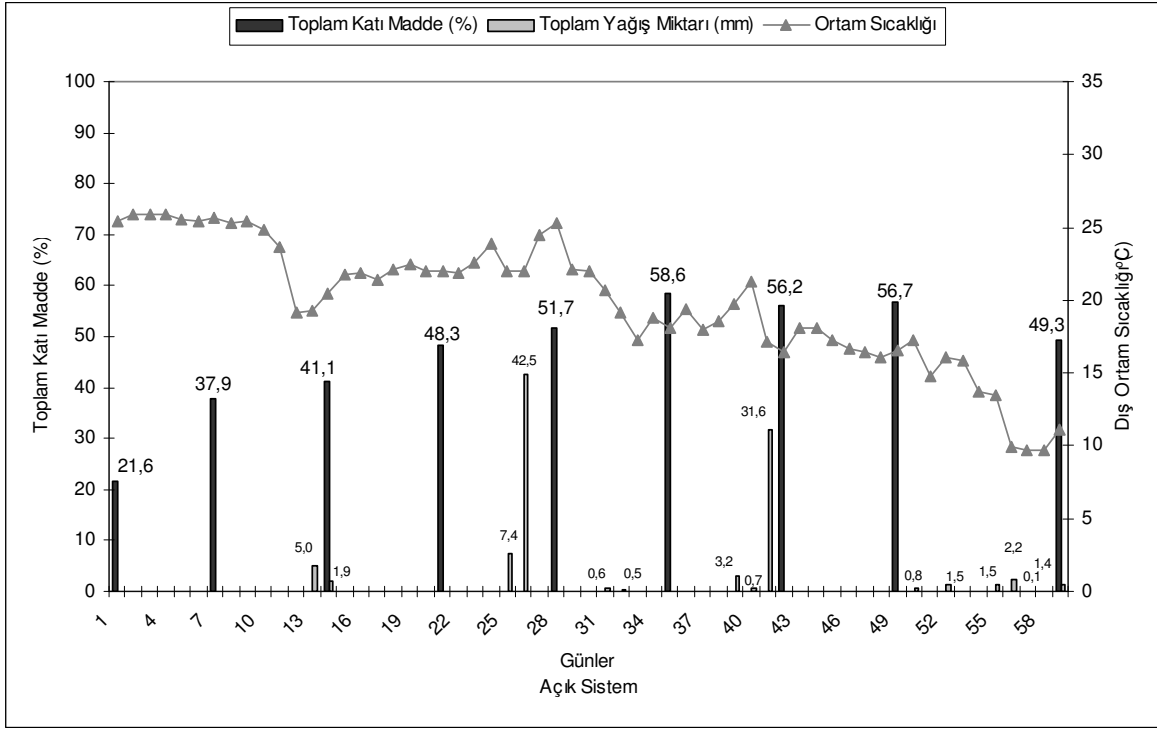


Şekil 4.4: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.





Şekil 4.5: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.



Şekil 4.6: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş % 15 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.

% 15 Sönmemiş Kireç katılmış olan İnegöl Arıtma Çamurunun açık ve kapalı sistemde kurutulması karşılaştırıldığında, yine kapalı sistemde kurutmanın belirgin bir üstünlüğü olduğu görülmektedir. Yani ham çamurda kuruma sürecinde etkili olan koşulların ve yarattığı sonuçların aynısı bu koşullarda da gözlemlenmiştir.

Sonuçlar, kireç katılmamış İnegöl Arıtma Çamuru ile yapılan deneyin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında ise, sönmemiş kireç katılmasının başlangıçta kurutma oranını hızlandırdığı, ama genel sonuç açısından bir farklılık yaratmadığı gözlenmiştir.

ANDREAKIS (1999) çamura sönmemiş kireç katarak yapmış olduğu çalışması sonucunda, kirecin çamurun içindeki suyla reaksiyona girip ısı açığa çıkarttığını belirtmiştir. Çamurdaki bu sıcaklık artışı, başlangıçtaki kuruma oranının hızlı olmasını açıklar. Ancak, zaman içinde sistemin çevre ile dengeye ulaşması, bu oluşan ilk ısıl değer olumlu etkisini bertaraf etmekte, ve sistemde istenen kurutma oranının elde edilmesi için gerekli toplam süre üzerinde hiçbir olumlu etki ortaya çıkmamaktadır.

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamurunun ortam sıcaklığı ve yağışa göre açık ve kapalı sistemlerdeki kuruma seviyeleri Mart çalışması için Çizelge 4.8, Haziran çalışması için Çizelge 4.9'te ve Eylül çalışması için Çizelge 4.10'te verilmiştir.

Çizelge 4.8: Mart çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	10.03.2005		3,4	8,8	21,36	21,36
7	16.03.2005	1,0	8,8	15,0	27,26	28,44
14	23.03.2005	4,7	9,5	14,4	33,00	34,04
21	30.03.2005	0,2	14,1	18,4	39,00	43,24
28	06.04.2005	1,2	6,2	12,0	45,06	47,98
35	13.04.2005		18,3	24,2	62,71	71,90
43	21.04.2005	3,7	19,0	25,4	70,01	91,06
52	30.04.2005	5,8	14,2	19,6	78,68	95,87
Ortalama			12,9	18,5		

Çizelge 4.9: Haziran çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	07.06.2005		24,5	27,5	21,93	21,93
7	13.06.2005	15,6	21,0	25,1	25,96	24,89
10	16.06.2005	0,5	21,3	26,0	49,01	51,44
18	24.06.2005	2,6	22,2	26,0	56,30	76,10
23	29.06.2005		22,3	25,8	74,92	89,97
25	01.07.2005		25,5	28,2	78,55	88,88
30	06.07.2005	90,0	22,5	27,4	53,33	81,56
37	13.07.2005		26,1	29,5	79,45	98,06
Ortalama			23,0	26,8		

Çizelge 4.10: Eylül çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

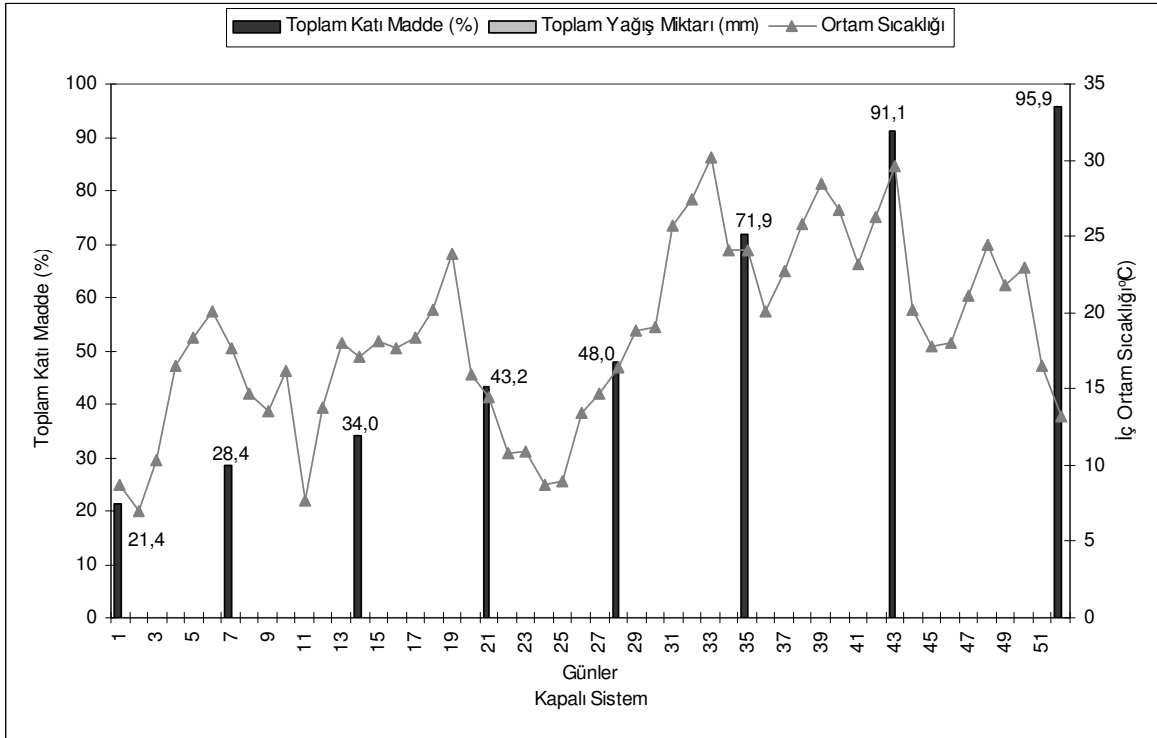
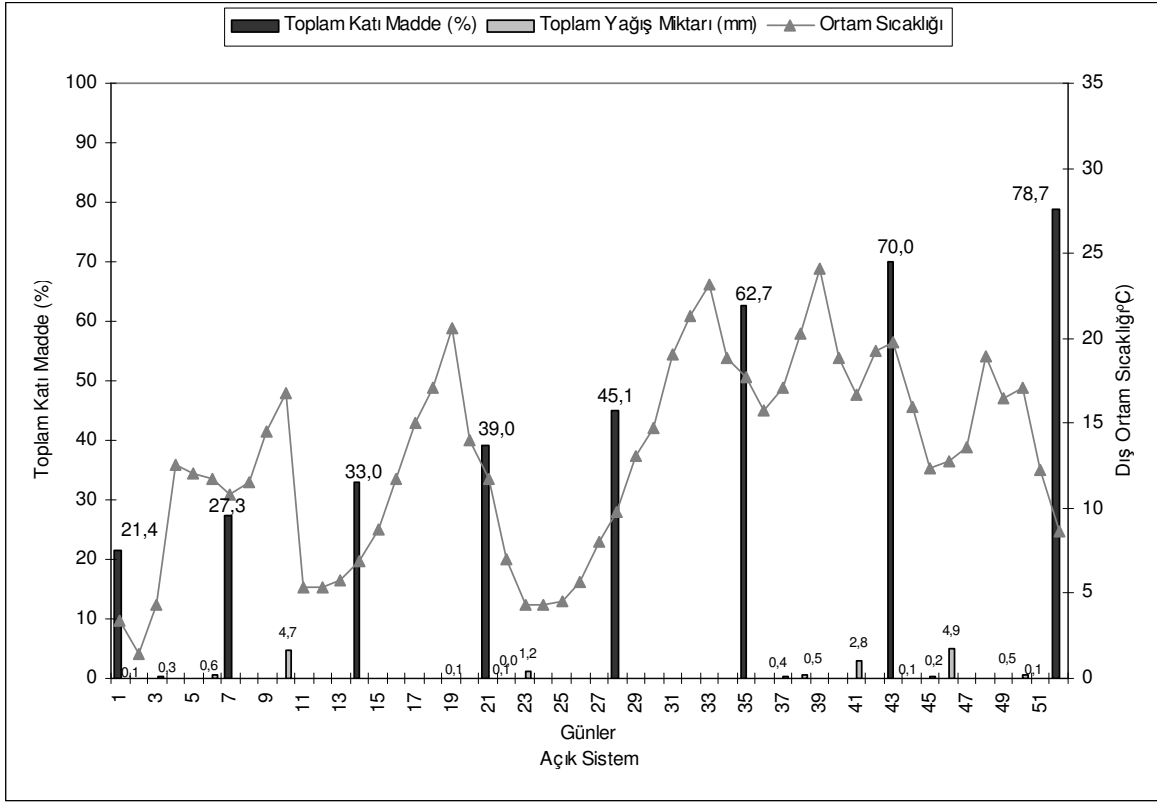
Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	23.08.2005		25,4	32,9	21,63	21,63
7	29.08.2005		25,7	32,2	38,14	40,89
14	05.09.2005	6,9	22,6	29,1	44,02	50,68
21	12.09.2005		21,9	29,0	53,05	55,64
28	19.09.2005	49,9	23,1	30,0	47,51	59,02
35	26.09.2005	1,1	19,7	25,7	49,97	67,14
42	03.10.2005	35,5	18,6	24,3	46,74	81,15
49	10.10.2005		17,0	23,3	63,68	84,03
59	20.10.2005	7,5	13,2	18,3	58,30	92,02
Ortalama			19,9	26,1		

Mart döneminde çamur ilk serildiğinde % 21,36 olan toplam katı madde 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %78,68'e, kapalı sistemde %95,87'ye yükselmiştir.

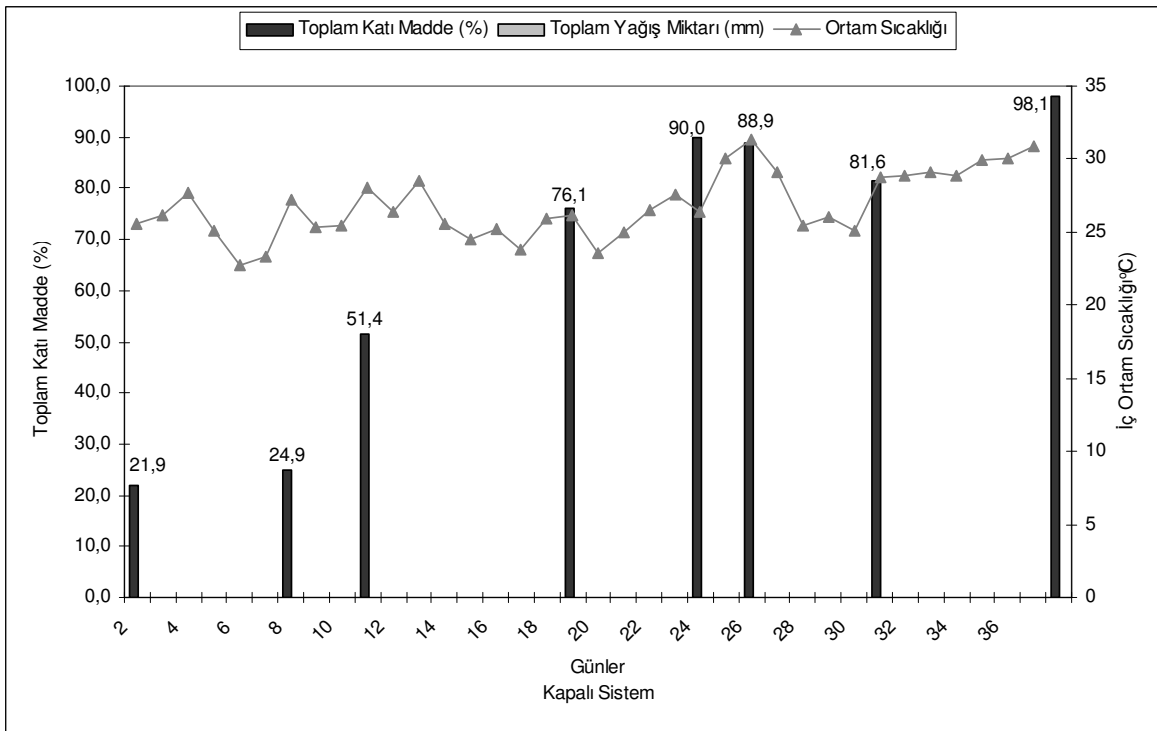
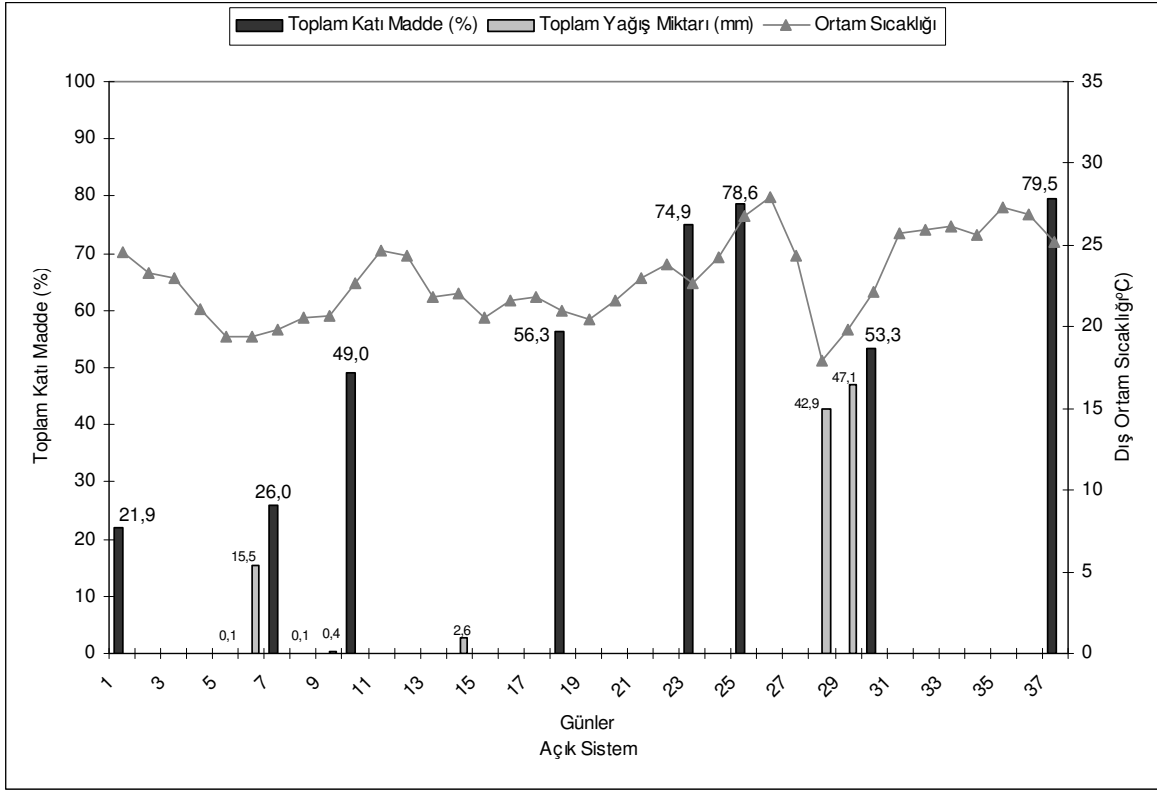
Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.7’de verilmiştir.

Haziran döneminde çamur ilk serildiğinde % 21.93 olan toplam katı madde 37 gün’lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %79,45’e, kapalı sistemde %96,06’ye yükselmiştir. Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.8’de verilmiştir.

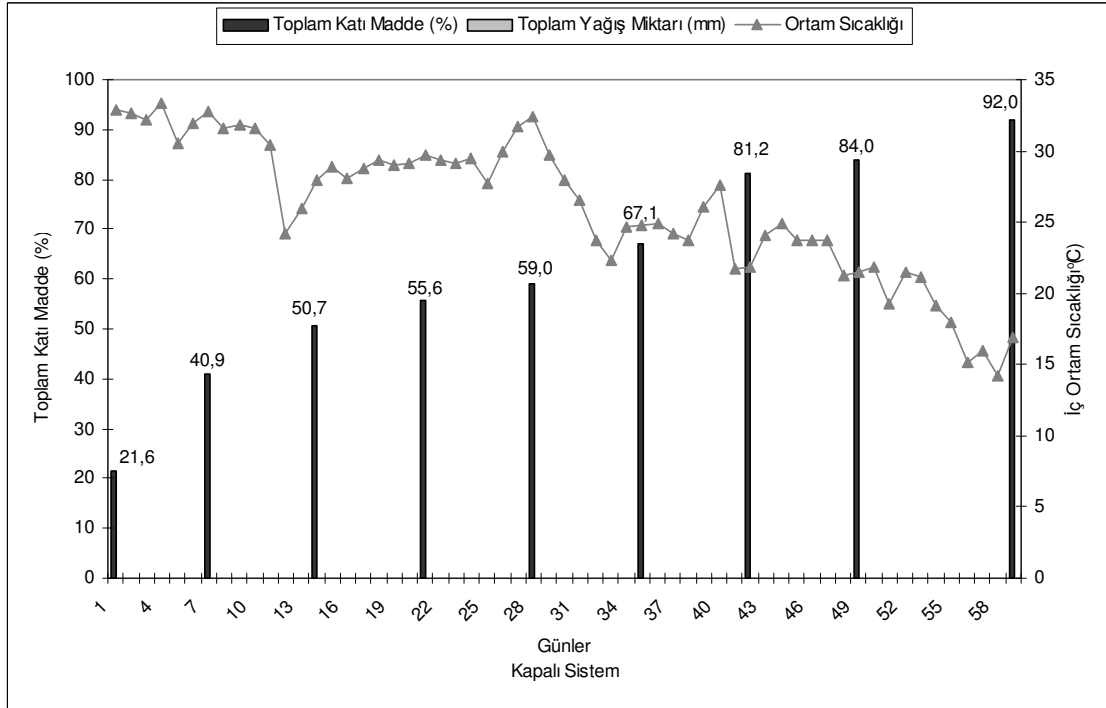
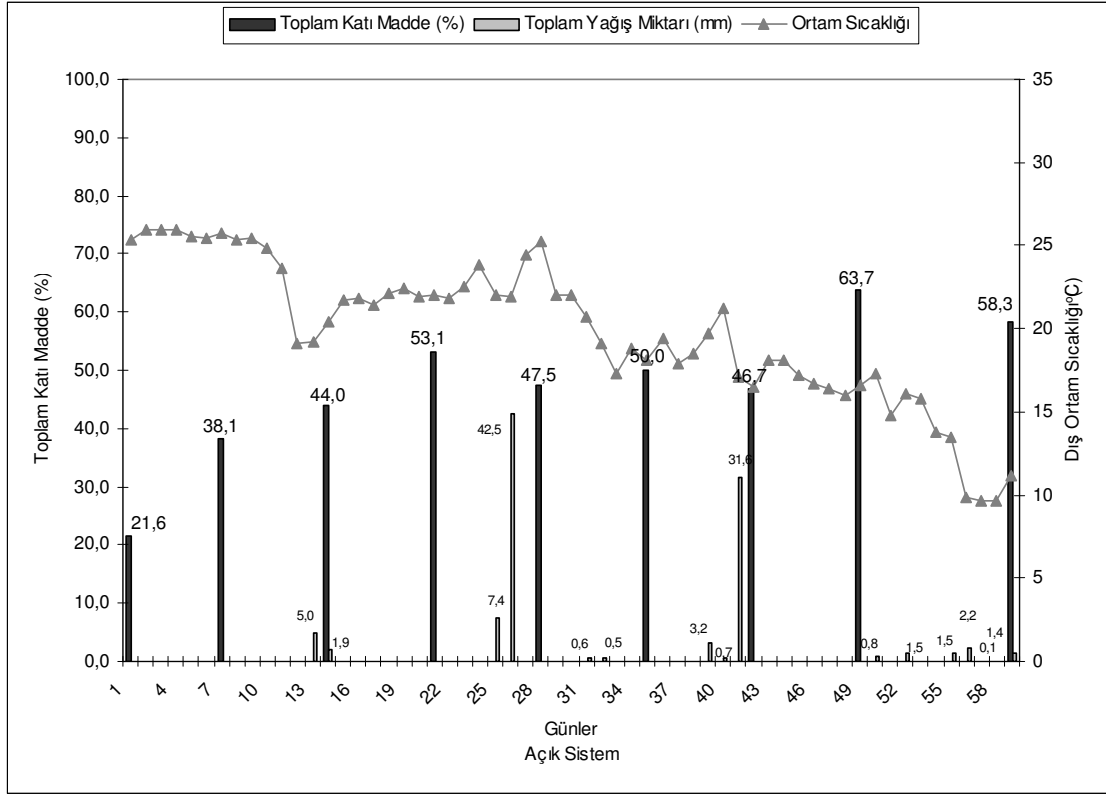
Eylül döneminde çamur ilk serildiğinde % 21,63 olan toplam katı madde 59 gün’lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %58,30’a, kapalı sistemde %92,02’ye yükselmiştir. Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.9’te verilmiştir.



Şekil 4.7: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.



Şekil 4.8: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.



Şekil 4.9: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.



% 40 Termik Santral Uçucu Külü katılmış olan İnegöl Arıtma Çamurunun açık ve kapalı sistemde kurutulması sonuçları, beklendiği üzere, kapalı sistemin veriminin üstünlüğünü bir kez daha göstermiştir, ancak kül katılması, kurutma verimi üzerinde herhangi bir etki yapmamıştır. KOCAER, ve BAŞKAYA, 2004 yaptıkları çalışmada külün kuruma üzerine her hangi bir etkiye sahip olmadığını belirlemiş, hatta çamur kuruma süreci izlenmesi esnasında külden gelen katı madde ağırlığının eksiltilecek çamurun kuru madde değişiminin izlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bizim çalışmamız da da aynı şekilde kül kendisinin kuruluşu sayesinde çamurda kendinden gelen kümülatif katkı etkisi ile başlangıçta kurumaya sebep olmuştur. Bunun dışında kuruma sürecinde yine ham çamur üzerine etkili olan parametrelerin etkileri gözlemlenmektedir.

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamurunun ortam sıcaklığı ve yağışa göre açık ve kapalı sistemlerdeki kuruma seviyeleri Mart çalışması için Çizelge 4.11, Haziran çalışması için Çizelge 4.12'te ve Eylül çalışması için Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.11: Mart çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	10.03.2005		3,4	8,8	21,36	21,36
7	16.03.2005	1,0	8,8	15,0	31,05	29,86
14	23.03.2005	4,7	9,5	14,4	37,04	37,96
21	30.03.2005	0,2	14,1	18,4	40,96	44,44
28	06.04.2005	1,2	6,2	12,0	46,56	49,01
35	13.04.2005		18,3	24,2	64,24	73,07
43	21.04.2005	3,7	19,0	25,4	71,24	91,44
52	30.04.2005	5,8	14,2	19,6	79,53	96,04
Ortalama			12,9	18,5		

Çizelge 4.12: Haziran çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	07.06.2005		24,5	27,5	21,93	21,93
7	13.06.2005	15,6	21,0	25,1	25,16	28,93
10	16.06.2005	0,5	21,3	26,0	51,24	53,73
18	24.06.2005	2,6	22,2	26,0	58,41	77,31
23	29.06.2005		22,3	25,8	76,11	91,00
25	01.07.2005		25,5	28,2	80,48	92,00
30	06.07.2005	90,0	22,5	27,4	53,96	83,71
37	13.07.2005		26,1	29,5	81,78	97,01
Ortalama			23,0	26,8		

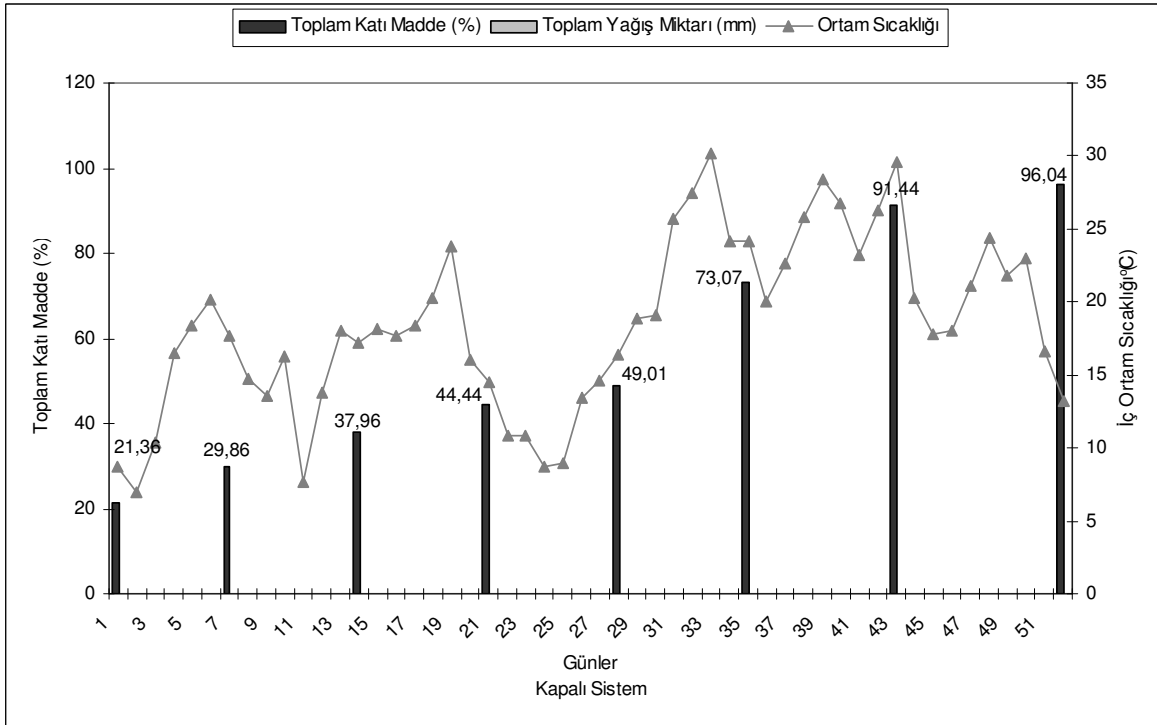
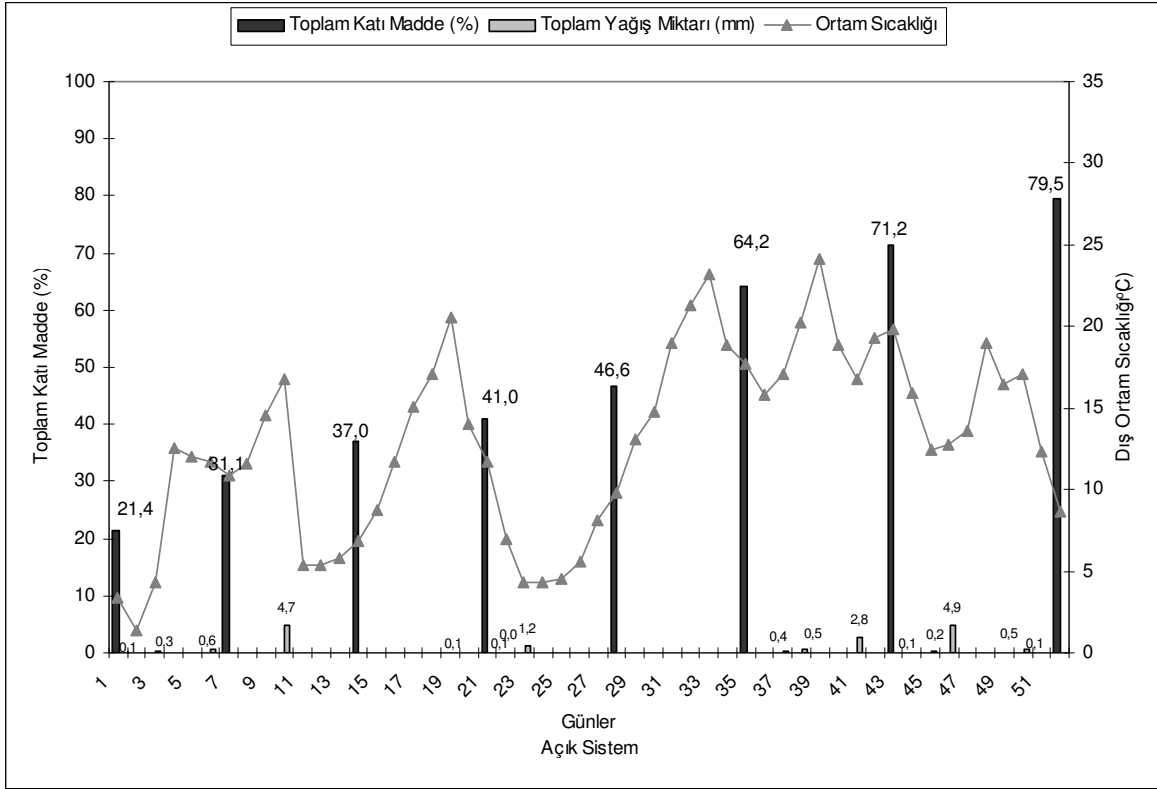
Çizelge 4.13: Eylül çalışması %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddede çevresel faktörlere göre meydana gelen değişimler.

Gün	Tarih	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Açık Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Kapalı Sistem Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi (%)
1	23.08.2005		25,4	32,9	21,63	21,63
7	29.08.2005		25,7	32,2	42,18	44,10
14	05.09.2005	6,9	22,6	29,1	50,08	56,23
21	12.09.2005		21,9	29,0	56,51	63,54
28	19.09.2005	49,9	23,1	30,0	50,06	71,95
35	26.09.2005	1,1	19,7	25,7	55,72	73,99
42	03.10.2005	35,5	18,6	24,3	52,65	82,83
49	10.10.2005		17,0	23,3	66,77	85,45
59	20.10.2005	7,5	13,2	18,3	60,12	92,42
Ortalama			19,9	26,1		

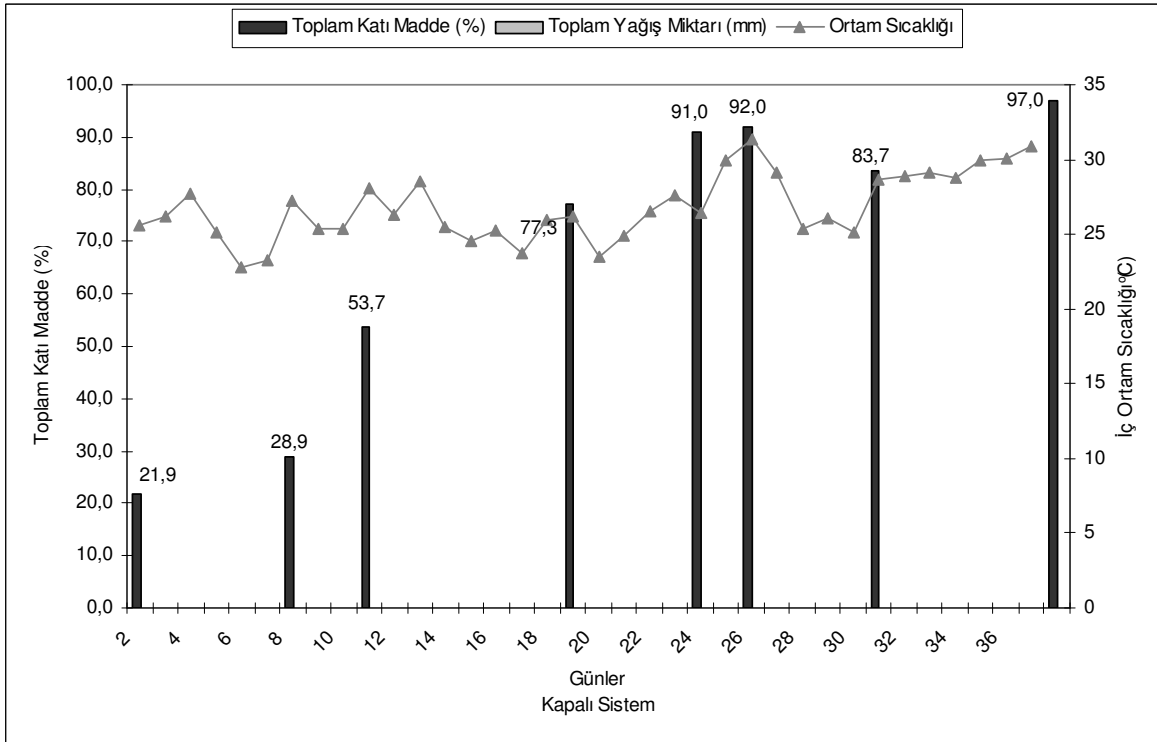
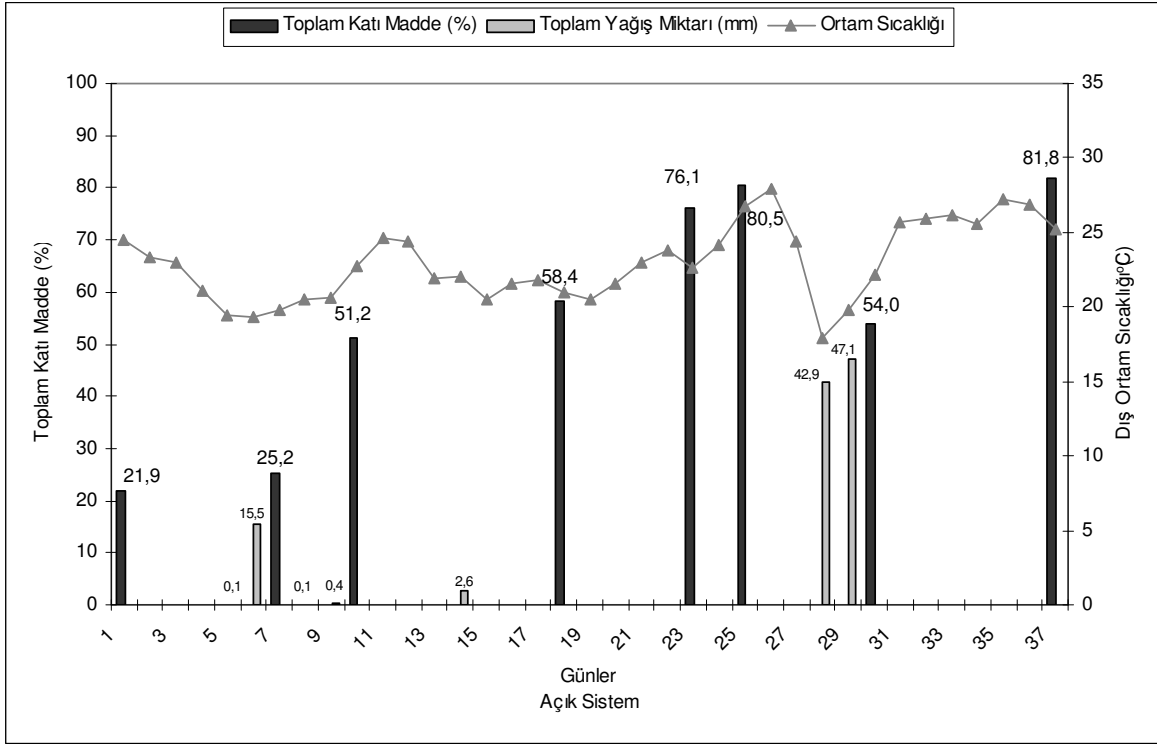
Mart döneminde çamur ilk serildiğinde % 21.36 olan toplam katı madde 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %79,53'e, kapalı sistemde %96,04'e yükselmiştir. Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.10'de verilmiştir.

Haziran döneminde çamur ilk serildiğinde % 21.93 olan toplam katı madde 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %81,78'e, kapalı sistemde %97,01'e yükselmiştir. Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.11'de verilmiştir.

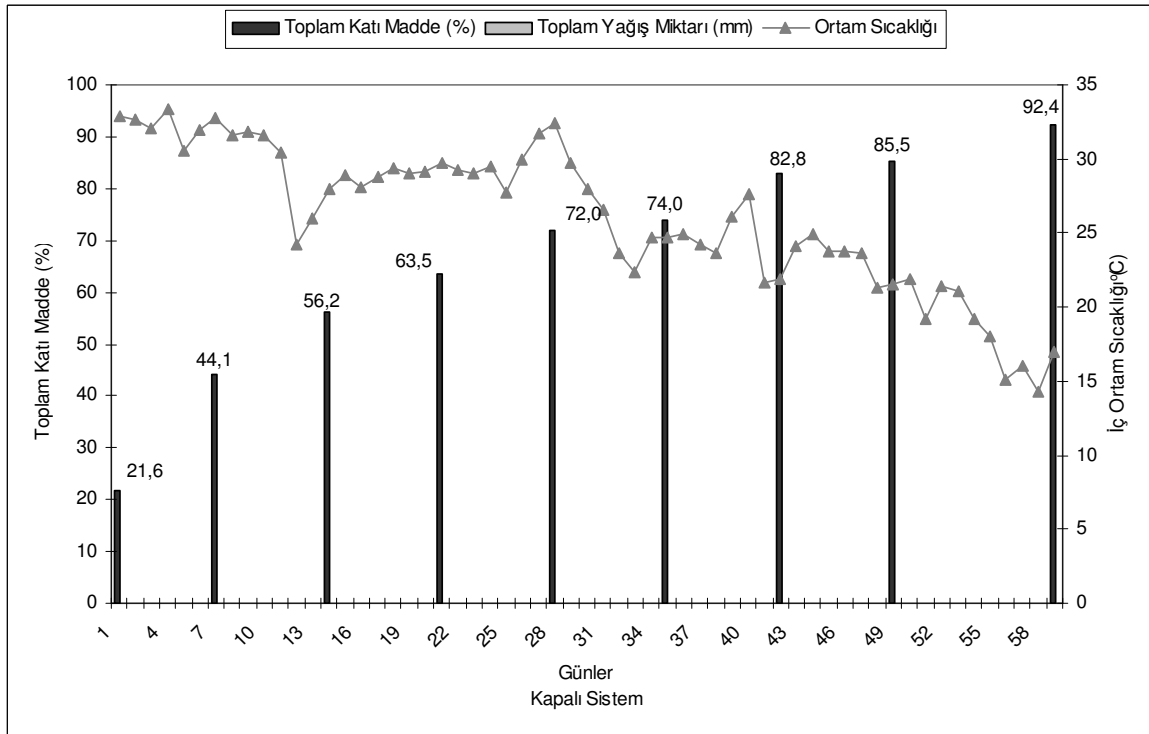
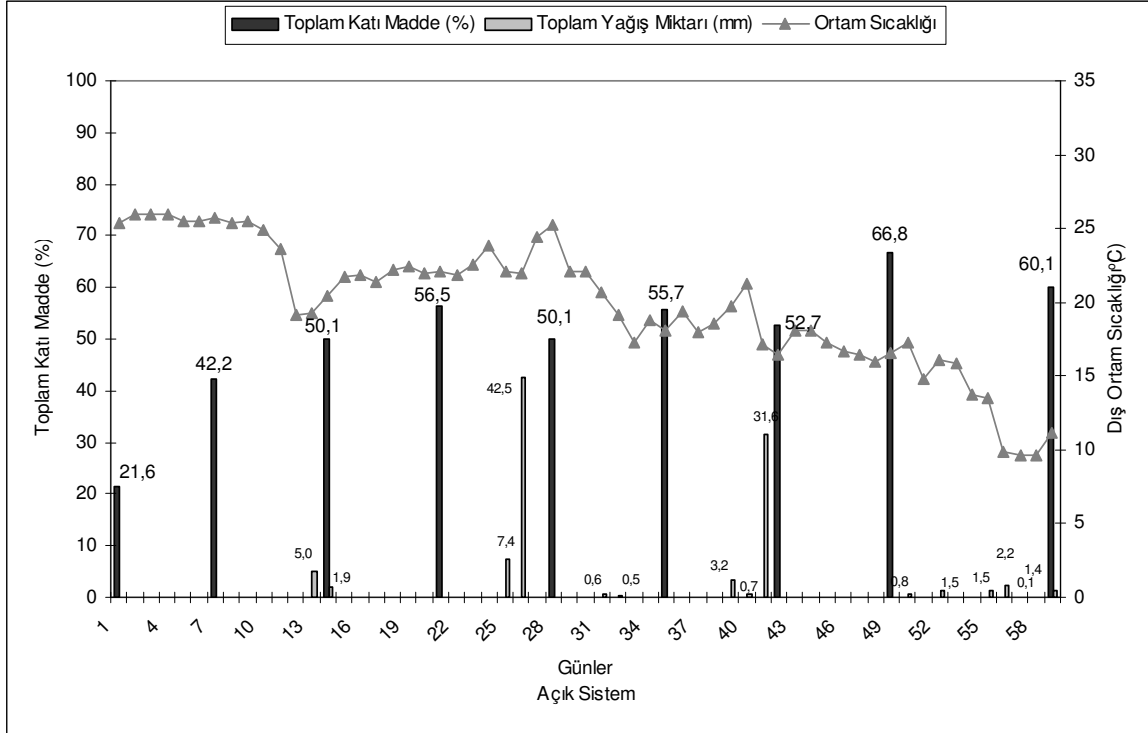
Eylül döneminde çamur ilk serildiğinde % 21,63 olan toplam katı madde 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde %60,12'ye, kapalı sistemde %92,42'ye yükselmiştir. Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.12'te verilmiştir.



Şekil 4.10: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.



Şekil 4.11: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.



Şekil 4.12: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş %40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç katılmış İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı maddesinin sıcaklık ve yağışa göre değişimleri.

İnegöl Atıksu Arıtma Çamuruna % 40 oranında Termik Santral Uçucu Külü ile % 6 oranında Sönmemiş Kireç Katılması sonucunda açık ve kapalı sistemde kurutma sonuçlarının İnegöl Atıksu Arıtma Çamuruna % 15 oranında Sönmemiş Kireç katılması ile elde edilen sonuçlara yakın olduğu gözlenmiştir. Termik Santral Uçucu Külü katılması ile yapılan son iki çalışmada, açık sistemde gözlemlenen kuru madde oranındaki artış, yine katılan külün mevcudiyetine bağlıdır.

Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarına serilmiş ham ve çeşitli miktar ve tiplerde katkı maddeleri içeren İnegöl arıtma çamurunun kuruma sürecinin izlendiği bu dört farklı deneyde, Kapalı Kurutma Yatağının, çamurun kurutulmasında etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Kapalı kurutma yatağında serili çamurların, yağış gibi çevresel faktörlerden etkilenmemesi ve ortam sıcaklığının güneş kolektörleri yardımı ile dış ortama göre yüksek oluşu sistemin başarısını sağlamıştır.

İklimsel faktörlerin de etkisini görmek için, üç ayrı dönemde tekerarlanan bu çalışmada, her dönemde kullanılan ham arıtma çamurundaki katı madde oranının başlangıçta birbirine çok yakın olması nedeniyle, üç dönemde kapalı ve açık kurutma sistemlerinin performansını karşılaştırmak için, kurutulmuş çamurdaki katı madde miktarlarını doğrudan karşılaştırmak yeterli olacaktır. Çamurun susuzlaştırılması ele alındığında, tüm deneylerde istenen kuru madde oranına erişmede çevre sıcaklığının ana etken olduğu gözlenmektedir. Açık kurutma sisteminde gözlemlendiği gibi, yaz döneminde önemli oranda yağış olmasına rağmen, çevre sıcaklığının yüksek olması nedeniyle, yüksek oranda susuzlaştırma mümkün olmaktadır. Ancak, açıkça bellidir ki, kapalı kurutma yatağı sistemi ile çok daha iyi ve tutarlı kurutma oranları elde etmek mümkündür. Açık kurutma sisteminde, performans çevre sıcaklığı ve yağmur ile etkilenirken, kapalı kurutma sisteminde yağışın performans üzerine etkisi azdır. Yağışın kapalı sistemde tek etkisi, bulutlanma nedeniyle güneş panelleri için gereken güneş enerjisindeki azalma olabilir. Öte yandan, kurutma süresinin belirlenmesinde çevre sıcaklığı önemli bir etkindir. Her ne kadar, kapalı sistemlerde istenen oranda susuzlaştırma sağlamak mümkünse de, bunun için gerekli süre, soğuk mevsimlerde sıcak mevsimlere göre hemen hemen % 50 oranında artmaktadır. Bunun temel nedeni de, kullanılan tek ısı kaynağının güneş enerjisi olması, ve iç ortamdaki sıcaklığın, dış ortamdaki sıcaklığa bağlı olmasıdır.

Sonuç olarak, kapalı çamur kurutma yatakları sistemi, açık kurutma yatakları sistemine göre, aynı süre içinde belirgin bir şekilde çok daha yüksek oranda kurutma sağlamaktadır ve kurutma oranı yağıştan etkilenmektedir. Tek etken faktör, istenen düzeyde kurutma sağlamak

için gereken sürenin mevsime bağlı olarak değişmesidir. Soğuk mevsimlerde kurutma süresi güneş enerjisi ile yapılan ısıtmaya destek verecek başka sistemlerle kısaltılabilir.

Kurutmada, ham çamura katılan katkı maddelerine gelince, ne Sönmemiş Kirecin ne de Termik Santral Uçucu Külünün tek başına veya birlikte katılması, istenen oranda kurutma için gerekli süreyi etkilemiştir. Tek farklılık, Sönmemiş Kirecin suyla karışımından ortaya çıkan ısı enerjinin başlangıçtaki kurutma oranını hızlandırmasıdır ki, uzun süre içinde bu etki de kaybolmaktadır. Kısaca, İnegöl Atıksu Arıtma Çamurunun kurutulmasında, kurutma oranını belirleyen en önemli etken, kapalı sistemde çevre sıcaklığı, açık sistemde ise çevre sıcaklığı ve yağış olmuştur.

#### **4.2.2 Çeşitli Stabilizasyon Maddeleri Katılmış Arıtma Çamurlarının Kuruma Süreci ve pH'a Bağlı Olarak Çeşitli Mikroorganizmalara Olan Etkileri**

Çamurun stabilizasyonunda en önemli parametrelerden biri çamurun su muhtevasıdır. Liang, ve ark. tarafından (2002) atıksu çamurunda aerobik kompost oluşumu sırasında gerçekleştirilen bir çalışmada, 22, 29, 36, 43, 50 ve 57 °C'de ve % 30, 40, 50, 60 ve 70 nem oranlarında mikrobiyal aktiviteyi izleyebilmek için bilgisayar kontrollü bir respirometre ile O<sub>2</sub> tüketimi oranı (mg/g/h) ölçülmüştür. Bu çalışmanın sonunda, mikrobiyal aktivite üzerinde nem oranının etkisi gözlenmiştir. 1 mg/g/h üzerinde bir mikrobiyal etki tespit edebilmek için nem oranının %50 ve daha yüksek olması gerektiği tespit edilmiştir. Öte yandan, sıcaklık ele alındığında, kompost oluşumu sırasında mikrobiyal aktivitelerin 20°C'ün altında ve 60°C'ün üstünde yavaşladığı gözlenmiştir.

Kendi çalışmamızda izlenen sürecin de aerobik kompost oluşumuna yakından benzemesi nedeniyle, hem fiziki hem de biyolojik açıdan kararlı bir son ürün elde etmek açısından, bahsi geçen bu çalışmanın önemi, sıcaklığın ve nemin etkilerini açıklıyor olması nedeniyle önemlidir.

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki Fekal Koliform değışimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.14'te verilmiştir.



Çizelge 4.14: Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Fekal Koliform parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem Fekal Koliform Değişimi	Kapalı Sistem Fekal Koliform Değişimi
Mart			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	6,03	6,03
7	7,28	7,42	24,11	23,52	5,25	5,01
14	7,29	7,33	28,00	30,99	5,52	4,38
21	7,21	7,11	33,32	38,16	5,45	3,36
28	7,19	7,24	38,52	41,20	5,05	3,02
35	7,01	7,12	47,79	60,67	4,68	4,26
43	7,05	7,16	58,00	87,48	3,90	3,44
52	7,06	7,14	70,11	94,22	3,56	3,33
Haziran			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	6,53	6,53
7	7,14	7,14	25,95	26,54	6,55	6,21
10	6,95	6,75	28,32	31,98	6,18	5,86
18	7,75	7,75	38,88	66,66	6,38	5,81
23	7,76	7,98	64,89	85,02	6,57	3,67
25	7,81	7,97	71,11	87,62	6,12	5,42
30	8,38	7,87	45,05	94,83	7,73	4,39
37	7,99	7,8	75,69	97,14	5,60	2,60
Eylül			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	6,60	6,60
7	7,82	8,39	34,96	29,61	7,50	6,57
14	7,85	8,49	36,00	37,61	6,48	5,80
21	7,39	7,71	41,83	46,90	6,42	6,37
28	8,01	7,75	39,48	58,79	7,44	6,61
35	7,56	7,69	43,38	46,01	7,00	6,72
42	7,49	7,51	42,65	73,62	8,75	6,80
49	7,32	7,39	49,14	76,63	6,94	4,29
59	7,27	7,24	41,66	88,79	6,66	3,63

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki Toplam Koliform değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15: Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Toplam Koliform parametresinde meydana gelen değişimler.

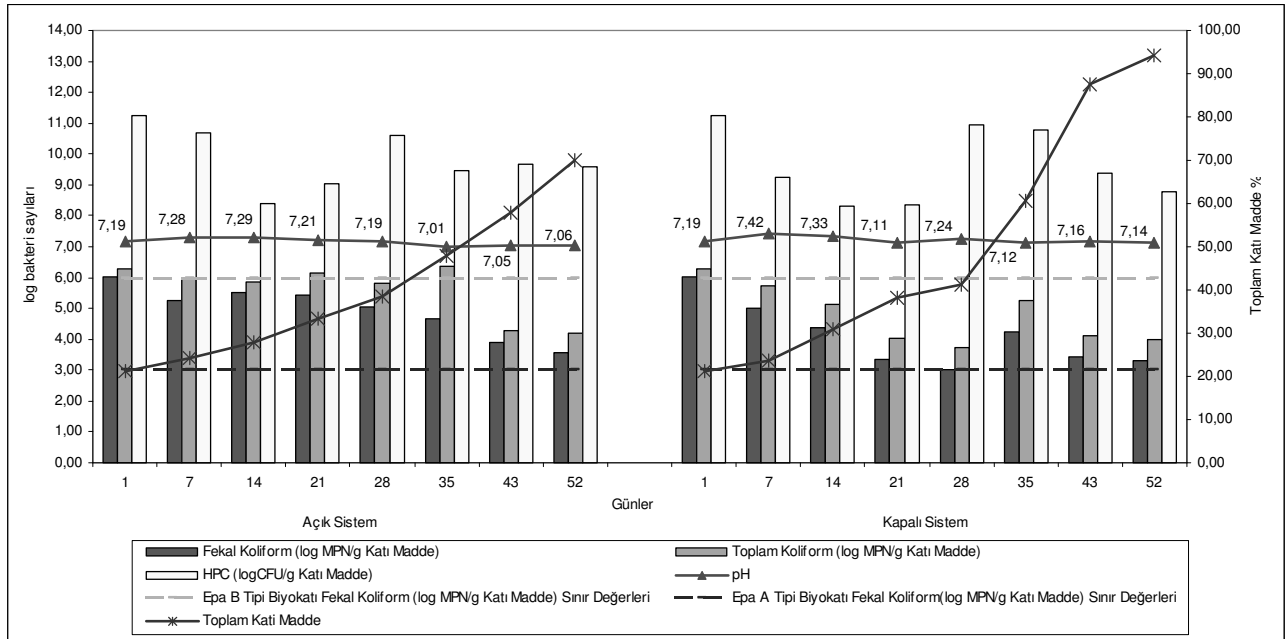
Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem Toplam Koliform Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Koliform Değişimi
Mart			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	6,27	6,27
7	7,28	7,42	24,11	23,52	5,98	5,71
14	7,29	7,33	28,00	30,99	5,88	5,14
21	7,21	7,11	33,32	38,16	6,14	4,02
28	7,19	7,24	38,52	41,20	5,79	3,75
35	7,01	7,12	47,79	60,67	6,36	5,26
43	7,05	7,16	58,00	87,48	4,28	4,10
52	7,06	7,14	70,11	94,22	4,22	4,00
Haziran			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	7,04	7,04
7	7,14	7,14	25,95	26,54	7,25	6,96
10	6,95	6,75	28,32	31,98	7,01	6,46
18	7,75	7,75	38,88	66,66	7,07	6,56
23	7,76	7,98	64,89	85,02	7,23	5,66
25	7,81	7,97	71,11	87,62	6,81	6,03
30	8,38	7,87	45,05	94,83	8,39	4,99
37	7,99	7,8	75,69	97,14	6,36	3,36
Eylül			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	7,29	7,29
7	7,82	8,39	34,96	29,61	8,12	7,19
14	7,85	8,49	36,00	37,61	7,48	6,47
21	7,39	7,71	41,83	46,90	7,04	6,99
28	8,01	7,75	39,48	58,79	7,27	8,07
35	7,56	7,69	43,38	46,01	7,74	7,38
42	7,49	7,51	42,65	73,62	9,41	7,51
49	7,32	7,39	49,14	76,63	7,69	4,99
59	7,27	7,24	41,66	88,79	7,38	4,38

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki HPC değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.16'te verilmiştir.

Çizelge 4.16: Ham İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre HPC parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem HPC Değişimi	Kapalı Sistem HPC Değişimi
Mart			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	11,26	11,26
7	7,28	7,42	24,11	23,52	10,69	9,23
14	7,29	7,33	28,00	30,99	8,39	8,31
21	7,21	7,11	33,32	38,16	9,02	8,35
28	7,19	7,24	38,52	41,20	10,59	10,94
35	7,01	7,12	47,79	60,67	9,47	10,78
43	7,05	7,16	58,00	87,48	9,67	9,39
52	7,06	7,14	70,11	94,22	9,59	8,80
Haziran			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	11,29	11,29
7	7,14	7,14	25,95	26,54	11,25	10,91
10	6,95	6,75	28,32	31,98	11,20	10,61
18	7,75	7,75	38,88	66,66	11,30	10,40
23	7,76	7,98	64,89	85,02	11,24	9,20
25	7,81	7,97	71,11	87,62	11,15	9,01
30	8,38	7,87	45,05	94,83	11,85	8,85
37	7,99	7,80	75,69	97,14	10,59	8,49
Eylül			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	10,16	10,16
7	7,82	8,39	34,96	29,61	10,47	10,00
14	7,85	8,49	36,00	37,61	10,31	8,91
21	7,39	7,71	41,83	46,90	10,13	10,29
28	8,01	7,75	39,48	58,79	10,58	10,14
35	7,56	7,69	43,38	46,01	10,70	9,81
42	7,49	7,51	42,65	73,62	10,85	9,60
49	7,32	7,39	49,14	76,63	10,33	8,73
59	7,27	7,24	41,66	88,79	10,46	8,56

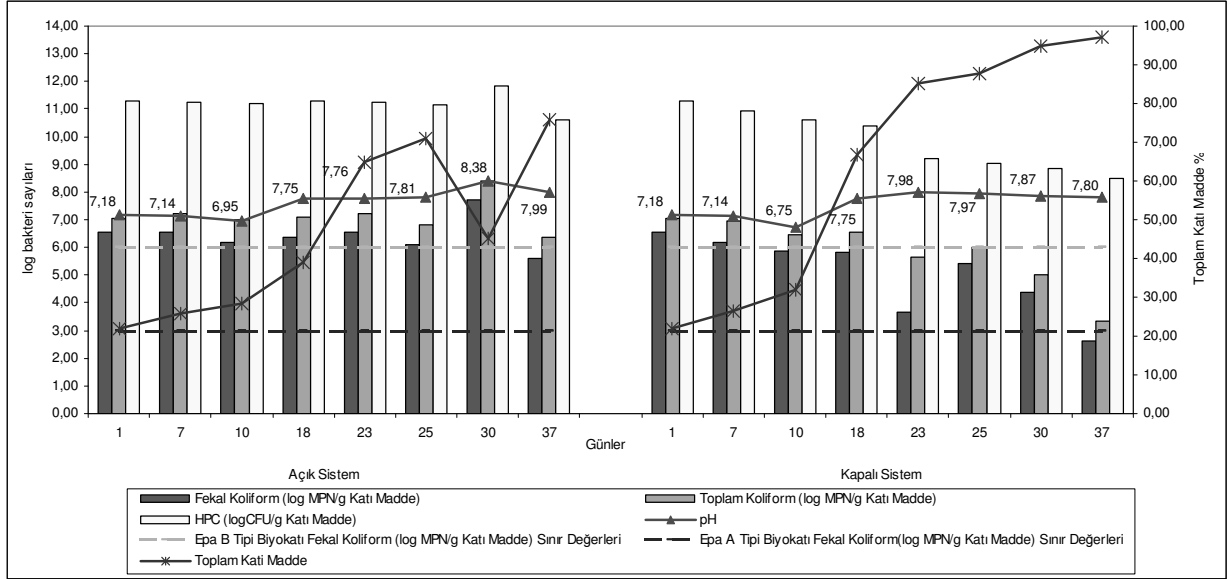
Mart döneminde çamur ilk serildiğinde 6,03 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 3,56 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 3,33 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 6,27 log MPN/g Katı Madde iken 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 4,22 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 4,00 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 11,26 log MPN/g Katı Madde iken 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 9,59 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 8,80 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

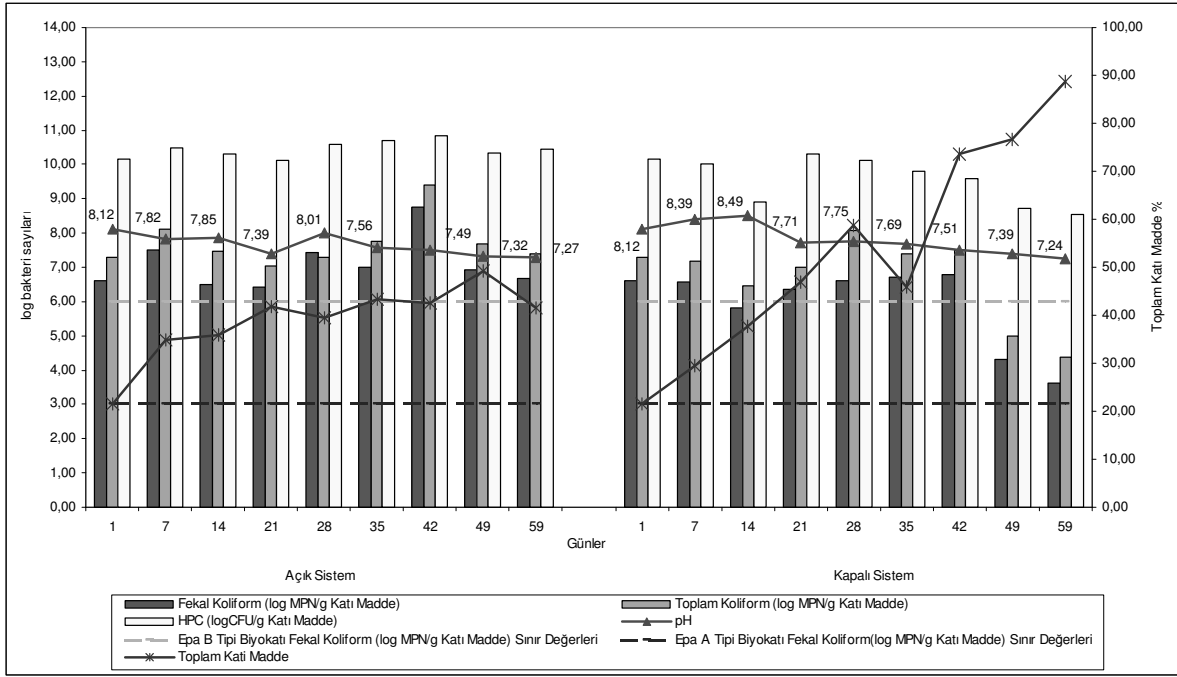
Haziran döneminde çamur ilk serildiğinde 6,53 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 5,60 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 2,60 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 7,04 log MPN/g Katı Madde iken 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 6,36 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 3,36 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 11,29 log MPN/g Katı Madde iken 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 10,59 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 8,49 log

MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

Eylül döneminde çamur ilk serildiğinde 6,60 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 6,66 log MPN/g Katı Madde'ye yükselmiş , kapalı sistemde 3,63 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 7,29 log MPN/g Katı Madde iken 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 7,69 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 4,99 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 10,16 log MPN/g Katı Madde iken 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 10,46 log MPN/g Katı Madde'ye yükselmiş, kapalı sistemde 8,56 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

Genel anlamda Ham İnegöl Arıtma Çamurunda kuruma süreçleri boyunca meydana gelen mikrobiyal giderimler Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17: Ham İnegöl Arıtma Çamurunda mikrobiyal giderimlerde dönemlere göre değişimler.

Parametre	Birim	Mart	Haziran	Eylül
Açık Sistem Fekal Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	2,48	0,93	-0,06
Kapalı Sistem Fekal Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	2,70	3,93	2,97
Açık Sistem Toplam Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	2,05	0,68	0,68
Kapalı Sistem Toplam Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	2,27	3,68	2,91
Açık Sistem HPC Giderimi	log CFU/ g Katı Madde	1,67	0,70	-0,30
Kapalı Sistem HPC Giderimi	log CFU/ g Katı Madde	2,46	2,80	1,61

Ham İnegöl Arıtma Çamurunda tüm parametreler için en yüksek giderim verimi kapalı sistemde Haziran ayındaki çalışmada gerçekleşirken, en düşük giderim verimi Eylül

ayındaki çalışmada açık sistemde gerçekleşmiştir. Liang, ve ark. (2002) mikrobiyal aktivite üzerinde % 50'nin altındaki nem oranının mikrobiyal faaliyet üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu açıklamaya göre elde edilen sonuçlarda katı maddenin % 50'nin üzerinde olduğu durumlarda mikrobiyal faaliyetin yavaşladığı ve mikrobiyal giderim veriminin arttığı gözlemlenmektedir.

Öte yandan ham çamurda vektörel taşınımın azaltılması amacı ile ANONİM 1999b'de belirlenen % 90 Toplam Katı Madde değerine bakacak olursak, açık sistemde Mart, Haziran, Eylül çalışmalarının hiç birinde bu değere ulaşılammışken, kapalı sistemde Mart ve Haziran döneminde % 90'nın dahi üstüne çıkılmış (% 94,22, % 97,14), Eylül döneminde ise % 90'a yaklaşmıştır. (%88,79). Daha spesifik olmak gerekirse;

- Açık sistemde Mart ve Haziran aylarındaki çalışmalarda kurutulmaya bırakılan çamurlar Fekal Koliform'da US EPA B sınıfına uygun değerler verirken (3,56 ve 5,60 log MPN/ g Katı Madde), Eylül ayında kurutulmaya bırakılan çamur Fekal Koliform'da US EPA B sınıfına uygun değerler vermemiştir. (6,66 log MPN/ g Katı Madde).
- Kapalı sistemde ise Mart ve Eylül'de kurutulmaya bırakılan çamurlar Fekal Koliform'da US EPA B sınıfına uygun değerler verirken, Haziran ayında kurutulmaya bırakılan çamurların verdiği değer US EPA A sınıfına bile uygundur.

Bu da bize gösteriyor ki kapalı sistemde yüksek sıcaklıkta kurutulan çamurlarda mikrobiyal giderim diğer koşullara göre daha iyi gerçekleşmektedir. Çizelge 4.17'de gözlemlendiği gibi, mikrobiyal aktivite ele alındığında, yağışın önemli oranda negatif etkisi olmaktadır. Bunun nedeni, çevre sıcaklığı su oranını ne kadar azaltırsa azaltsını, yağışın mikrobiyal aktivitenin devamını sağlamasıdır. Bu faktör, özellikle Haziran döneminde çok belirgindir. Açık kurutma sisteminde, susuzlaştırma oldukça yüksek olmasına rağmen, yağış nedeniyle, mikrobiyal aktivitedeki azalma Mart'ta gözlenen oranda olmamıştır. Eylül ayında ise, hem azalan sıcaklık hem de yüksek orandaki yağış, açık sistemde gözlenen mikrobiyal aktivite artışına neden olmuştur.

Kapalı çamur kurutma yatakları sisteminde ise, deneyin yapıldığı her üç dönemde de mikrobiyal aktivite oranındaki azalma açık kurutma yatakları sistemine göre çok yüksektir. Gözlemlenen bir başka olgu ise, mikrobiyal aktivite oranındaki azalmadaki tutarlılıktır. Şunu da hatırlamak gerekir ki, Haziran dönemindeki kurutma süresi, diğer iki dönemin 2/3'ü kadardır ve buna rağmen, sonuçlar oldukça etkileyicidir. Sonuç olarak, kapalı kurutma yatağı sisteminde, mikrobiyal aktivitedeki azalma iç ortamın sıcaklığına bağlı olup, sıcaklıktaki ufak bir artış istenen kurutma özelliklerine erişmek için gereken süreyi azaltmaktadır.

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki Fekal Koliform değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.18: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Fekal Koliform parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem Fekal Koliform Değişimi	Kapalı Sistem Fekal Koliform Değişimi
Mart			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	6,03	6,03
7	12,06	12,14	27,23	36,53	2,93	2,50
14	10,28	11,43	32,20	37,00	2,04	2,27
21	8,88	10,39	35,00	41,04	1,82	1,75
28	8,40	9,17	39,29	44,64	1,26	1,53
35	8,49	8,82	54,60	65,80	0,85	0,00
43	8,32	8,61	63,48	89,13	2,58	0,00
52	8,29	8,58	74,01	94,97	2,56	0,00
Haziran			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	6,53	6,53
7	7,14	7,14	26,93	26,43	6,55	6,21
10	12,10	12,12	40,44	40,85	3,03	1,99
18	11,99	12,05	46,84	70,96	2,28	1,75
23	8,64	12,06	70,00	79,14	2,11	0,00
25	8,66	12,05	75,04	86,66	1,30	0,00
30	8,87	11,91	55,19	84,77	2,62	0,00
37	8,41	11,69	77,77	96,89	1,95	0,00
Eylül			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	6,60	6,60
7	12,38	12,50	37,88	41,55	2,78	2,74
14	10,49	11,89	41,08	45,20	3,77	1,94
21	9,97	11,69	48,33	55,02	5,36	1,86
28	8,32	11,60	51,66	60,12	6,33	1,83
35	7,85	9,69	58,56	67,55	6,20	2,12
42	7,82	9,52	56,17	77,95	6,22	1,71
49	7,49	9,27	56,66	80,55	4,20	1,70
59	7,37	9,07	49,25	90,32	4,04	1,36



Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki Toplam Koliform değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.19'te verilmiştir.

Çizelge 4.19: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Toplam Koliform parametresinde meydana gelen değişimler.

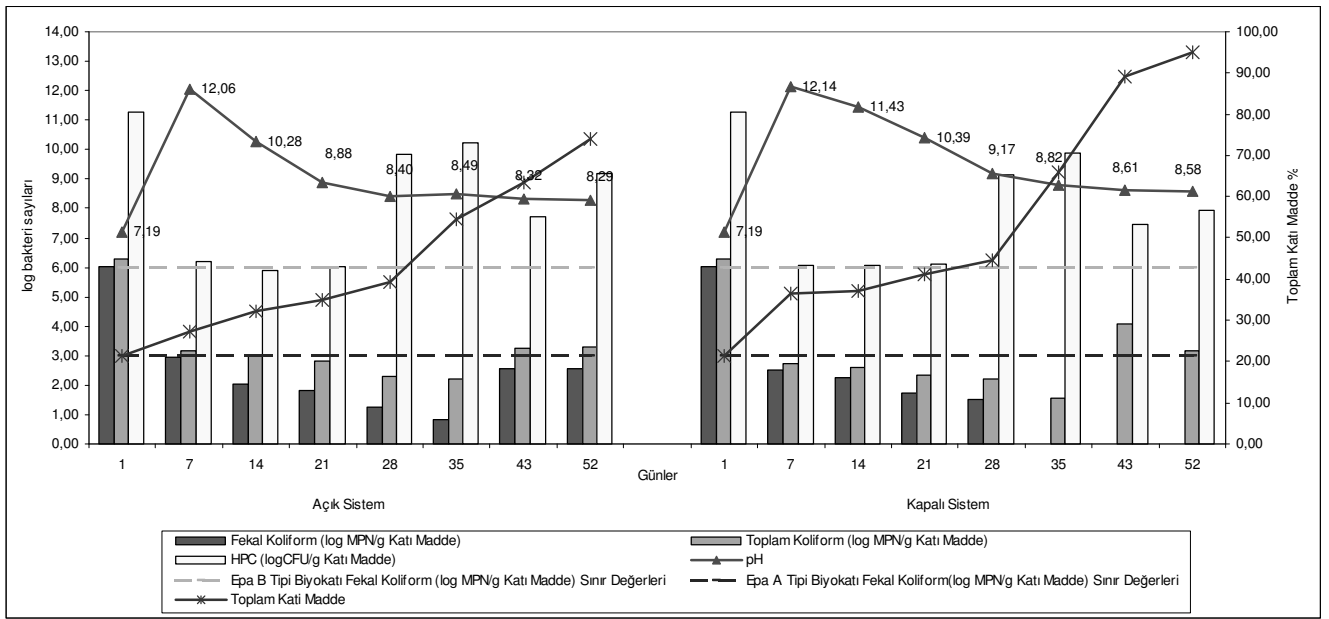
Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem Toplam Koliform Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Koliform Değişimi
Mart			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	6,27	6,27
7	12,06	12,14	27,23	36,53	3,17	2,74
14	10,28	11,43	32,20	37,00	3,04	2,59
21	8,88	10,39	35,00	41,04	2,84	2,36
28	8,40	9,17	39,29	44,64	2,28	2,23
35	8,49	8,82	54,60	65,80	2,23	1,54
43	8,32	8,61	63,48	89,13	3,24	4,09
52	8,29	8,58	74,01	94,97	3,29	3,18
Haziran			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	7,04	7,04
7	7,14	7,14	26,93	26,43	7,25	6,96
10	12,10	12,12	40,44	40,85	3,77	2,34
18	11,99	12,05	46,84	70,96	2,96	2,51
23	8,64	12,06	70,00	79,14	2,52	2,06
25	8,66	12,05	75,04	86,66	2,08	1,36
30	8,87	11,91	55,19	84,77	3,64	1,43
37	8,41	11,69	77,77	96,89	2,63	0,95
Eylül			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	7,29	7,29
7	12,38	12,50	37,88	41,55	7,91	3,76
14	10,49	11,89	41,08	45,20	4,77	2,98
21	9,97	11,69	48,33	55,02	6,36	2,36
28	8,32	11,60	51,66	60,12	2,85	2,95
35	7,85	9,69	58,56	67,55	6,90	2,80
42	7,82	9,52	56,17	77,95	6,91	2,47
49	7,49	9,27	56,66	80,55	4,88	2,73
59	7,37	9,07	49,25	90,32	5,66	2,38

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki HPC değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.20'te verilmiştir.

Çizelge 4.20: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre HPC parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem HPC Değişimi	Kapalı Sistem HPC Değişimi
Mart			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	11,26	11,26
7	12,06	12,14	27,23	36,53	6,18	6,08
14	10,28	11,43	32,20	37,00	5,90	6,07
21	8,88	10,39	35,00	41,04	6,05	6,12
28	8,40	9,17	39,29	44,64	9,84	9,14
35	8,49	8,82	54,60	65,80	10,25	9,88
43	8,32	8,61	63,48	89,13	7,70	7,44
52	8,29	8,58	74,01	94,97	9,20	7,92
Haziran			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	11,29	11,29
7	7,14	7,14	26,93	26,43	11,25	10,91
10	12,10	12,12	40,44	40,85	8,97	8,87
18	11,99	12,05	46,84	70,96	8,35	8,51
23	8,64	12,06	70,00	79,14	7,69	7,08
25	8,66	12,05	75,04	86,66	7,68	6,94
30	8,87	11,91	55,19	84,77	8,83	6,58
37	8,41	11,69	77,77	96,89	7,48	6,00
Eylül			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	10,16	10,16
7	12,38	12,50	37,88	41,55	7,91	7,19
14	10,49	11,89	41,08	45,20	7,83	6,62
21	9,97	11,69	48,33	55,02	8,19	6,12
28	8,32	11,60	51,66	60,12	8,72	6,16
35	7,85	9,69	58,56	67,55	8,73	5,98
42	7,82	9,52	56,17	77,95	8,84	5,64
49	7,49	9,27	56,66	80,55	8,26	5,53
59	7,37	9,07	49,25	90,32	9,05	5,52

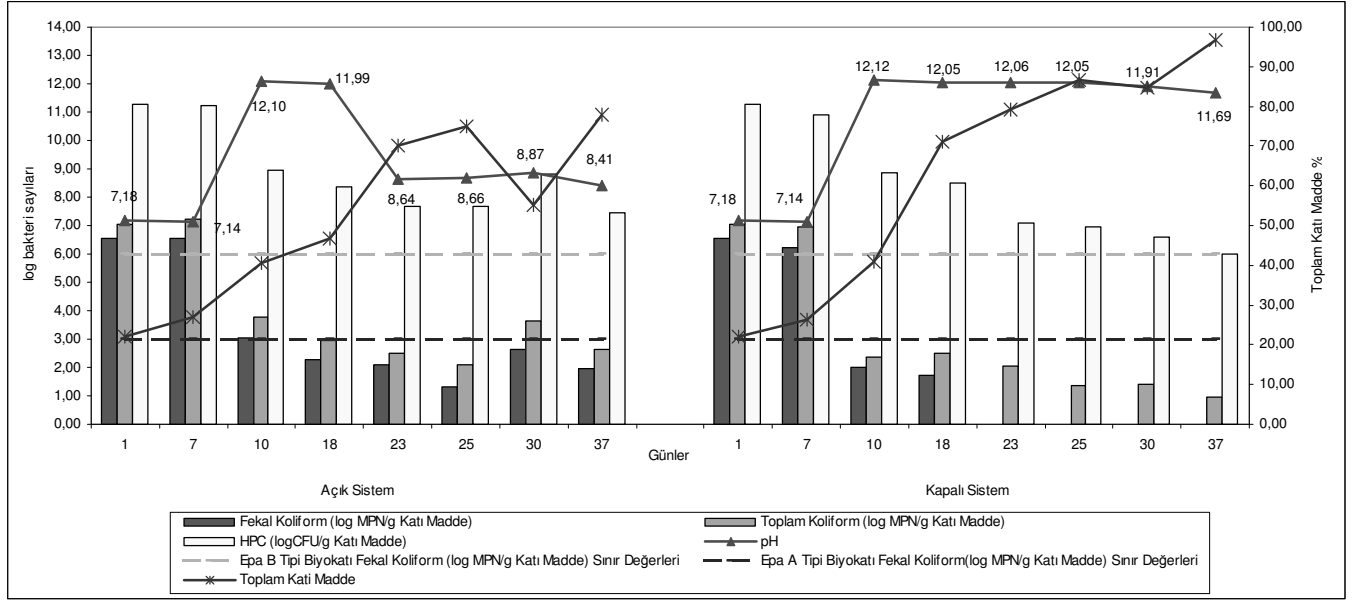
Mart döneminde çamur ilk serildiğinde 6,03 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 2,56 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 0,00 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 6,27 log MPN/g Katı Madde iken 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 3,29 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 3,18 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 11,26 log MPN/g Katı Madde iken 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 9,20 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 7,92 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.16'te verilmiştir.



Şekil 4.16: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

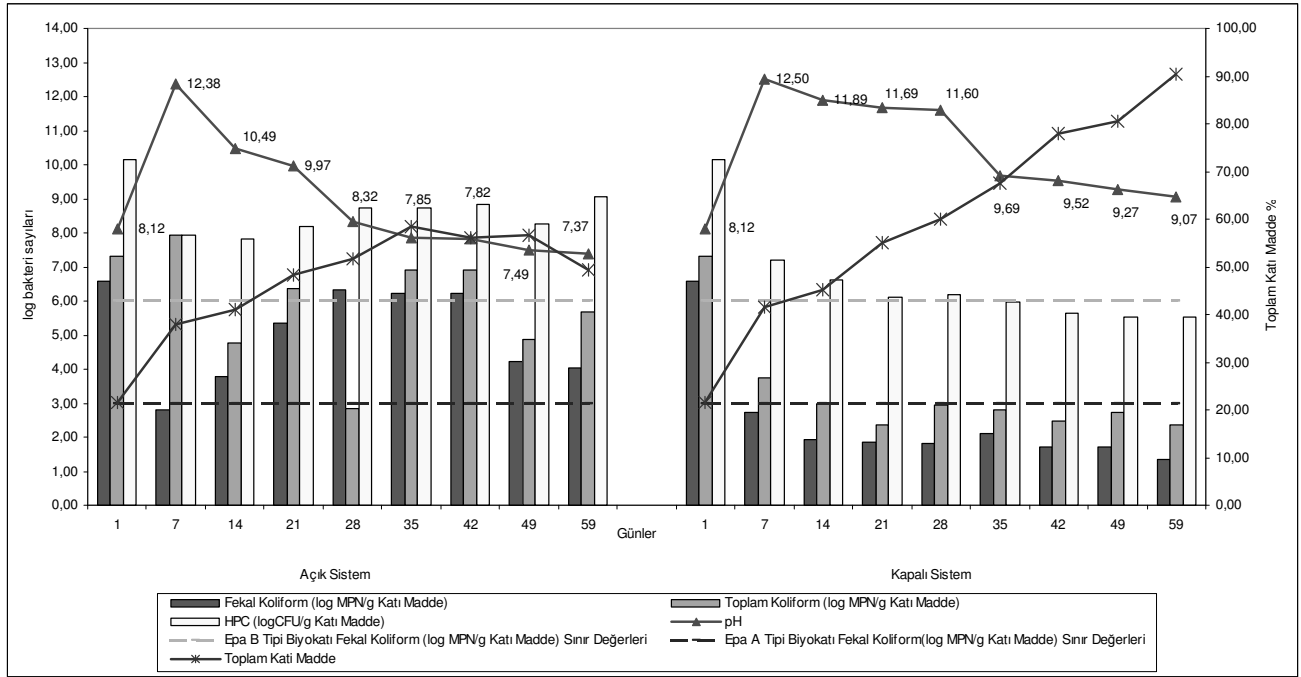
Haziran döneminde çamur ilk serildiğinde 6,53 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 1,95 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 0,00 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 7,04 log MPN/g Katı Madde iken 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 2,63 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 0,95 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 11,29 log MPN/g Katı Madde iken 37 gün'lük kuruma

süreci sonunda açık sistemde 7,48 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 6,00 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.17'te verilmiştir.



Şekil 4.17: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

Eylül döneminde çamur ilk serildiğinde 6,60 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 4,04 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 1,36 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 7,29 log MPN/g Katı Madde iken 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 5,66 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 2,38 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 10,16 log MPN/g Katı Madde iken 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 9,05 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 5,52 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.18'te verilmiştir.



Şekil 4.18: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

Genel anlamda Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunda kuruma süreçleri boyunca meydana gelen mikrobiyal giderimler Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamurunda mikrobiyal giderimlerde dönemlere göre değişimler.

Parametre	Birim	Mart	Haziran	Eylül
Açık Sistem Fekal Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	3,47	4,58	2,56
Kapalı Sistem Fekal Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	6,03	6,53	5,24
Açık Sistem Toplam Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	2,98	4,41	4,41
Kapalı Sistem Toplam Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	3,10	6,08	4,91
Açık Sistem HPC Giderimi	log CFU/ g Katı Madde	2,06	3,81	1,12
Kapalı Sistem HPC Giderimi	log CFU/ g Katı Madde	3,34	5,29	4,64

Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunda tüm parametreler için en yüksek giderim verimi kapalı sistemde Haziran ayındaki çalışmada gerçekleşirken, en düşük giderim verimi Eylül ayındaki çalışmada açık sistemde gerçekleşmiştir.

Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarına serilen Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren Çamurları ANONİM 1999b'ye göre incelersek;

- Açık sistemde Mart ve Haziran aylarındaki çalışmalarda kurutulmaya bırakılan çamurlar Fekal Koliform'da US EPA A sınıfına uygun değerler verirken (2,56 ve 1,95 log MPN/ g Katı Madde), Eylül ayında kurutulmaya bırakılan çamur Fekal Koliform'da ancak US EPA B sınıfına uygun değerler vermiştir. (4,04 log MPN/ g Katı Madde).
- Kapalı sistemde ise her 3 dönemde de kurutulmaya bırakılan çamurlar Fekal Koliform'da US EPA A sınıfına uygun değerler vermiştir. Hatta Mart ve Haziran ayında kuruma süreci sonunda kapalı sistemde fekal koliform bile tespit edilememiştir. (0,00 log MPN/ g Katı Madde).

Kapalı sistemde bu katkı maddesi kullanılarak uygun bir kuruma ve mikrobiyal giderim gözlemlenmektedir. Bu katkı maddesinin bu kadar iyi bir mikrobiyal giderim meydana getirmesinin sebebi ANDREAKIS (1999) belirttiği gibi sönmemiş kirecin katılması ile oluşan yüksek sıcaklık ve yükselen ve uzun süre değerini koruyabilen pH'tır. Bizim çalışmamızda da Sönmemiş kireç ilavesi sonucu pH kapalı sistemde 3 dönem için uzun bir süre 11,5 değerinin üzerinde kalmıştır. Ama ANDREAKIS (1999) belirttiği gibi havadaki karbondioksit sebebi ile belli bir süreden sonra pH düşüşü kapalı sistemde de gözlemlenmektedir. Açık sistemde ise yağış, karbondioksit ve tekrar oluşmaya başlayan mikrobiyal aktivite sonucu salınana karbondioksit yüzünden pH kapalı sisteme göre çok daha hızlı bir şekilde düşmüştür. Bu sayede kuruma süreci sonunda elde edilen mikrobiyal değerler kapalı sisteme göre daha yüksek olmuştur.

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki Fekal Koliform değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Fekal Koliform parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem Fekal Koliform Değişimi	Kapalı Sistem Fekal Koliform Değişimi
Mart			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	6,03	6,03
7	8,75	9	27,26	28,44	5,75	4,21
14	8,24	8,4	33,00	34,04	4,66	4,13
21	7,77	7,71	39,00	43,24	4,04	4,32
28	7,2	7,28	45,06	47,98	2,98	3,64
35	7,29	7,71	62,71	71,90	2,56	2,99
43	7,32	7,59	70,01	91,06	3,54	3,42
52	7,28	7,56	78,68	95,87	2,63	1,93
Haziran			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	6,53	6,53
7	7,14	7,14	25,96	24,89	6,55	6,21
10	9,14	9,25	49,01	51,44	5,69	5,26
18	9,09	8,99	56,30	76,10	4,88	4,48
23	7,92	8,64	74,92	89,97	5,09	3,00
25	7,9	8,66	78,55	88,88	4,74	2,41
30	8	8,39	53,33	81,56	6,31	2,73
37	8,08	8,38	79,45	98,06	4,63	2,36
Eylül			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	6,60	6,60
7	8,12	8,54	38,14	40,89	5,08	4,77
14	7,66	8,99	44,02	50,68	6,40	5,67
21	7,76	8,82	53,05	55,64	5,24	4,63
28	8,21	8	47,51	59,02	6,37	5,61
35	7,51	7,6	49,97	67,14	6,68	4,81
42	7,54	7,61	46,74	81,15	5,99	4,75
49	7,39	7,54	63,68	84,03	5,16	3,46
59	7,36	7,86	58,30	92,02	5,66	3,66

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki Toplam Koliform değerleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Toplam Koliform parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem Toplam Koliform Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Koliform Değişimi
Mart			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	6,27	6,27
7	8,75	9,00	27,26	28,44	5,20	5,18
14	8,24	8,40	33,00	34,04	5,45	4,64
21	7,77	7,71	39,00	43,24	4,77	4,73
28	7,20	7,28	45,06	47,98	3,52	4,29
35	7,29	7,71	62,71	71,90	3,58	3,51
43	7,32	7,59	70,01	91,06	4,20	4,08
52	7,28	7,56	78,68	95,87	3,58	2,84
Haziran			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	7,04	7,04
7	7,14	7,14	25,96	24,89	7,25	6,96
10	9,14	9,25	49,01	51,44	6,35	5,95
18	9,09	8,99	56,30	76,10	5,63	5,50
23	7,92	8,64	74,92	89,97	5,79	3,65
25	7,90	8,66	78,55	88,88	5,28	4,43
30	8,00	8,39	53,33	81,56	7,01	3,47
37	8,08	8,38	79,45	98,06	5,38	2,97
Eylül			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	7,29	7,29
7	8,12	8,54	38,14	40,89	6,08	6,05
14	7,66	8,99	44,02	50,68	7,40	6,34
21	7,76	8,82	53,05	55,64	5,94	7,63
28	8,21	8,00	47,51	59,02	6,27	6,99
35	7,51	7,60	49,97	67,14	7,34	5,55
42	7,54	7,61	46,74	81,15	6,71	5,47
49	7,39	7,54	63,68	84,03	5,86	4,12
59	7,36	7,86	58,30	92,02	6,04	4,38

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki HPC değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.24'te verilmiştir.

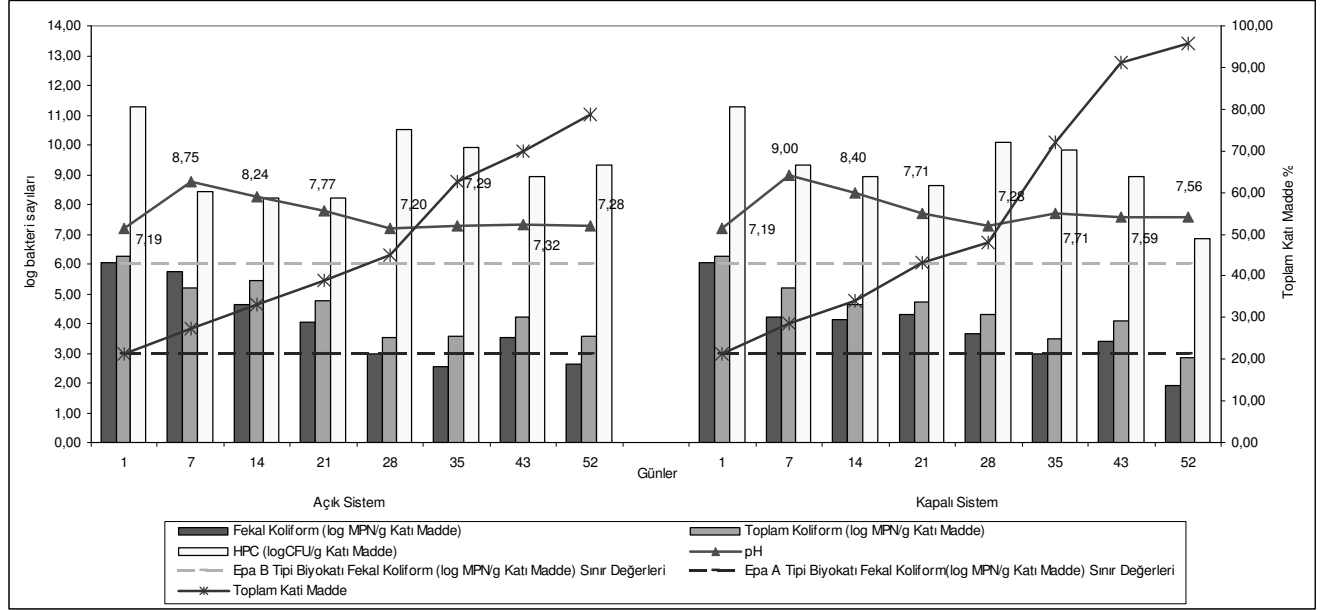


Çizelge 4.24: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre HPC parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem HPC Değişimi	Kapalı Sistem HPC Değişimi
Mart			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	11,26	11,26
7	8,75	9,00	27,26	28,44	8,41	9,31
14	8,24	8,40	33,00	34,04	8,23	8,93
21	7,77	7,71	39,00	43,24	8,19	8,65
28	7,20	7,28	45,06	47,98	10,51	10,09
35	7,29	7,71	62,71	71,90	9,92	9,82
43	7,32	7,59	70,01	91,06	8,94	8,92
52	7,28	7,56	78,68	95,87	9,30	6,83
Haziran			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	11,29	11,29
7	7,14	7,14	25,96	24,89	11,25	10,91
10	9,14	9,25	49,01	51,44	10,22	10,14
18	9,09	8,99	56,30	76,10	9,73	9,60
23	7,92	8,64	74,92	89,97	9,93	8,53
25	7,90	8,66	78,55	88,88	9,89	8,58
30	8,00	8,39	53,33	81,56	10,55	8,82
37	8,08	8,38	79,45	98,06	9,68	7,98
Eylül			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	10,16	10,16
7	8,12	8,54	38,14	40,89	9,89	9,94
14	7,66	8,99	44,02	50,68	10,58	9,17
21	7,76	8,82	53,05	55,64	10,70	9,09
28	8,21	8,00	47,51	59,02	10,65	9,43
35	7,51	7,60	49,97	67,14	10,86	8,67
42	7,54	7,61	46,74	81,15	10,79	8,55
49	7,39	7,54	63,68	84,03	10,44	7,61
59	7,36	7,86	58,30	92,02	10,64	7,84

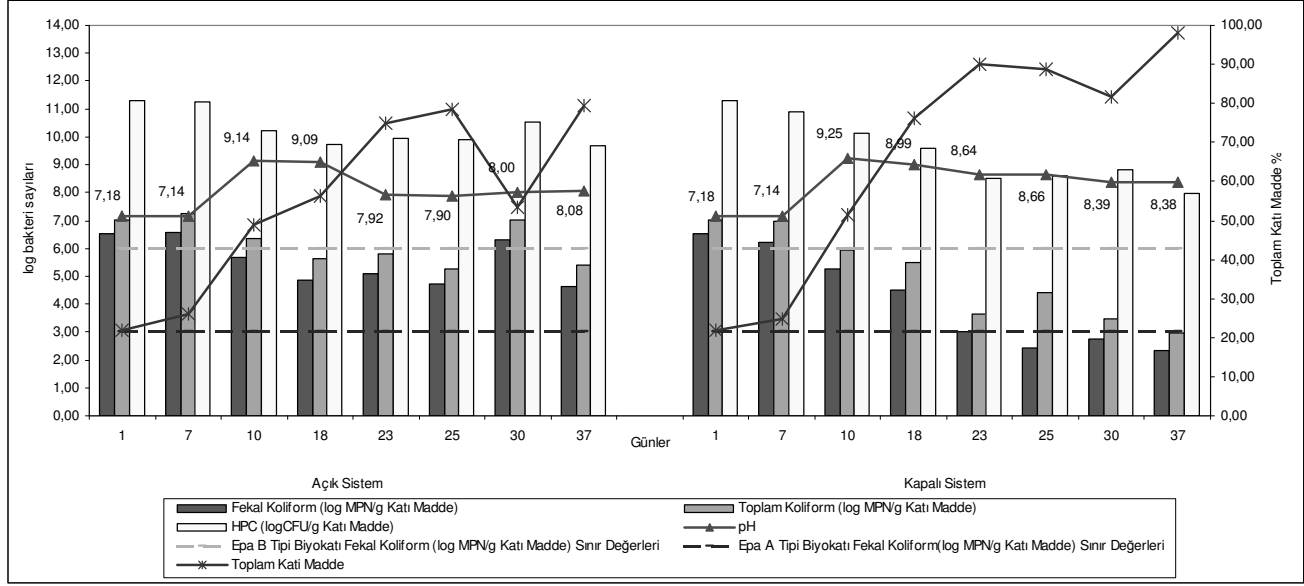
Mart döneminde çamur ilk serildiğinde 6,03 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 2,63 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 1,93 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 6,27 log MPN/g Katı Madde iken 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 3,58 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 2,84 log MPN/g Katı Madde'ye

düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 11,26 log MPN/g Katı Madde iken 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 9,30 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 6,83 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.19'te verilmiştir.



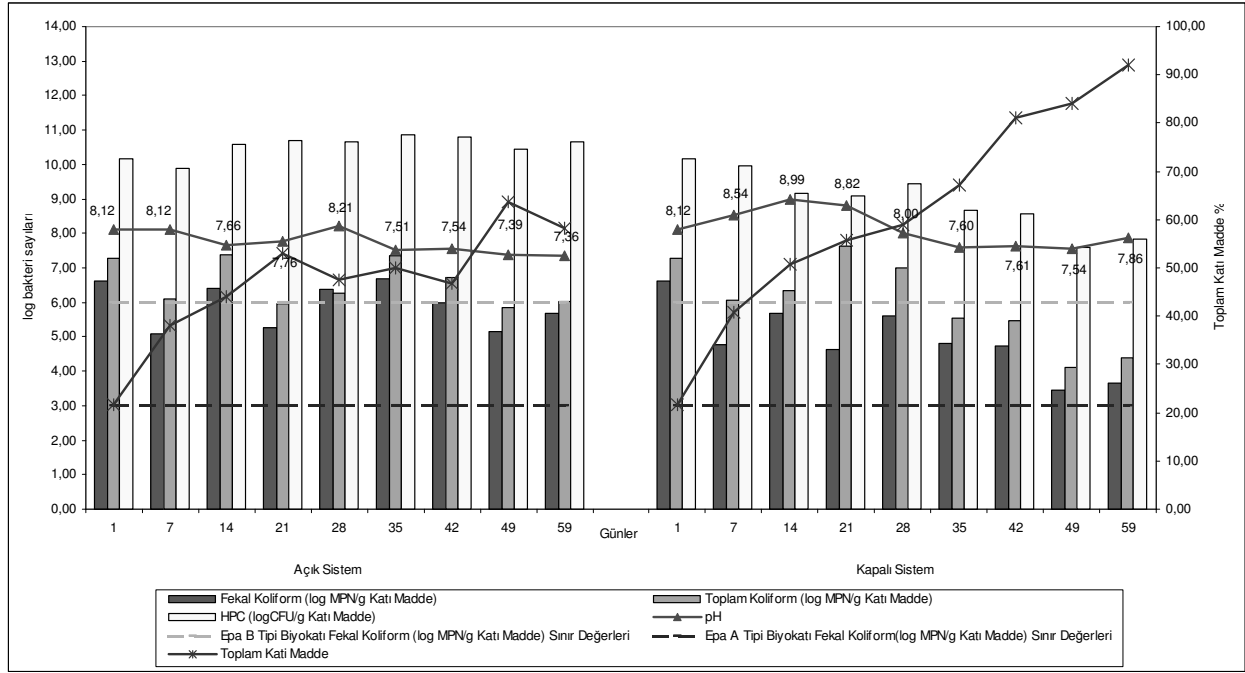
Şekil 4.19: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

Haziran döneminde çamur ilk serildiğinde 6,53 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 4,63 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 2,36 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 7,04 log MPN/g Katı Madde iken 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 5,38 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 2,97 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 11,29 log MPN/g Katı Madde iken 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 9,68 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 7,98 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.20'te verilmiştir.



Şekil 4.20: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

Eylül döneminde çamur ilk serildiğinde 6,60 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 5,66 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 3,66 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 7,29 log MPN/g Katı Madde iken 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 10,64 log MPN/g Katı Madde'ye yükselmiş , kapalı sistemde 7,84 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 10,16 log MPN/g Katı Madde iken 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 10,64 log MPN/g Katı Madde'ye yükselmiş , kapalı sistemde 7,84 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.21'te verilmiştir.



Şekil 4.21: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

Genel anlamda Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamurunda kuruma süreçleri boyunca meydana gelen mikrobiyal giderimler Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.25: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamurunda mikrobiyal giderimlerde dönemlere göre değişimler.

Parametre	Birim	Mart	Haziran	Eylül
Açık Sistem Fekal Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	3,47	4,58	0,94
Kapalı Sistem Fekal Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	6,03	6,53	2,94
Açık Sistem Toplam Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	2,98	4,41	1,66
Kapalı Sistem Toplam Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	3,10	6,08	2,91
Açık Sistem HPC Giderimi	log CFU/ g Katı Madde	2,06	3,81	-0,48
Kapalı Sistem HPC Giderimi	log CFU/ g Katı Madde	3,34	5,29	2,32

Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamurunda tüm parametreler için en yüksek giderim verimi kapalı sistemde Haziran ayındaki çalışmada gerçekleşirken, en düşük giderim verimi Eylül ayındaki çalışmada açık sistemde gerçekleşmiştir.

Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarına serilen Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren Çamurları incelersek;

- Açık sistemde Mart ayındaki çalışmalarda kurutulmaya bırakılan çamurlar Fekal Koliform'da US EPA A sınıfına uygun değer vermiştir.(2,63 log MPN/ g Katı Madde). Haziran ve Eylül ayında kurutulmaya bırakılan çamur ancak Fekal Koliform'da US EPA B sınıfına uygun değerler verebilmiştir. (4,63 ve 5,66 log MPN/ g Katı Madde). Bunun sebebi Haziran döneminde mikrobiyal büyümeye uygun sıcaklık koşullarının olması, Eylül döneminde ise açık sistemdeki nemin hala % 40'lar düzeyini koruması olarak gösterilebilir.
- Kapalı sistemde ise Mart ve Haziran aylarında kurutulmaya bırakılan çamurlar Fekal Koliform'da US EPA A sınıfına uygun değerler vermiştir (1,93 ve 2,36 log MPN/ g Katı Madde) . Fakat Eylül çalışmasında kuruma süreci sonunda kapalı sistemde fekal koliform ancak US EPA B sınıfına uygun bir değer vermiştir. (3,66 log MPN/ g Katı Madde)

KOCAER, ve BAŞKAYA, 2004 yaptıkları çalışmada Termik Santral Uçucu Külünün, tek başına Sönmemiş Kireç kadar iyi bir stabilizasyon maddesi olmadığını belirtmiştir. Bunun sebebi de pH değerinin mikrobiyal yaşamı tehlikeye atacak bir pH değerine erişememesidir. Külün mikrobiyal stabilizasyona etkisi ancak kuruluğu sebebi ile kümülatif katkı ile çamurun katı madde oranını azaltması, kuruluk değerini % 50'nin üzerine çıkarması ve mikrobiyal faaliyeti yavaşlatmasıdır. Elde ettiğimiz sonuçlardan da bu rahatlıkla görülmektedir.

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki Fekal Koliform değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.26'de verilmiştir.

Çizelge 4.26: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Fekal Koliform parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem Fekal Koliform Değişimi	Kapalı Sistem Fekal Koliform Değişimi
Mart			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	6,03	6,03
7	11,47	12,11	31,05	29,86	5,74	3,57
14	10,27	11,45	37,04	37,96	4,07	3,46
21	8,88	10,46	40,96	44,44	3,75	3,31
28	8,41	9,17	46,56	49,01	2,46	2,26
35	8,48	8,88	64,24	73,07	3,57	2,09
43	8,27	8,88	71,24	91,44	2,53	3,42
52	8,25	8,85	79,53	96,04	2,24	1,93
Haziran			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	6,53	6,53
7	7,14	7,14	25,16	28,93	6,55	6,21
10	12,12	12,14	51,24	53,73	5,95	3,87
18	11,81	12,00	58,41	77,31	4,60	4,47
23	9,26	11,77	76,11	91,00	4,48	2,64
25	9,17	11,69	80,48	92,00	4,05	2,40
30	8,33	8,60	53,96	83,71	5,65	2,44
37	8,40	8,84	81,78	97,01	3,95	1,60
Eylül			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	6,60	6,60
7	9,03	12,34	42,18	44,10	3,34	2,31
14	8,83	11,92	50,08	56,23	4,96	4,91
21	8,61	11,75	56,51	63,54	5,63	3,83
28	8,36	11,45	50,06	71,95	6,68	5,52
35	8,20	8,99	55,72	73,99	3,62	4,09
42	8,14	8,99	52,65	82,83	5,66	3,72
49	8,00	8,79	66,77	85,45	5,14	3,04
59	7,50	8,79	60,12	92,42	4,97	2,97

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki Toplam Koliform değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.27'te verilmiştir.

Çizelge 4.27: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH'a göre Toplam Koliform parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem Toplam Koliform Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Koliform Değişimi
Mart			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	6,27	6,27
7	11,47	12,11	31,05	29,86	5,55	4,57
14	10,27	11,45	37,04	37,96	5,11	4,05
21	8,88	10,46	40,96	44,44	4,75	3,53
28	8,41	9,17	46,56	49,01	3,56	2,94
35	8,48	8,88	64,24	73,07	4,23	2,50
43	8,27	8,88	71,24	91,44	3,53	3,70
52	8,25	8,85	79,53	96,04	2,93	2,56
Haziran			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	7,04	7,04
7	7,14	7,14	25,16	28,93	7,25	6,96
10	12,12	12,14	51,24	53,73	6,33	4,63
18	11,81	12,00	58,41	77,31	5,20	5,08
23	9,26	11,77	76,11	91,00	4,75	3,64
25	9,17	11,69	80,48	92,00	4,77	4,02
30	8,33	8,60	53,96	83,71	6,31	3,05
37	8,40	8,84	81,78	97,01	4,97	2,36
Eylül			(%)		log MPN/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	7,29	7,29
7	9,03	12,34	42,18	44,10	4,42	4,77
14	8,83	11,92	50,08	56,23	5,68	4,91
21	8,61	11,75	56,51	63,54	6,29	4,86
28	8,36	11,45	50,06	71,95	6,18	7,34
35	8,20	8,99	55,72	73,99	4,63	4,76
42	8,14	8,99	52,65	82,83	6,32	4,47
49	8,00	8,79	66,77	85,45	5,84	3,73
59	7,50	8,79	60,12	92,42	5,66	3,66

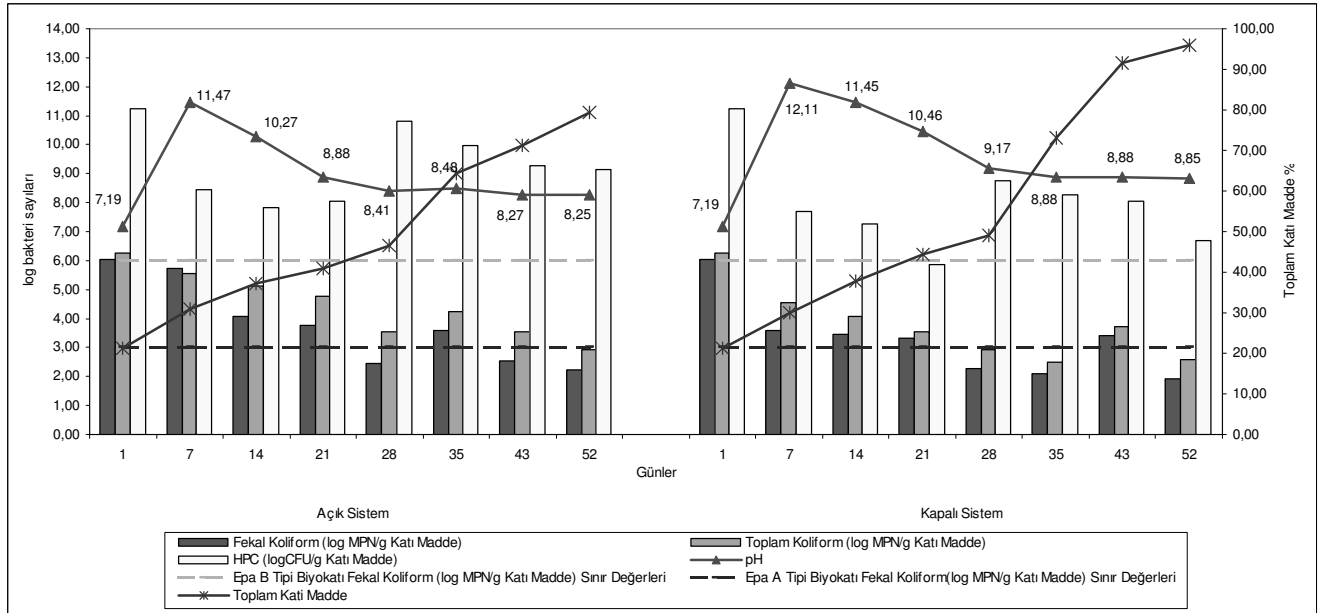
Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunun Toplam katı madde ve pH'a göre açık ve kapalı sistemlerdeki HPC değişimleri Mart, Haziran ve Eylül çalışması için Çizelge 4.28'te verilmiştir.

Çizelge 4.28: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamuru toplam katı madde ve pH' a göre HPC parametresinde meydana gelen değişimler.

Gün	Açık Sistem pH Değişimi	Kapalı Sistem pH Değişimi	Açık Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Kapalı Sistem Toplam Katı Madde Değişimi	Açık Sistem HPC Değişimi	Kapalı Sistem HPC Değişimi
Mart			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	7,19	7,19	21,36	21,36	11,26	11,26
7	11,47	12,11	31,05	29,86	8,46	7,70
14	10,27	11,45	37,04	37,96	7,85	7,25
21	8,88	10,46	40,96	44,44	8,06	5,86
28	8,41	9,17	46,56	49,01	10,79	8,76
35	8,48	8,88	64,24	73,07	9,96	8,26
43	8,27	8,88	71,24	91,44	9,26	8,05
52	8,25	8,85	79,53	96,04	9,12	6,71
Haziran			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	7,18	7,18	21,93	21,93	11,29	11,29
7	7,14	7,14	25,16	28,93	11,25	10,91
10	12,12	12,14	51,24	53,73	10,04	9,72
18	11,81	12,00	58,41	77,31	9,25	9,50
23	9,26	11,77	76,11	91,00	9,71	8,14
25	9,17	11,69	80,48	92,00	9,51	8,40
30	8,33	8,60	53,96	83,71	9,59	8,31
37	8,40	8,84	81,78	97,01	9,46	7,51
Eylül			(%)		log CFU/ g Katı Madde	
1	8,12	8,12	21,63	21,63	10,16	10,16
7	9,03	12,34	42,18	44,10	8,84	8,82
14	8,83	11,92	50,08	56,23	9,77	8,71
21	8,61	11,75	56,51	63,54	9,33	8,52
28	8,36	11,45	50,06	71,95	10,23	8,46
35	8,20	8,99	55,72	73,99	9,59	7,72
42	8,14	8,99	52,65	82,83	10,00	7,59
49	8,00	8,79	66,77	85,45	9,77	7,40
59	7,50	8,79	60,12	92,42	9,47	6,91



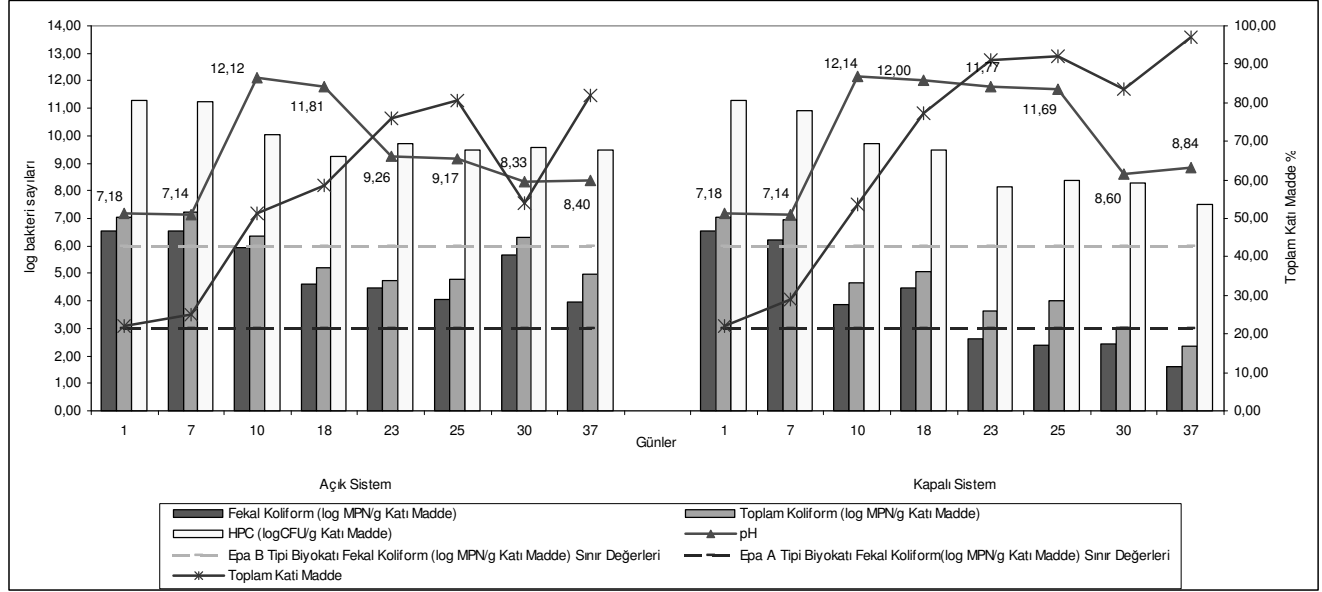
Mart döneminde çamur ilk serildiğinde 6,03 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 2,24 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 1,93 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 6,27 log MPN/g Katı Madde iken 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 2,93 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 2,56 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 11,26 log MPN/g Katı Madde iken 52 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 9,12 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 6,71 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.22'te verilmiştir.



Şekil 4.22: Mart döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

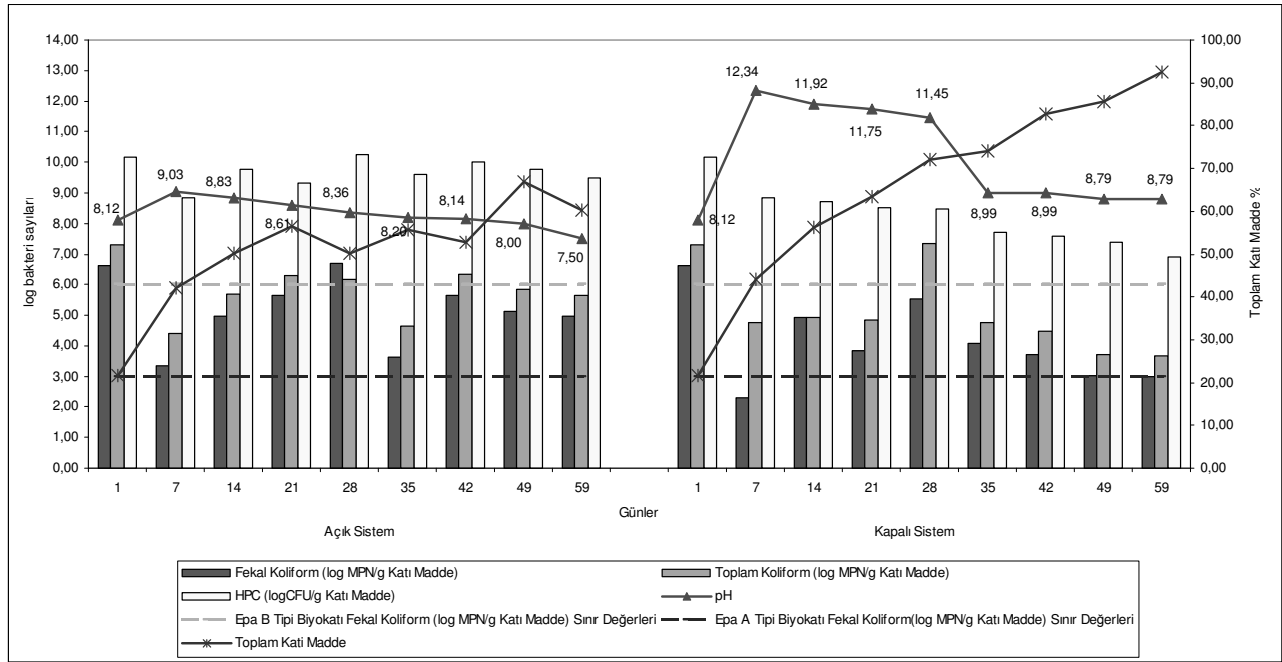
Haziran döneminde çamur ilk serildiğinde 6,53 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 3,95 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 1,60 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 7,04 log MPN/g Katı Madde iken 37 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 4,97 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 2,36 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 11,29 log MPN/g Katı Madde iken 37 gün'lük kuruma

süreci sonunda açık sistemde 9,46 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 7,51 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23: Haziran döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'a göre değişimleri.

Eylül döneminde çamur ilk serildiğinde 6,60 log MPN/g Katı Madde olan Fekal Koliform değeri 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 4,97 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 2,97 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Toplam Koliform ise ilk serildiğinde 7,29 log MPN/g Katı Madde iken 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 5,66 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 3,66 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. HPC ise ilk serildiğinde 10,16 log MPN/g Katı Madde iken 59 gün'lük kuruma süreci sonunda açık sistemde 9,47 log MPN/g Katı Madde'ye , kapalı sistemde 6,91 log MPN/g Katı Madde'ye düşmüştür. Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağında meydana gelen ayrıntılı değişimler Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24: Eylül döneminde açık ve kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru mikrobiyal değişimlerinin toplam katı maddeye ve pH'ya göre değişimleri.

Genel anlamda Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunda kuruma süreçleri boyunca meydana gelen mikrobiyal giderimler Çizelge 4.29'de verilmiştir.

Çizelge 4.29: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç İçeren İnegöl Arıtma Çamurunda mikrobiyal giderimlerde dönemlere göre değişimler.

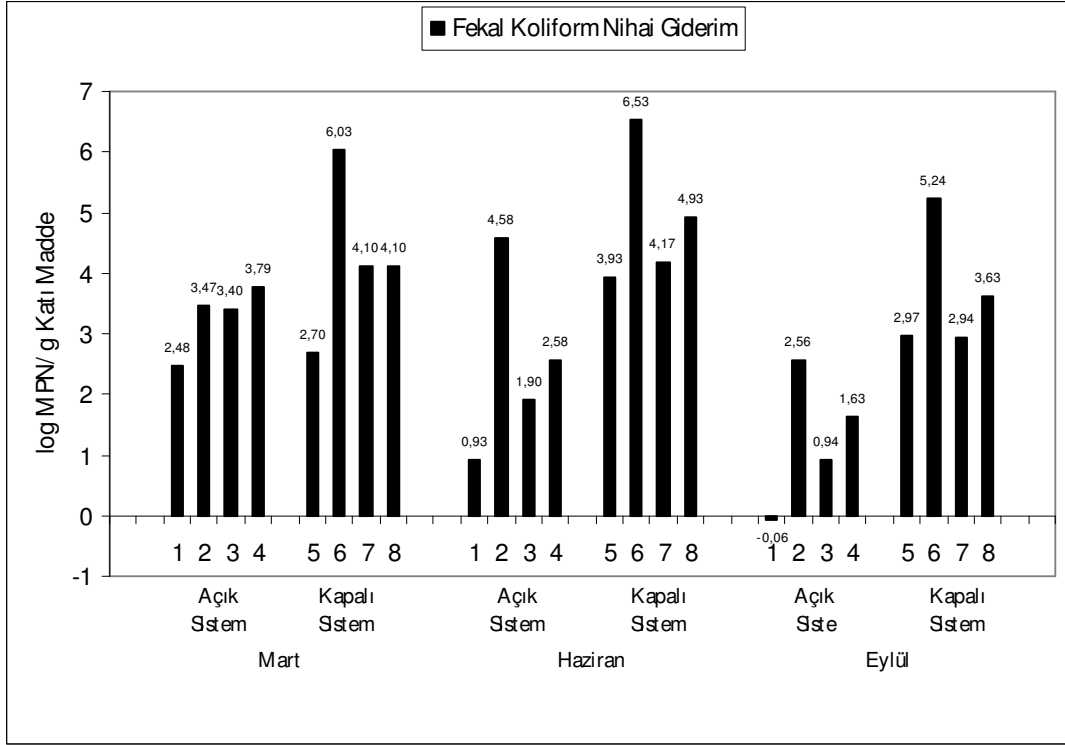
Parametre	Birim	Mart	Haziran	Eylül
Açık Sistem Fekal Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	3,79	2,58	1,63
Kapalı Sistem Fekal Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	4,10	4,93	3,63
Açık Sistem Toplam Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	3,34	2,07	2,07
Kapalı Sistem Toplam Koliform Giderimi	log MPN/ g Katı Madde	3,71	4,68	3,63
Açık Sistem HPC Giderimi	log CFU/ g Katı Madde	2,14	1,82	0,69
Kapalı Sistem HPC Giderimi	log CFU/ g Katı Madde	4,56	3,78	3,25

Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece %6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamurunda tüm parametreler için en yüksek giderim verimi kapalı sistemde Haziran ayındaki çalışmada gerçekleşirken, en düşük giderim verimi Eylül ayındaki çalışmada açık sistemde gerçekleşmiştir.

Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarına serilen Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren Çamurları incelersek;

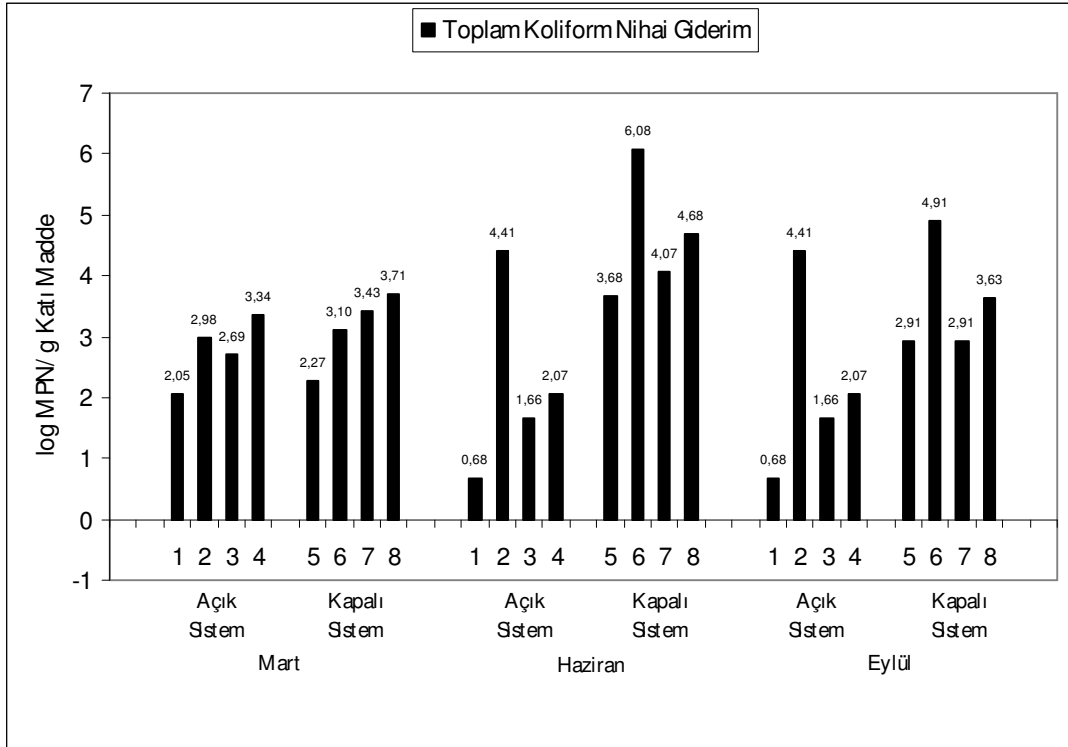
- Açık sistemde Mart ayındaki çalışmalarda kurutulmaya bırakılan çamurlar Fekal Koliform'da US EPA A sınıfına uygun değer vermiştir.(2,24 log MPN/ g Katı Madde). Haziran ve Eylül ayında kurutulmaya bırakılan çamur Fekal Koliform'da ancak US EPA B sınıfına uygun değerler verebilmiştir. (3,95 ve 4,97 log MPN/ g Katı Madde). Bunun sebebi Haziran döneminde mikrobiyal büyümeye uygun sıcaklık koşullarının olması, Eylül döneminde ise açık sistemdeki nemin hala % 40'lar düzeyini koruması gösterilebilir.
- Kapalı sistemde ise 3 dönemde de kurutulmaya bırakılan çamurlar Fekal Koliform'da US EPA A sınıfına uygun değerler vermiştir (1,93, 1,60 ve 2,97 log MPN/ g Katı Madde) . Bu da bize Termik Santral Uçucu Külünün, Sönmemiş Kireçle birlikte pH 12'nin üstüne çıkarması ile birlikte iyi bir stabilizasyon maddesi olabileceğini gösterir. Ancak sonuçlar incelenirse bu uygunluk sadece kapalı sistem için geçerlidir ve Sönmemiş Kireç giderimde daha başarılıdır. Bunun da sebebi, tek başına Sönmemiş Kirecin pH'ı 12'de diğer katkı maddesine göre daha uzun tutmasıdır.

Mikrobiyal değişimlerle ilgili olarak yapılan deneylere bir genel bakış sağlaması amacıyla, tüm çamur çeşitlerinde ve sistemlerde meydana gelen fekal koliform değişimleri Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



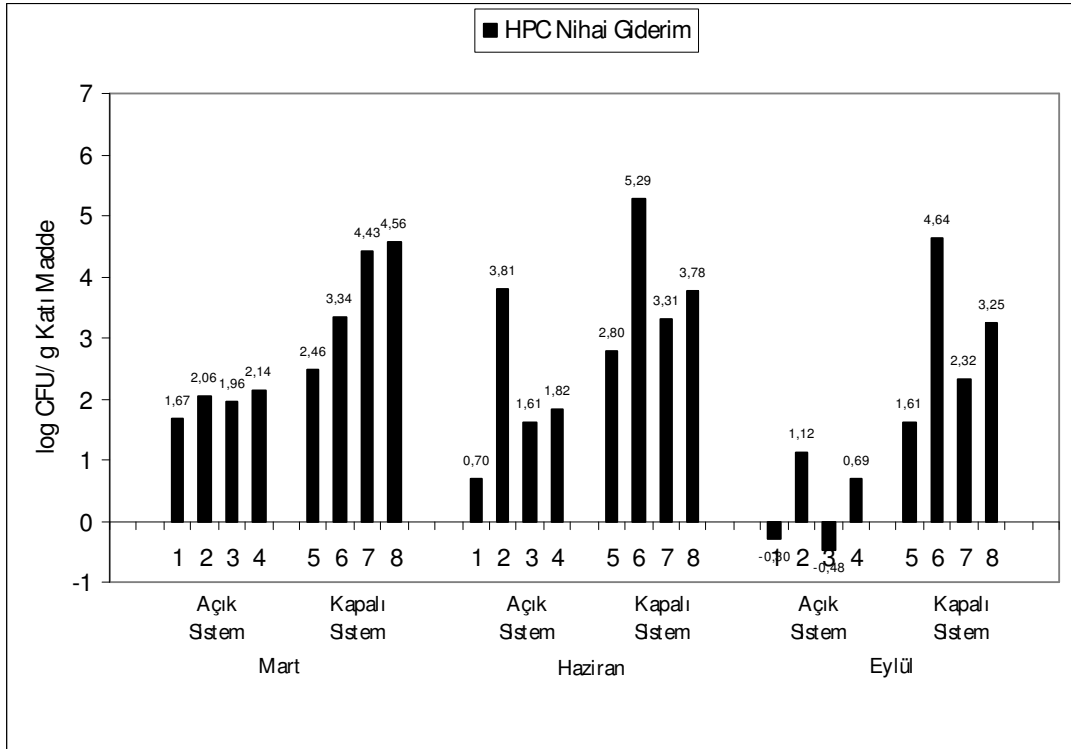
Şekil 4.25: Açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda meydana gelen fekal koliform değişimleri. ( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

Tüm çamur çeşitlerinde ve sistemlerde meydana gelen toplam koliform değişimleri Şekil 4.26’te gösterilmiştir.



Şekil 4.26: Açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda meydana gelen toplam koliform değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

Tüm çamur çeşitlerinde ve sistemlerde meydana gelen HPC değişimleri Şekil 4.27’te gösterilmiştir.



Şekil 4.27: Açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda meydana gelen HPC değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

Ham çamur, Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren çamur, Katı Maddece % 40 Termik Santral Külü içeren çamur, Katı Maddece % 40 Termik Santral Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren çamur örneklerinin Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarında kurutulması sonucunda, mikroorganizmaların gideriminde en etkili olan yöntemin, Sönmemiş Kireç ile kapalı ortamda kurutma olduğu sonucuna varılmıştır. Bunu uçucu kül ve sönmemiş kireç karışımı takip etmiştir.

Çalışmayı bir de toplam Koliform açısından incelersek, Toplam Koliform'un, Fekal Koliforma göre sönmemiş kirece daha dayanıklı olduğunu söyleyebiliriz. Fakat yine de Toplam Koliform gideriminde en başarılı katkı maddesi sönmemiş kireç olmuştur.

HPC açısından çalışmayı incelersek, HPC'nin Toplam Koliform ve Fekal Koliforma göre daha geniş bir mikroorganizma grubunu kapsamaması onu daha dayanıklı kılmaktadır. Ama HPC gideriminde de en başarılı katkı maddesi yine sönmemiş kireç olmuştur.

Sonuç olarak Kapalı Sistemde kurutulmuş ve Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma çamuru bize ANONİM 1999b'ye göre US EPA standartları açısından en uygun değeri vermektedir. Bu çamurda Helminth Yumurtası değerlerine bakılması ve uygun değerlerin elde edilmesi durumunda, her hangi bir sınırlama olmaksızın bu çamur her türlü faaliyette güvenle kullanılabilir.

#### **4.3. Açık ve Kapalı Sistemlerde Kurutulan Çamurlarda Nem İçeriğindeki Artışa Bağlı olarak Oluşabilecek Potansiyel Bakteri Büyümesinin Kıyaslanması**

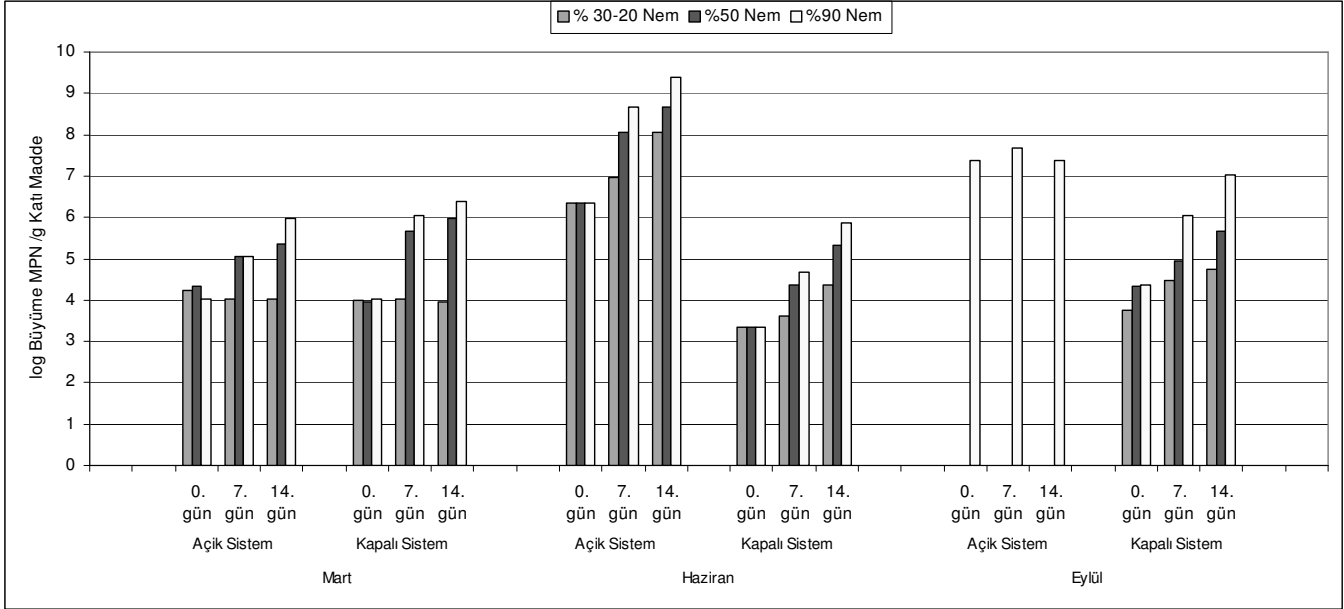
Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş İnegöl Arıtma Çamurlarının kuruma süreci sonunda alınan örnekleri % 90, % 50, % 30(Açık Sistem) ve % 20 (Kapalı Sistem) nemlilik değerlerine getirilerek üzerlerinde sonradan büyüme çalışması yapılmıştır. Açık Sistemde kuruma sürecinde arıtma çamurlarının nemleri % 20'nin altına düşmediği için % 30 nemlilik değeri seçilmiş ve karşılaştırmalar buna göre yapılmıştır. Hatta Eylül çalışmasında nem değeri % 50'nin altına düşmemiş arıtma çamurları dahi vardır. Bu bakımdan bazı nem değerlerinde çalışma istenen nem koşulları sağlanamadığı için yapılamamıştır.

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Ham İnegöl Arıtma Çamuru kuruma süreci sonrası yapılan sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri Çizelge 4.30'da, grafiksel değişimler Şekil 4.28'te gösterilmiştir.



Çizelge 4.30: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	3,56	3,33	3,68	3,27	3,38	3,38
7. gün	3,38	3,38	4,66	4,04	5,04	5,04
14. gün	3,36	3,18	5,63	4,95	5,97	5,63
Nihai Büyüme	-0,19	-0,15	1,95	1,68	2,59	2,25
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	5,60	2,60	5,95	2,60	5,60	2,60
7. gün	6,36	2,95	7,38	3,63	8,04	4,18
14. gün	7,38	3,32	8,32	4,45	8,88	5,18
Nihai Büyüme	1,78	0,72	2,37	1,85	3,27	2,57
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	3,06	-	6,66	3,63	4,38
7. gün	-	3,46	-	6,97	5,38	6,04
14. gün	-	3,73	-	7,36	6,38	7,04
Nihai Büyüme	-	0,67	-	0,70	2,75	2,66



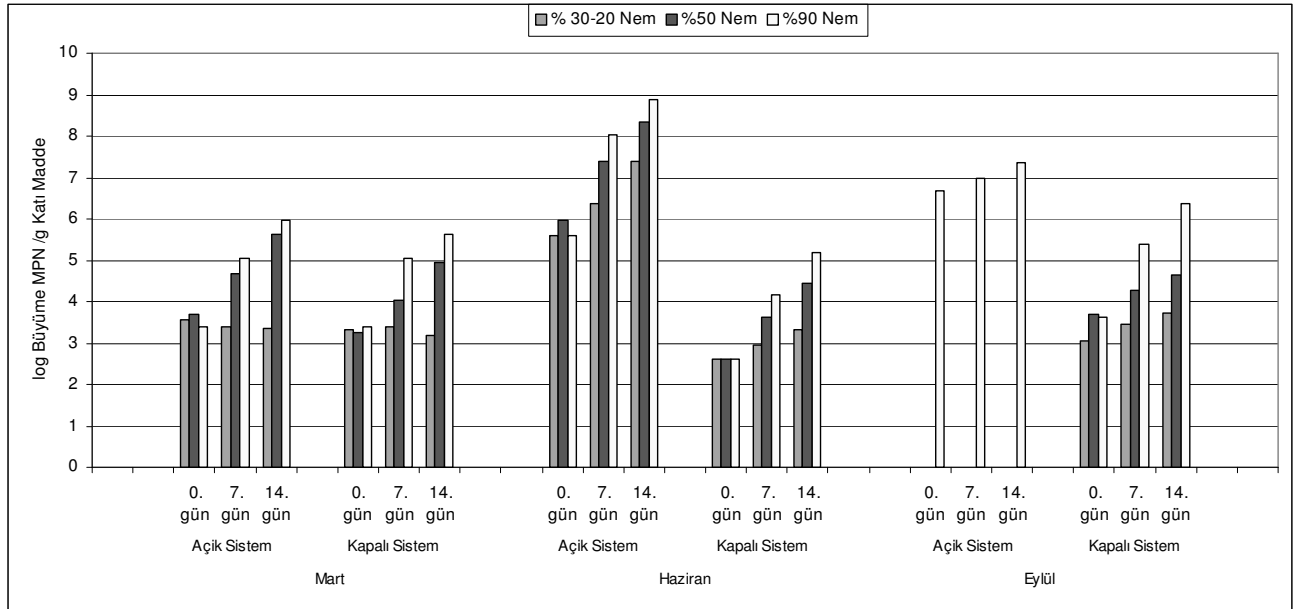
Şekil 4.28: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Fekal Koliformda en yüksek nihai büyüme Haziran döneminde açık sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (8,88 log MPN/ g Katı Madde) en yüksek nihai azalma Mart döneminde kapalı sistemden alınan % 20 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (3,18 log MPN/ g Katı Madde).

Toplam Koliform değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri ise Çizelge 4.31’da ve Şekil 4,29’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.31: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	4,22	4,00	4,34	3,96	4,04	4,04
7. gün	4,04	4,04	5,04	5,66	5,04	6,04
14. gün	4,04	3,97	5,36	5,97	5,97	6,38
Nihai Büyüme	-0,18	-0,04	1,02	2,00	1,93	2,34
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	6,36	3,36	6,36	3,36	6,36	3,36
7. gün	6,97	3,63	8,04	4,38	8,66	4,66
14. gün	8,04	4,38	8,66	5,32	9,38	5,88
Nihai Büyüme	1,68	1,02	2,30	1,96	3,02	2,51
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	3,76	-	4,34	7,38	4,38
7. gün	-	4,48	-	4,96	7,66	6,04
14. gün	-	4,76	-	5,68	7,36	7,04
Nihai Büyüme	-	1,00	-	1,34	-0,02	2,66



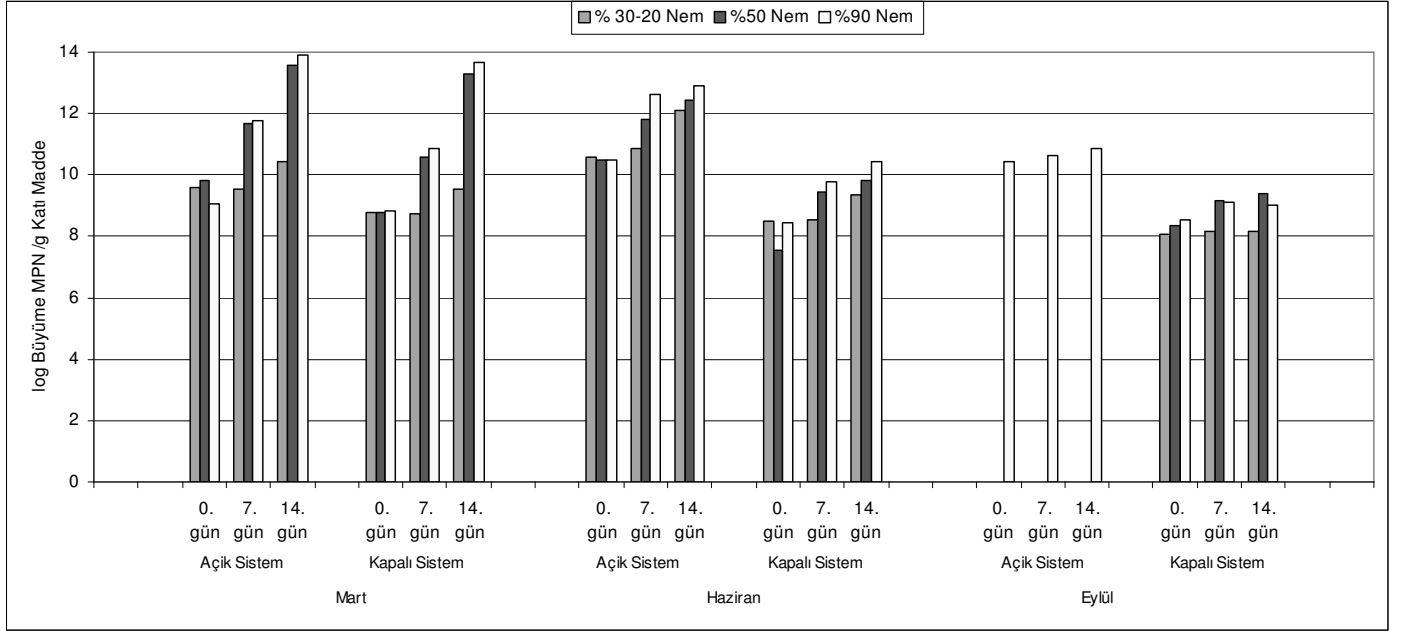
Şekil 4.29: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Toplam Koliformda en yüksek nihai büyüme Haziran döneminde kapalı sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (9,38 log MPN/ g Katı Madde) en yüksek nihai azalma Mart döneminde açık sistemden alınan % 20 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (4,04 log MPN/ g Katı Madde).

HPC değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri de Çizelge 4.32’de ve Şekil 4.30’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.32: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	9,59	8,80	9,82	8,79	9,06	8,81
7. gün	9,56	8,74	11,65	10,60	11,75	10,85
14. gün	10,45	9,53	13,55	13,27	13,93	13,65
Nihai Büyüme	0,86	0,73	3,73	4,48	4,86	4,84
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	10,59	8,49	10,49	7,53	10,48	8,46
7. gün	10,85	8,56	11,83	9,43	12,62	9,76
14. gün	12,11	9,33	12,44	9,81	12,90	10,44
Nihai Büyüme	1,52	0,84	1,95	2,27	2,42	1,97
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	8,08	-	8,36	10,46	8,56
7. gün	-	8,16	-	9,14	10,65	9,10
14. gün	-	8,17	-	9,38	10,86	9,00
Nihai Büyüme	-	0,09	-	1,01	0,40	0,44



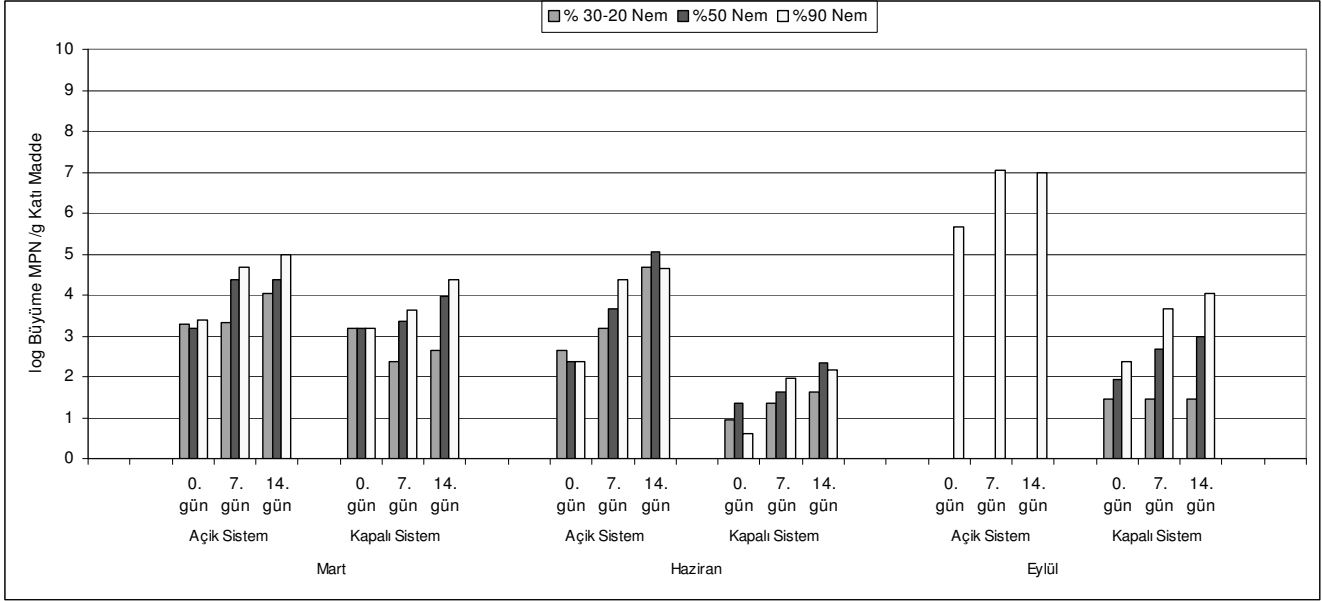
Şekil 4.30: Ham İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

HPC’de en yüksek nihai büyüme Mart döneminde açık sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (13,93 log MPN/ g Katı Madde) en düşük nihai büyüme Eylül döneminde açık sistemden alınan % 20 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (3,97 log MPN/ g Katı Madde).

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru kuruma süreci sonrası yapılan sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri Çizelge 4.33’da, grafiksel değişimler Şekil 4.31’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.33: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	2,56	0,00	2,48	0,00	2,63	0,00
7. gün	2,88	0,00	3,38	0,00	4,04	0,00
14. gün	3,18	0,00	3,60	0,00	3,95	0,00
Nihai Büyüme	0,61	0,00	1,12	0,00	1,32	0,00
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	1,95	0,00	1,60	0,00	1,60	0,00
7. gün	2,63	0,00	2,97	0,00	3,38	0,00
14. gün	3,56	0,00	4,38	0,00	3,95	0,00
Nihai Büyüme	1,60	0,00	2,78	0,00	2,35	0,00
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	0,70	-	1,26	4,04	1,36
7. gün	-	0,70	-	1,26	6,38	2,36
14. gün	-	0,70	-	1,66	6,36	2,97
Nihai Büyüme	-	0,00	-	0,41	2,32	1,61



Şekil 4.31: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

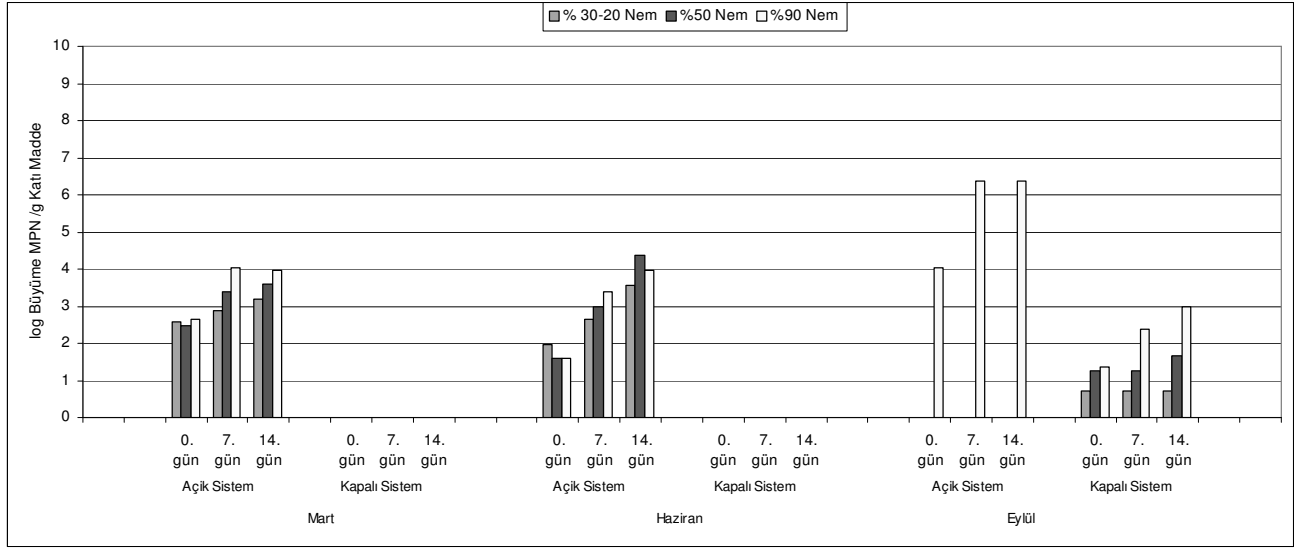
Fekal Koliformda en yüksek nihai büyüme Haziran döneminde açık sistemden alınan % 50 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (4,38 log MPN/ g Katı Madde) en düşük nihai büyüme Mart ve Haziran döneminde kapalı sistemden alınan % 20 Nem içeren arıtma çamurlarında gerçekleşmiştir (0,00 log MPN/ g Katı Madde).

Toplam Koliform değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri ise Çizelge 4.34'da ve Şekil 4,32'da gösterilmiştir.



Çizelge 4.34: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	3,29	3,18	3,18	3,18	3,38	3,18
7. gün	3,32	2,36	4,38	3,36	4,66	3,63
14. gün	4,04	2,63	4,36	3,95	4,97	4,36
Nihai Büyüme	0,75	-0,54	1,19	0,78	1,59	1,19
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	2,63	0,95	2,36	1,36	2,36	0,60
7. gün	3,18	1,36	3,66	1,63	4,38	1,97
14. gün	4,66	1,63	5,04	2,32	4,63	2,18
Nihai Büyüme	2,03	0,68	2,68	0,96	2,27	1,57
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	1,46	-	1,93	5,66	2,38
7. gün	-	1,46	-	2,68	7,04	3,66
14. gün	-	1,46	-	2,97	6,97	4,04
Nihai Büyüme	-	0,00	-	1,03	1,31	1,66



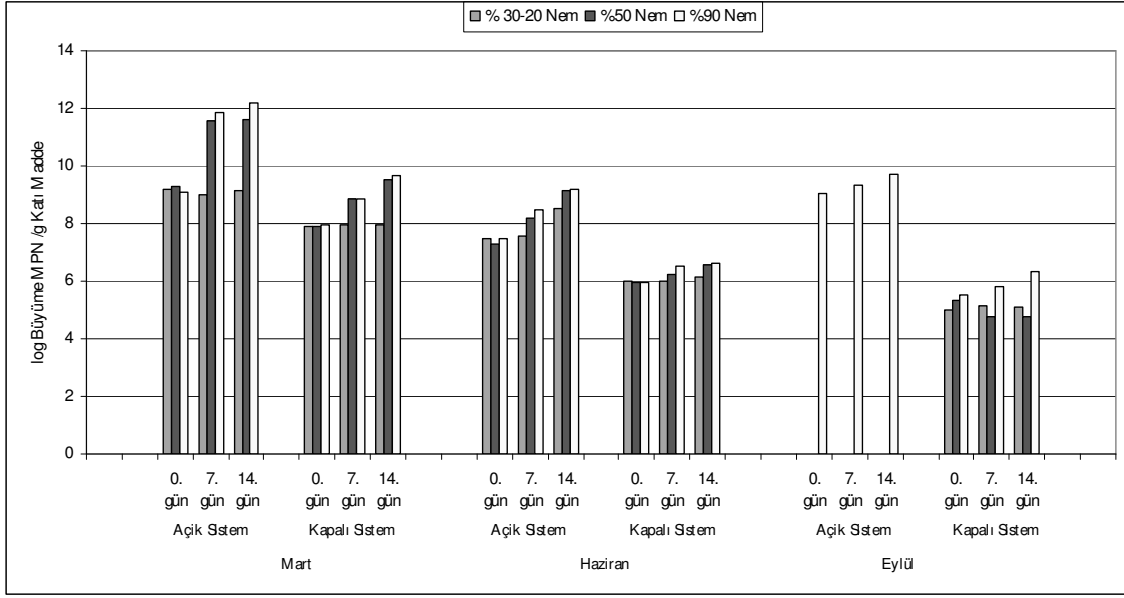
Şekil 4.32: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Toplam Koliformda en yüksek nihai büyüme Haziran döneminde açık sistemden alınan % 50 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (5,04 log MPN/ g Katı Madde) en yüksek nihai azalma Mart döneminde kapalı sistemden alınan % 20 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (3,97 log MPN/ g Katı Madde).

HPC değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri de Çizelge 4.35'da ve Şekil 4.33'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.35: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	9,20	7,92	9,27	7,90	9,11	7,94
7. gün	9,02	7,96	11,58	8,85	11,85	8,86
14. gün	9,13	7,96	11,60	9,54	12,20	9,69
Nihai Büyüme	-0,07	0,04	2,33	1,64	3,09	1,74
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	7,48	6,00	7,28	5,96	7,49	5,94
7. gün	7,59	6,02	8,18	6,25	8,50	6,54
14. gün	8,52	6,16	9,12	6,55	9,17	6,61
Nihai Büyüme	1,04	0,16	1,84	0,59	1,68	0,67
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	5,00	-	5,33	9,05	5,52
7. gün	-	5,14	-	4,75	9,34	5,82
14. gün	-	5,08	-	4,78	9,70	6,35
Nihai Büyüme	-	0,08	-	-0,56	0,65	0,83



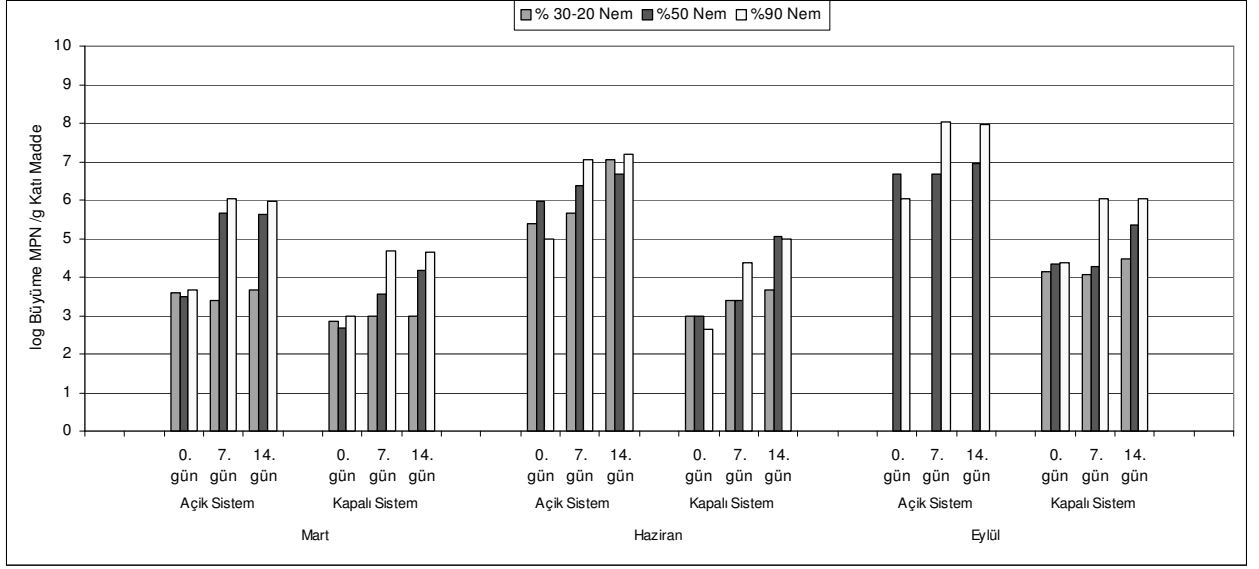
Şekil 4.33: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

HPC'de en yüksek nihai büyüme Eylül döneminde açık sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (12,20 log MPN/ g Katı Madde) en yüksek nihai azalma Eylül döneminde kapalı sistemden alınan % 50 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (4,78 log MPN/ g Katı Madde).

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru kuruma süreci sonrası yapılan sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri Çizelge 4.36'da, grafiksel değişimler Şekil 4.34'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.36: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	2,63	1,93	2,62	1,90	2,63	1,95
7. gün	2,63	2,36	4,38	2,63	4,66	3,66
14. gün	2,97	2,36	4,95	3,60	5,36	3,95
Nihai Büyüme	0,34	0,43	2,33	1,70	2,73	2,00
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	4,63	2,36	4,63	1,95	4,36	1,95
7. gün	4,97	2,36	5,66	2,88	6,38	3,66
14. gün	6,66	2,88	6,38	4,66	6,88	4,18
Nihai Büyüme	2,03	0,51	1,75	2,71	2,51	2,22
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	3,06	5,96	3,68	5,66	3,66
7. gün	-	3,46	5,66	3,66	7,38	5,38
14. gün	-	3,46	5,98	4,27	6,95	5,97
Nihai Büyüme	-	0,39	0,02	0,59	1,29	2,31



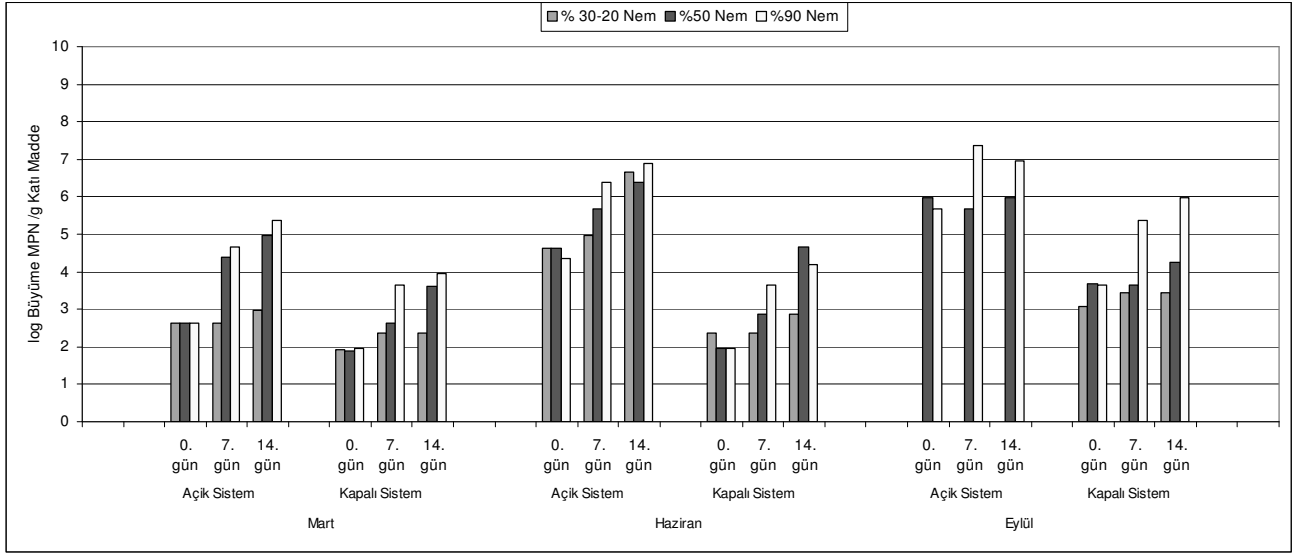
Şekil 4.34: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Fekal Koliformda en yüksek nihai büyüme Eylül döneminde açık sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (5,36 log MPN/ g Katı Madde) en düşük nihai büyüme Eylül döneminde açık sistemden alınan % 50 Nem içeren arıtma çamurlarında gerçekleşmiştir (5,98 log MPN/ g Katı Madde).

Toplam Koliform değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri ise Çizelge 4.37’da ve Şekil 4,35’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.37: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	3,58	2,84	3,48	2,66	3,66	2,97
7. gün	3,38	2,97	5,66	3,54	6,04	4,66
14. gün	3,66	2,97	5,63	4,18	5,97	4,63
Nihai Büyüme	0,08	0,13	2,16	1,51	2,31	1,66
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	5,38	2,97	5,97	2,97	4,97	2,63
7. gün	5,66	3,38	6,38	3,38	7,04	4,38
14. gün	7,04	3,66	6,66	5,04	7,18	4,97
Nihai Büyüme	1,66	0,69	0,69	2,07	2,21	2,34
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	4,14	6,68	4,34	6,04	4,38
7. gün	-	4,06	6,68	4,27	8,04	6,04
14. gün	-	4,48	6,96	5,34	7,97	6,04
Nihai Büyüme	-	0,34	0,28	1,00	1,93	1,66



Şekil 4.35: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

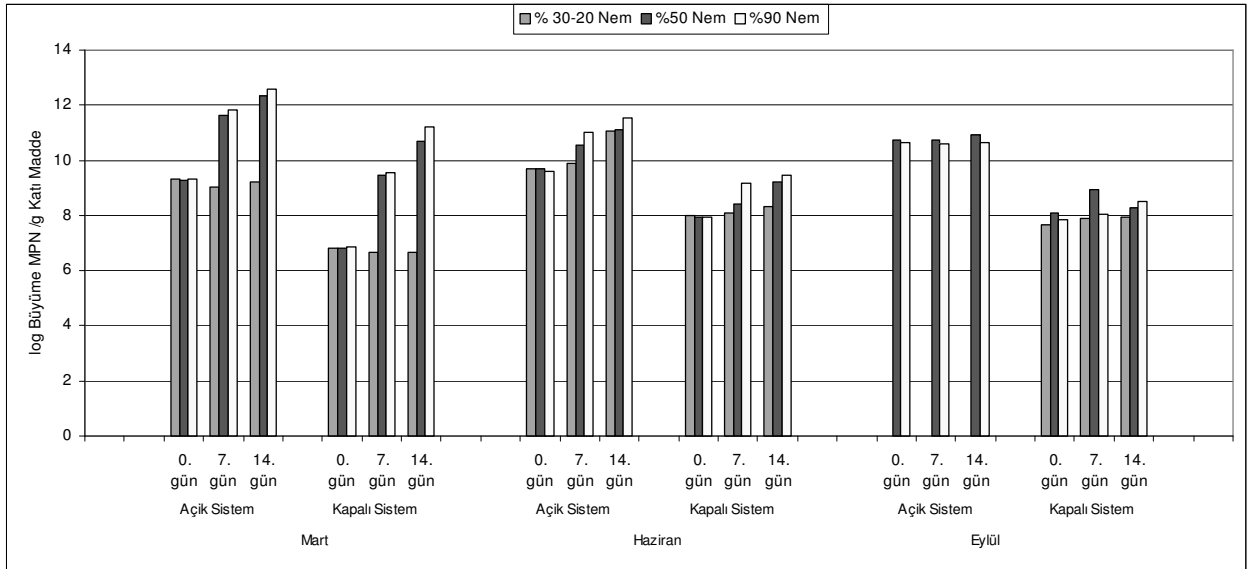
Toplam Koliformda en yüksek nihai büyüme Mart döneminde açık sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (5,97 log MPN/ g Katı Madde) en düşük nihai büyüme Mart döneminde açık sistemden alınan % 30 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (3,66 log MPN/ g Katı Madde).

HPC değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri de Çizelge 4.38'da ve Şekil 4.36'de gösterilmiştir.



Çizelge 4.38: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	9,30	6,83	9,28	6,82	9,32	6,84
7. gün	9,02	6,66	11,64	9,46	11,83	9,57
14. gün	9,24	6,68	12,35	10,68	12,57	11,21
Nihai Büyüme	-0,06	-0,15	3,07	3,86	3,25	4,37
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	9,68	7,98	9,72	7,96	9,60	7,93
7. gün	9,87	8,09	10,53	8,43	11,04	9,19
14. gün	11,05	8,32	11,12	9,24	11,54	9,47
Nihai Büyüme	1,36	0,34	1,40	1,28	1,94	1,54
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	7,66	10,74	8,08	10,64	7,84
7. gün	-	7,91	10,73	8,93	10,60	8,06
14. gün	-	7,94	10,92	8,26	10,66	8,49
Nihai Büyüme	-	0,29	0,18	0,17	0,02	0,65



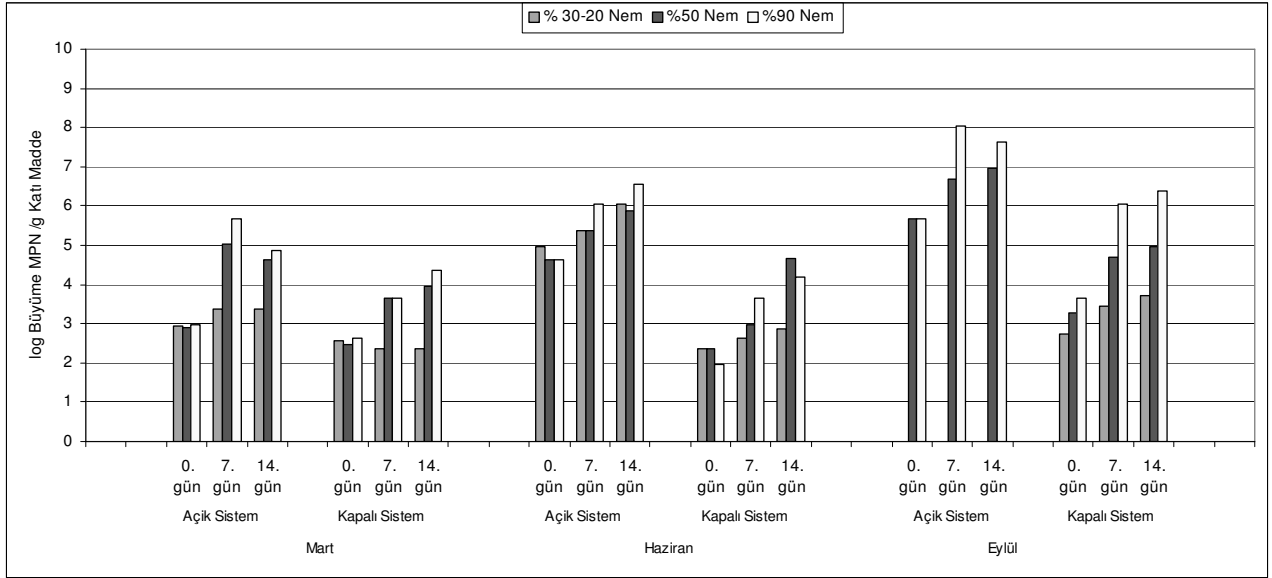
Şekil 4.36: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

HPC'de en yüksek nihai büyüme Eylül döneminde kapalı sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (11,21 log MPN/ g Katı Madde) en yüksek nihai azalma Mart döneminde kapalı sistemden alınan % 20 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (6,68 log MPN/ g Katı Madde).

Açık ve Kapalı kurutma yatağına serilmiş Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru kuruma süreci sonrası yapılan sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri Çizelge 4.39'da, grafiksel değişimler Şekil 4.37'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.39: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	2,24	1,93	2,15	1,90	2,32	1,95
7. gün	2,36	1,60	3,38	1,60	4,04	2,36
14. gün	2,36	1,60	3,95	2,60	4,36	2,60
Nihai Büyüme	0,12	-0,33	1,81	0,70	2,04	0,65
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	3,95	1,60	3,60	1,95	3,60	1,60
7. gün	4,36	1,95	4,36	2,36	5,38	2,97
14. gün	5,32	2,32	5,36	3,88	5,95	3,32
Nihai Büyüme	1,37	0,72	1,76	1,92	2,35	1,72
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	2,05	4,68	2,66	4,97	2,97
7. gün	-	2,70	5,98	3,66	7,38	5,38
14. gün	-	2,70	6,27	3,98	6,95	5,36
Nihai Büyüme	-	0,65	1,59	1,32	1,99	2,39



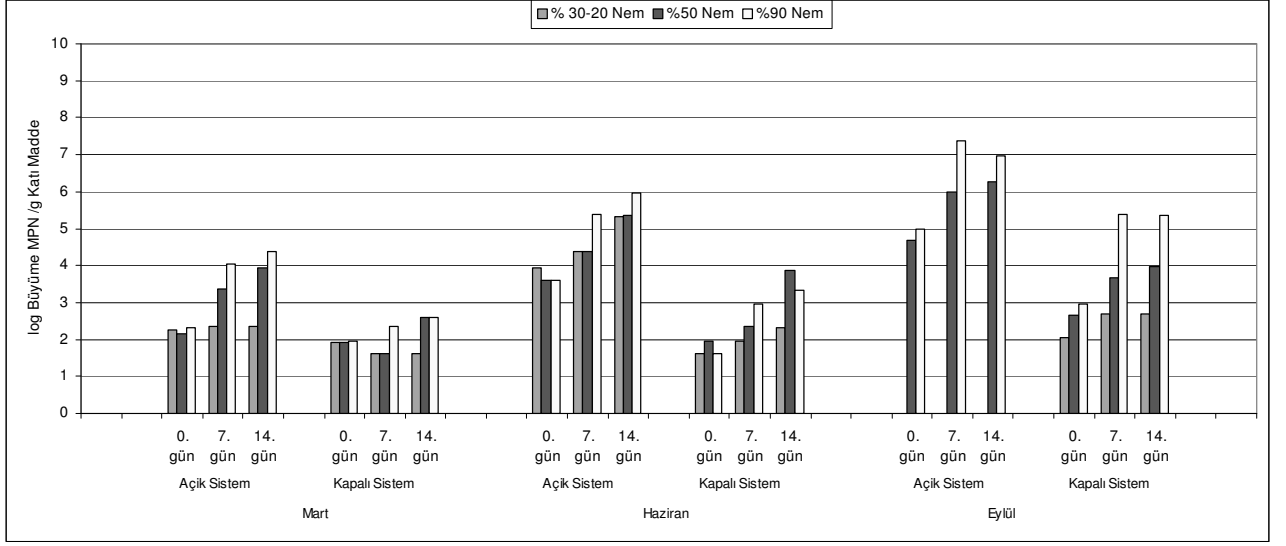
Şekil 4.37: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Fekal Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Fekal Koliformda en yüksek nihai büyüme Eylül döneminde kapalı sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (5,36 log MPN/ g Katı Madde) en yüksek nihai azalma Mart döneminde kapalı sistemden alınan % 20 Nem içeren arıtma çamurlarında gerçekleşmiştir (5,98 log MPN/ g Katı Madde).

Toplam Koliform değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri ise Çizelge 4.40'da ve Şekil 4,38'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.40: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	2,93	2,56	2,89	2,48	2,97	2,63
7. gün	3,38	2,36	5,04	3,63	5,66	3,63
14. gün	3,38	2,36	4,63	3,95	4,88	4,36
Nihai Büyüme	0,45	-0,20	1,74	1,48	1,91	1,73
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	4,97	2,36	4,63	2,36	4,63	1,95
7. gün	5,38	2,63	5,38	2,97	6,04	3,66
14. gün	6,04	2,88	5,88	4,66	6,54	4,18
Nihai Büyüme	1,07	0,51	1,24	2,30	1,91	2,22
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	2,73	5,68	3,27	5,66	3,66
7. gün	-	3,46	6,68	4,68	8,04	6,04
14. gün	-	3,73	6,96	4,96	7,63	6,38
Nihai Büyüme	-	1,00	1,28	1,69	1,97	2,72



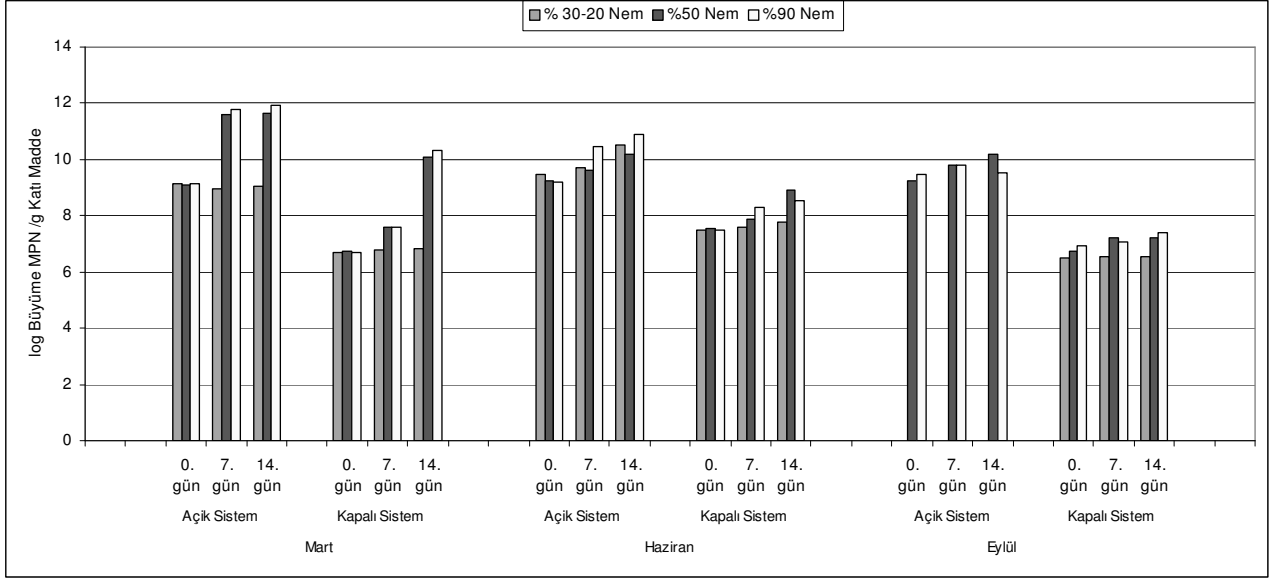
Şekil 4.38: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında Toplam Koliform değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Toplam Koliformda en yüksek nihai büyüme Eylül döneminde kapalı sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (6,38 log MPN/ g Katı Madde) en yüksek nihai azalma Mart döneminde kapalı sistemden alınan % 20 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (2,36 log MPN/ g Katı Madde).

HPC değerlerinde Mart, Haziran ve Eylül dönemlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri de Çizelge 4.41'da ve Şekil 4.39'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.41: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

Nem İçeriği	% 30 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 20 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 50 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru	% 90 Nem İçeren Arıtma Çamuru
Birim	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde	log MPN/ g Katı Madde
<b>Mart</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	9,12	6,71	9,09	6,73	9,15	6,68
7. gün	8,98	6,78	11,59	7,57	11,77	7,60
14. gün	9,07	6,81	11,63	10,09	11,90	10,30
Nihai Büyüme	-0,05	0,11	2,54	3,36	2,75	3,63
<b>Haziran</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	9,46	7,51	9,25	7,56	9,19	7,48
7. gün	9,72	7,59	9,64	7,88	10,48	8,30
14. gün	10,49	7,78	10,17	8,90	10,91	8,53
Nihai Büyüme	1,03	0,27	0,92	1,34	1,72	1,05
<b>Eylül</b>	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem	Açık Sistem	Kapalı Sistem
0. gün	-	6,50	9,22	6,76	9,47	6,91
7. gün	-	6,56	9,81	7,20	9,82	7,08
14. gün	-	6,55	10,19	7,23	9,51	7,41
Nihai Büyüme	-	0,05	0,98	0,47	0,04	0,50

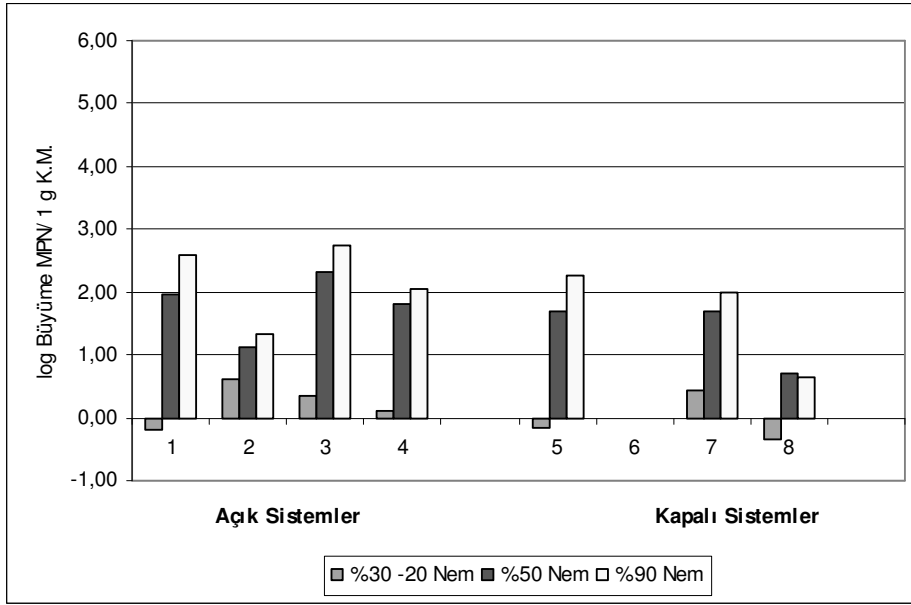


Şekil 4.39: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru sonradan büyüme çalışmasında HPC değerlerinde meydana gelen sonradan büyüme değerleri.

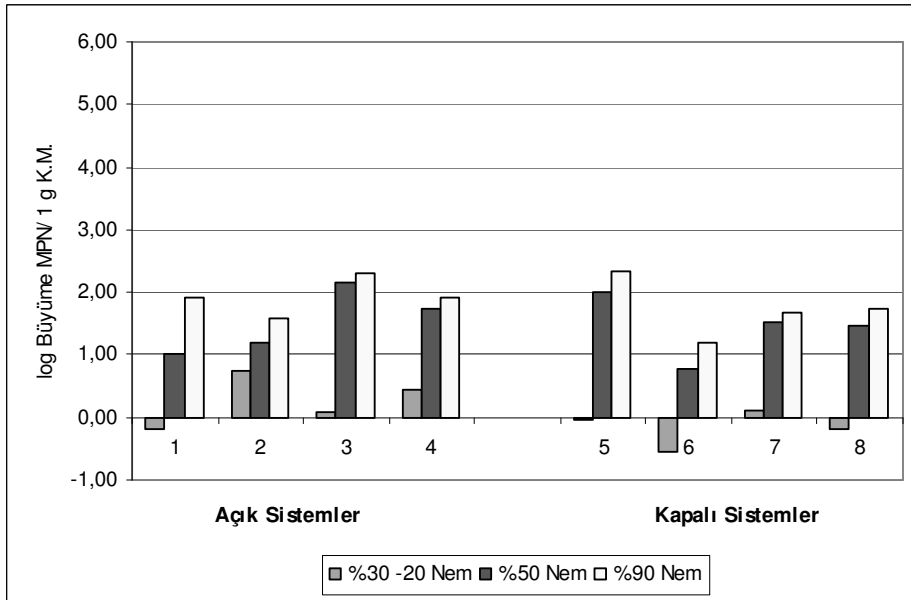
HPC’de en yüksek nihai büyüme Mart döneminde kapalı sistemden alınan % 90 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşirken (10,30 log MPN/ g Katı Madde) en yüksek nihai azalma Mart döneminde açık sistemden alınan % 30 Nem içeren arıtma çamurunda gerçekleşmiştir (9,07 log MPN/ g Katı Madde).

Mart döneminde tüm çamur çeşitlerinde ve sistemlerde meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri Fekal Koliform için Şekil 4.40’da, Toplam Koliform için Şekil 4.41’de ve HPC içinse Şekil 4.42’de verilmiştir.



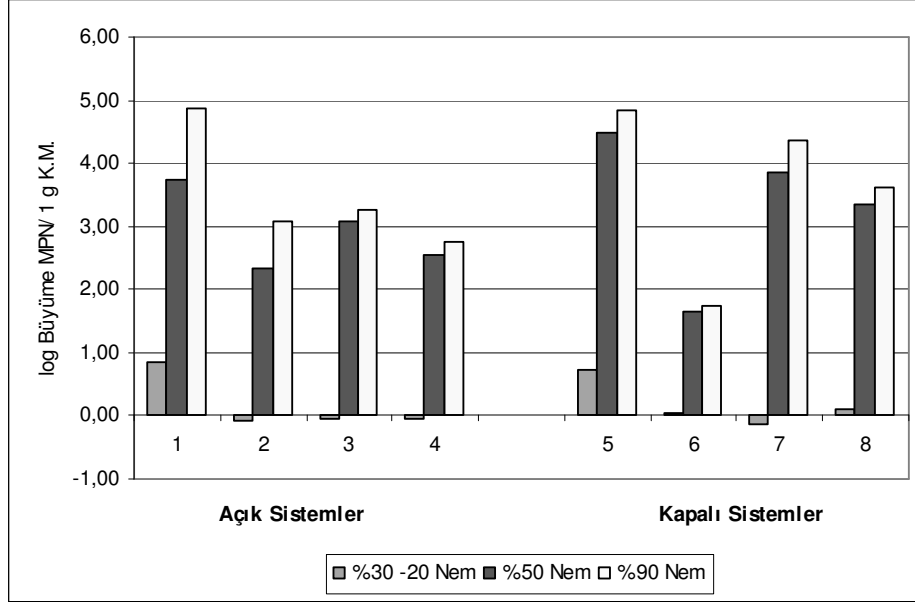


Şekil 4.40: Mart döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Fekal Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)



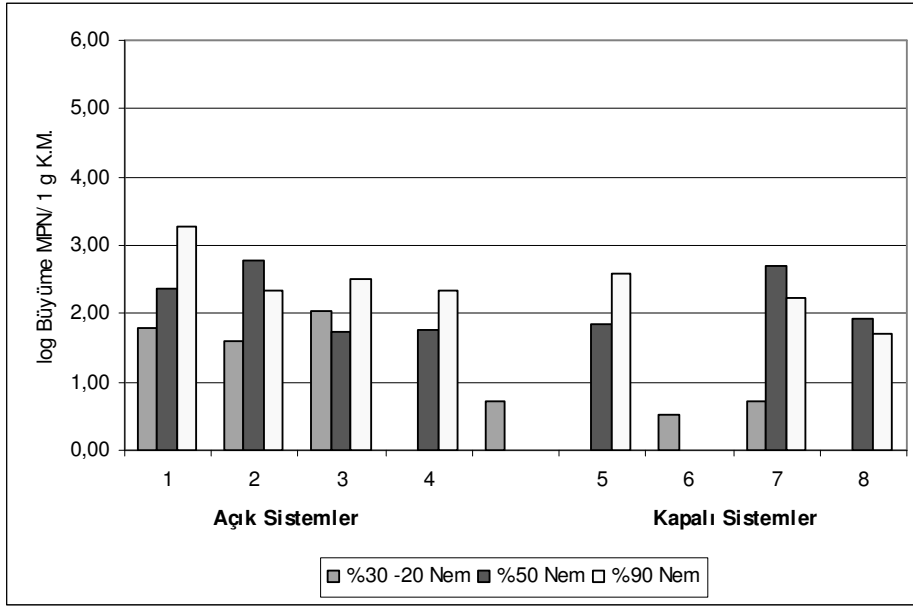
Şekil 4.41: Mart döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Toplam Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl

Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

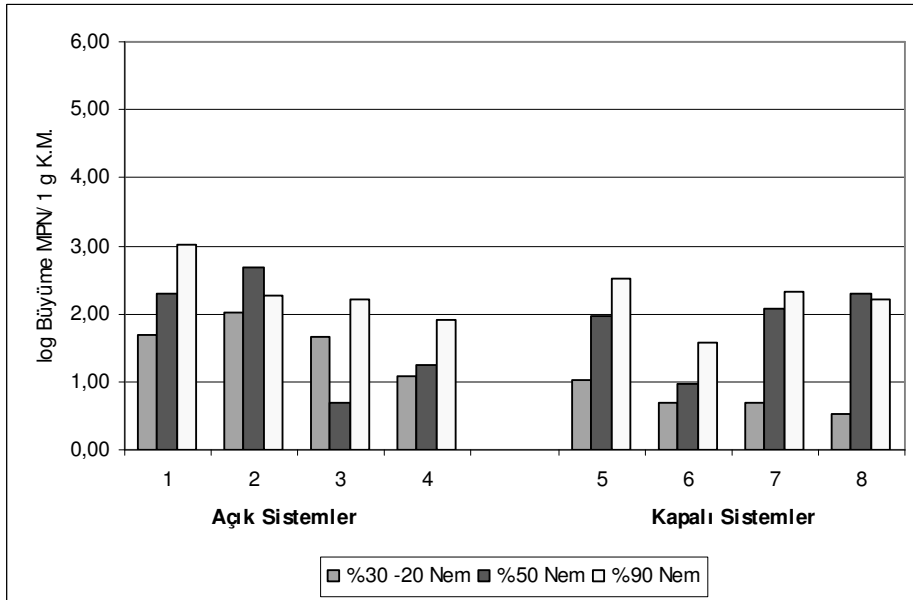


Şekil 4.42: Mart döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda HPC’de meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

Haziran döneminde tüm çamur çeşitlerinde ve sistemlerde meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri Fekal Koliform için Şekil 4.43’da, Toplam Koliform için Şekil 4.44’de ve HPC içinse Şekil 4.45’de verilmiştir.

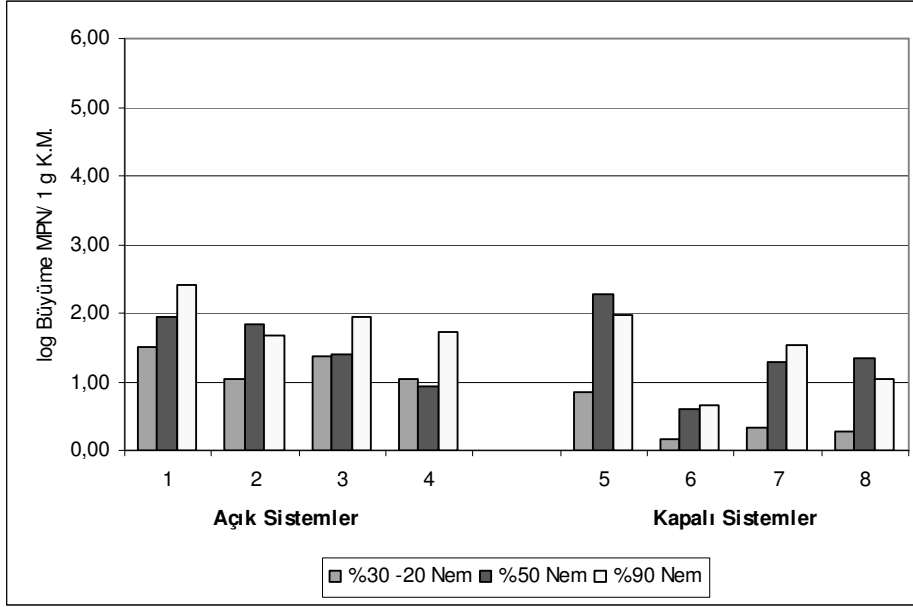


Şekil 4.43: Haziran döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Fekal Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri. (1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)



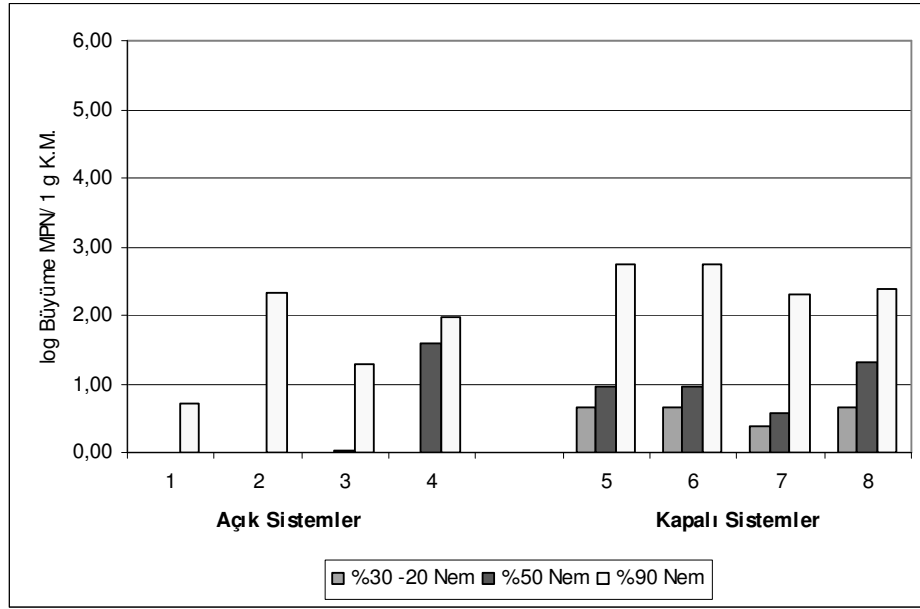
Şekil 4.44: Haziran döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Toplam Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri. (1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

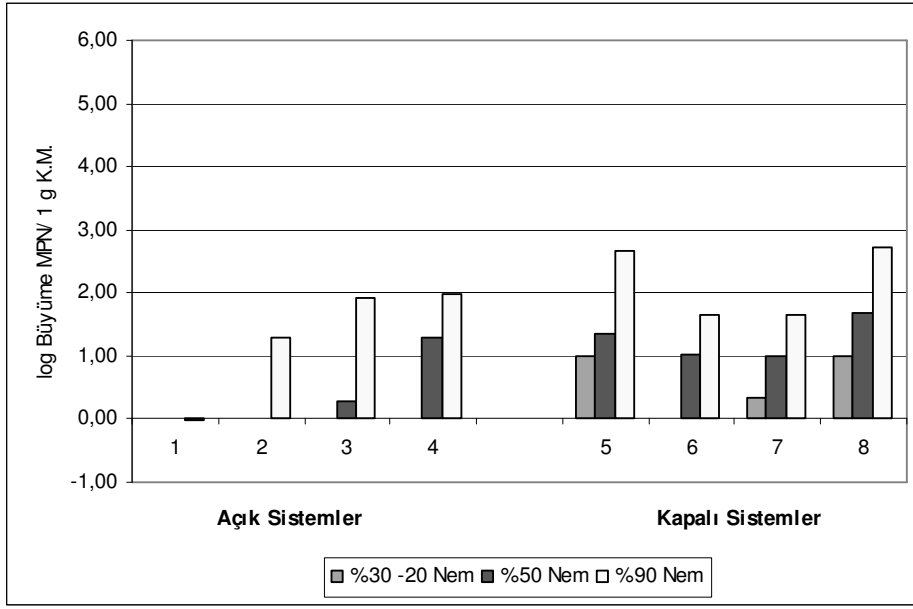


Şekil 4.45: Haziran döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda HPC’de meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

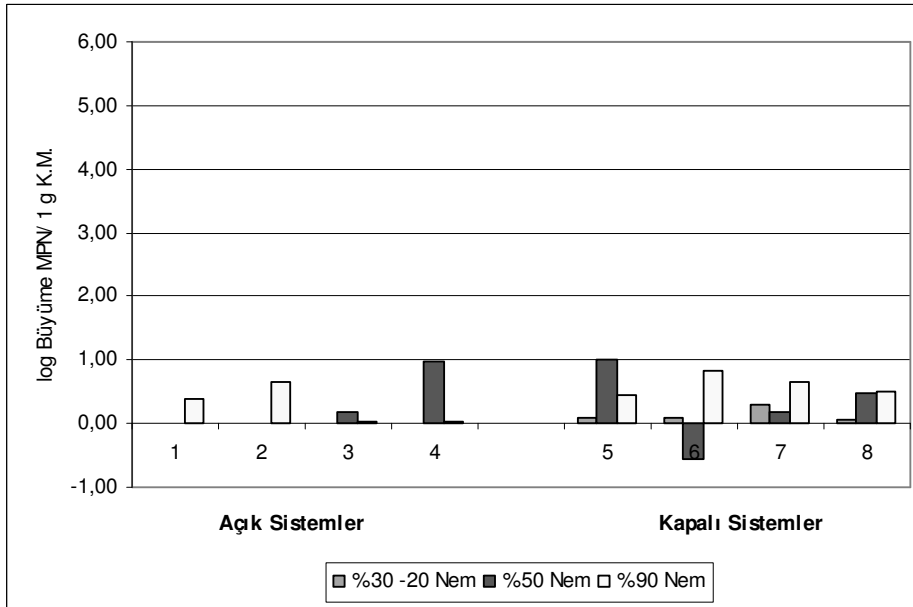
Eylül döneminde tüm çamur çeşitlerinde ve sistemlerde meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri Fekal Koliform için Şekil 4.46’da, Toplam Koliform için Şekil 4.47’de ve HPC içinse Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.46: Eylül döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Fekal Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)



Şekil 4.47: Eylül döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda Toplam Koliformda meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)



Şekil 4.48: Eylül döneminde açık ve kapalı sistemlere serili çeşitli katkı maddeleri içeren arıtma çamurunda HPC’de meydana gelen toplu sonradan büyüme değişimleri.( 1 ve 5: Ham İnegöl Arıtma Çamuru, 2 ve 6: Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma

Çamuru, 3 ve 7: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü içeren İnegöl arıtma Çamuru, 4 ve 8: Katı Maddece % 40 Termik Santral Uçucu Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma Çamuru)

Sonradan büyüme çalışmalarında Fekal Koliformda en düşük büyüme Sönmemiş Kireç katılan ve kapalı sistemde kurutulan arıtma çamurunda gerçekleşmiştir. Açık sistemde de bu durum gözlemlenmekle birlikte, Sönmemiş Kireç ve Kül karışımı da Açık Sistemde tek başına Sönmemiş Kireçteki kadar düşük gerçekleşmiştir. Bunun sebebi olarak yüksek pH'ın büyüme yavaşlatıcı etkisi gösterilebilir. Ama değerler açısından incelendiğinde Sönmemiş kirecin üstünlüğü gözlemlenmektedir.

Sonradan büyüme çalışmalarını Toplam Koliform ve HPC açısından irdelediğimizde, sadece kül katkılı çamurun, ham çamurdan bir farkının olmadığını söyleyebiliriz. Aradaki düşük logaritmik farklar da külün seyreltici etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu da bize külün tek başına etkili bir katkı maddesi olmadığını bir kez daha göstermektedir.

Bertucci ve ark. 1998'de yaptıkları çalışmada, önceden arıtılmış çamurun yapısında başlangıçta bulunmayan patojenik mikro-organizmaların arıtılmış üründe koloni oluşturma olasılığının mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Bizim yaptığımız bu çalışmada da gözlemlenen sonradan büyümeler bahsi geçen bu çalışmanın sonuçlarını bir kez daha teyit etmiştir.

Santamaria ve ark. 2003'te yaptıkları çalışmada çamurda nem seviyesinin % 20'nin üstünde, pH'ın 5,5 ile 9,0 arasında ve sıcaklığın da 10 ile 45<sup>0</sup>C arasında olduğu durumlarda salmonella ve diğer patojenik bakteri büyümesinin gözlemlenebileceğini söylemişlerdir. Bizim çalışmamızda da, dış ortamda söz edilen koşullarda meydana gelen sonradan büyümelerin gözlemlenmesi buna bağlanabilir. Katı maddece % 15 kireç içeren kapalı ortama serili çamur için yapılan sonradan büyüme çalışmasında Eylül döneminde pH'ın 9'a yaklaşması sonucu sonradan büyüme gözlemlenmiştir, ama diğer dönemlerde pH koşullarının bakteri gelişimine uygun olmaması sebebiyle, Santamaria ve ark. 2003'deki çalışmalarına uygun olarak, sonradan büyüme olmamıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- 1- Açık Kurutma Yatakları Sisteminin veriminin doğrudan iklim koşullarına bağlı olduğu gözlenmiştir. Deneilerin gerçekleştirildiği kurutma sürelerinin (yaklaşık 2 ay) , açık sistemlerde ANONİM 1999b'de belirtilen Sınıf B kriterlerine ulaşmak için yeterli olmadığı gözlenmiştir. Sonuç olarak Sınıf B tipi kurutulmuş çamur elde etmede, burada uygulanan koşullarda açık kurutma yatakları ile çamur kurutulmasını önermek mümkün değildir.
- 2- Kapalı Kurutma Yatakları Sistemi ile yapılan kurutmada elde edilen sonuçlar hem katı madde hem de bakteri içeriği açısından tutarlı sonuçlar vermiştir. Katı madde oranı her deneyde % 85'in üzerine çıkmış ve patojen azatılımı ise bütün deneylerde ANONİM 1999b'de belirtilen Sınıf B mevzuatında Kısım 503 gerekliliklerini karşılamıştır.
- 3- Açık Kurutma Yatakları ile karşılaştırıldığında Kapalı Kurutma Yatakları Sisteminde güneş enerjisi ve sera etkisinden yararlanarak yapılan kurutmanın aşağıda belirtilen avantajları nedeniyle, çamur kurutmada oldukça verimli bir proses olduğu sonucuna varılabilir:
  - Diğer termal kurutma sistemleri ile karşılaştırıldığında, yatırım ve işletme maliyeti oldukça düşüktür.
  - Bakımı kolay ve ucuzdur.
  - Açık Kurutma Yatakları Sistemi ile karşılaştırıldığında, bu sistemin, güneş panellerinin kullanılmasını mümkün kılacak derecede güneşli gün sayısının yeterli olması şartıyla, çok daha geniş bir coğrafi alanda uygulanması mümkündür.
  - Açık Kurutma Yatakları Sistemi ile karşılaştırıldığında, susuzlaştırma oranı hem daha yüksektir hem de hava koşullarındaki günlük değişimlerden etkilenmemektedir.



- Açık Kurutma Yatakları Sistemi ile karşılaştırıldığında, mikrobiyal aktivite daha fazla azalmaktadır. Bu azalmada hava koşullarında gözlemlenen günlük değişikliklerin hemen hemen hiç etkisi olmamaktadır.
- Koku sorunu ve vektör çekim sorunu kontrol altına alınmış olmaktadır.
- Tesis, sistem genelindeki diğer yapılara uyum gösterebilir.
- Kapalı yataklar, depo amacıyla kullanılabilir.
- Önemli bir diğer faktör ise, çamurun kapalı alanda tutulması, meslek sağlığı, güvenlik ve çevre açısından da tercih edilen bir durumdur.

Kapalı sistemde kurutulmuş çamur özellikle yazın 30 gün gibi kısa bir sürede % 90 Katı Madde değerine ulaşmaktadır. Bu sistemin kullanılması özellikle arıtma tesislerinde oluşan ve genelde yüksek nem içeriği içeren arıtma çamurlarının kurutulmasında etkili bir sistem olarak düşünülebilir. Eğer tesiste yeterince yer varsa bu sistemin kullanılması sayesinde çamurların hacimlerinde % 75'in üzerinde azalmalar meydana gelecektir ve bu da taşıma maliyetlerinde % 75'i geçen bir azalma demektir.

Kapalı Çamur Kurutma Yatakları Sisteminde gerekli alanı ve kurutma süresini azaltmak amacıyla bir çok başka parametrenin de incelenmesi gerekebilirse de, küçük ve büyük ölçekli bir çok arıtma sisteminde, bu yöntemin oldukça ekonomik bir çözüm getirebileceğine inanıyoruz.

- 4- Ham çamur, Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren çamur, Katı Maddece % 40 Termik Santral Külü içeren çamur, Katı Maddece % 40 Termik Santral Külü ve Katı Maddece % 6 Sönmemiş Kireç içeren çamur örneklerinin Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarında denendiği bu çalışmada, mikrobiyal aktivite gideriminde, her dört deney türünde de Kapalı Kurutma Yatağının çamurun kurutulması yanında mikrobiyal

azalmada da etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Kapalı kurutma yatağında serili çamurların, yağış gibi çevresel faktörlerden etkilenmemesi ve ortam sıcaklığının güneş kolektörleri yardımı ile dış ortama göre yüksek oluşu sistemin başarısını sağlamıştır.

- 5- Tüm katkı maddelerinin içinde mikroorganizmaların gideriminde en etkili olan katkı maddesinin, Sönmemiş Kireç olduğu sonucuna varılmıştır. Bunu uçucu kül ve sönmemiş kireç karışımı takip etmiştir.
- 6- Kurutulmuş çamur örneklerine su katarak nem oranını % 30 düzeyine çıkarmak, gerek Açık Sistemde gerekse Kapalı Sistemde kurutulan çamurlarda önemli bir mikrobiyal gelişime yol açmamıştır. Yeniden büyüme oranları 1 log'un altında olmuş ve her iki sistemde de B Sınıfı Çamur gereklilikleri korunmuştur.
- 7- Nem düzeyi % 50 ve % 90'a çıkarıldığında Açık Sistemde Kurutulmuş olan çamurda bakteri sayısında bir artma gözlenmişse de (sırasıyla yaklaşık 2 ve 4 log) Kapalı Sistemden alınan örneklerde yeniden su katılmasıyla önemli boyutta bir bakteriyel aktivite artışı gözlenmemiştir. % 50 ve % 90 oranında nem ihtiva edecek şekilde yeniden su katılan çamur örnekleri fekal koliform açısından Sınıf B düzeyindedir. Kapalı Çamur Kurutma Sisteminde solar panellerden sağlanan ilave ısı ile yağmurdan korunmanın birlikte etkisi bakteri sayısını muhtemelen daha etkili bir şekilde azaltmakta olup, bu da yeniden büyüme potansiyelini de büyük bir ihtimalle bastırmaktadır.
- 8- Yeniden su katılmış çamur örneklerinde toplam koliform ve heterotrophic bakteri sayılarında yine kurutma dönemlerine göre farklılıklar gözlenmiştir. Açık Kurutma Sistemi ile Kapalı Kurutma Sistemindeki yeniden büyüme potansiyeli arasında gözlemlenen farklılıklar, bir kez daha yağmurlu günlerde belirgin bir şekilde gözlenmiştir (2. ve 3. kurutma dönemleri).

Sonuç olarak Kapalı Sistemde kurutulmuş ve Katı Maddece % 15 Sönmemiş Kireç içeren İnegöl Arıtma çamuru bize ANONİM 1999b'de belirtilen US EPA standartları açısından en uygun değeri vermektedir. Bu çamurda Helminth Yumurtası değerlerine bakılması ve uygun değerlerin elde edilmesi durumunda, her hangi bir sınırlama olmaksızın bu çamur her türlü faaliyette güvenle kullanılabilir.

Eğer yerleşim yerlerinden uzak, ANONİM 1999b'de belirtilen US EPA B sınıfına uygun tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bir alanda çamur kullanma ihtiyacı hasıl olursa, her hangi bir katkı maddesi yapmaksızın, Kapalı Sistemde kurutulmuş Ham İnegöl Arıtma Çamurlarında rahatlıkla kullanılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

AKRIVOS, J., D. MAMAS, K.KATSARA ve A.ANDREADAKIS. 2000. Agricultural Utilization of Lime Treated Sewage Sludge, Water Science and Technology, 42(9):203-210.

ANDREADAKIS, A.D. 1999. Treatment and Disinfection of Sludge Using Quicklime. Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, 5 Iroon Polytechniou St., Zografou, Athens 15773, Greece

ANONİM 1999a. US .Environmental Regulations and Technology ;Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge page 1,

ANONİM. 1983. Process Design Manual, Land Application of Municipal Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information Cincinnati, Ohio. 625/1-83-016. 432p.

ANONİM. 1984. Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 626/1-83-016.432p.

ANONİM. 1990. United States Federal Register (Vol. 55, No. 218/November 9, 1990), the United States Environmental Protection Agency.

ANONİM. 1998. Civilization & Sludge: Notes on the History of the Management of Human Excreta by Abby A. Rockefeller Originally published in Current World Leaders, Volume 39, No. 6.,1998

ANONİM. 1999b. Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. U.S. Environmental Protection Agency. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. 625/R-92-013.

ANONİM. 2001. 10 Aralık 2001 Tarih ve 24609 sayılı Resmi Gazete. Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.

ANONİM. 2003. American Society of Agronomy Using sewage sludge as fertilizer Using organic waste presents a win-win situation for municipalities, agriculture Madison, WI.

ANONİM. 2004a. [http://www.tzob.org.tr/tzob/tzob\\_haber/mpm\\_2004.htm](http://www.tzob.org.tr/tzob/tzob_haber/mpm_2004.htm)

ANONİM. 2004b. <http://www.KMi.gov.tr/toprak.htm>

APHA, AWWA, WEF. 1997. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 19th. Edition, American Public Health Ass. Press, Washington.

ARAL, N. 1990. Arıtma Çamurlarının Tasfiyesinde Arazide Kullanılma İmkânları. İ.T.Ü. 2 Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, İstanbul, 24-26 Eylül 1990, 118 s.

BERTUCCI, J.J VE S.J. SEDITA, 1998. Microbiology of Sludge. Municipal Sewage Sludge Management. Lancaster, Penn.: Technomic Publishing Co., 1998, pp. 161–212.

- BİLGİN, N, H.EYÜPOĞLU ve H.ÜSTÜN. 2002. Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara, s.28.
- BOOST, M.V. (Department of Nursing and Health Sciences, Hong Kong Polytechnic University, Hung Horn, Kowloon, Hong Kong, SAR, China), C.S. POON (Department of Civil and Structural Engineering, Hong Kong Polytechnic University, Hung Horn, Kowloon, Hong Kong, SAR, China). 1998. The Effect of a Modified Method of Lime-Stabilisation Sewage Treatment on Enteric Pathogens 1 9801-113 M
- BUX, M., BOUMANN R., QUADT S., PİNNEKAMP J., MÜHLBAUER W. 2002. Volume Reduction and Biological Stabilization of Sludge in Small Swage Plants by Solar Drying, *Drying Technology*, 20(4&5), 829 – 837
- FİLİBELİ, A.. 1996. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basımevi, Yayın No: 255, İzmir.
- FİLİBELİ, A. 1998. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basımevi, Yayın No: 255, İzmir 254s.
- KOCAER, F.O., BAŞKAYA H.S. 2004. Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonunda Uçucu Kül Kullanımı, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.
- KOCAER, F.O.. 2005. Uçucu Kül Katkılı Alkali Stabilize Arıtma Çamurlarının Toprak Özelliklerine Etkileri. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- KÜRKLÜ, A., BİLGİN S., B.Özkan. 2003. A Study On The Solar Energy Storing Rock-Bed To Heat A Polyethylene Tunnel Type Greenhouse. *Renewable Energy*, Pergamon, 683-697.
- LOGAN, T.J. ve B.J.HARRISON. 1995. Physical Characteristics of Alkaline Stabilised Sewagw Sludge (N-Viro soil) and Their Effects on Soil Physical Properties. *J. Environ. Qual.*, 24: 153-164.
- MARKOSYAN, L.S. , N.VARDANYAN , A.K.N. PARONYAN , V.G.NIKOGHOSYAN, A. DELALIO. 2002. Microflora and Chemical Characteristics of Wastewater Sludge, *Biological Journal of Armenia (BYA)* 3 - 4 (54), Institute of Microbiology, NAS RA, Abovian city, 378510, Armenia.
- NATIONAL ACADEMY PRES. 1996. Italy Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production Committee on the Use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in the Production of Crops for Human Consumption Water Science and Technology Board Commission on Geosciences, Environment, and Resources National Research Council Washington, D.C.
- POON, C. S. ve M.BOOST. 1996. The Stabilization of Sludge by Pulverised Fuel Ash and Related Materials. *Environmental Internation*, 22(6): 705-710.
- RHYNER, C.R., L.J. SCHWARTTZ, R.B. WENGER ve M.G. KOHRELL. 1995. Waste Management and Resource Recovery. CRC Pres, Inc., Florida, USA. P.199 – 361.

SALİHOĞLU, N.K., V.PINARLI. 2005. 1. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu – AÇS2005 Bildiriler Kitabı s:237-245, İzmir Atıksu Arıtma Çamurlarının Güneş Enerjisiyle Açık ve Kapalı Kurutma Yataklarında Kurutulması Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Bursa

SANTAMARIA J. ve GA TORANZOS, 2003. Enteric Pathogens and Soil. Environmental Microbiology Laboratory, Department of Biology, University of Puerto Rico, P.O. Box 23360, 00931, San Juan, Puerto Rico.

SPINOSA, L. ve P.A.VESILIND. 2001.Sludge into Biosolids:Processing, Disposal, Utilization, IWA Publishing, 242-255.

SPINOSA, L., ve P.A. VESILIND. 2001. Sludge into Biosolids: Processing, Disposal, Utilization, IWA Publishing, p. 242-255.

TCHOBANOGLUS, G. And F.L. BURTON. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. Metcalf&Eddy Inc, USA. 771s.

VESILIND, P.A, G.C. HARTMAN ve E.T. SKENE. 1986. Sludge Management & Disposal For The Practicing Engineer. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan, USA, p 63-73.

VESILIND, P.A. 2001. Sludge into Biosolids, Processing, Disposal, Utilization. Part III, IWA Publishing, UK. ISBN 1-900222-08-6.

VESILIND, P.A.1979. Treatment And Disposal Of Wastewater Sludges. Ann Arbor Science Publishers Inc. Michigan, U.S.A. ISBN 0-250-40290-4

WANG, S., T. VIRARAGHAVAN. 1998. Wastewater Sludge Conditioning By Fly Ash, Faculty of Engineering. University of Regina, Regina, Saskatchewan, Canada, S45 0A2

WESTPHAL, P. A., ve G.L. CHRISTENSEN. 1983. Lime Stabilization: Effectiveness of Two Process Modifications, Journal WPCF, 55, (11): 1381-1387.

## 7. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yol gösteren danışmanım Doç. Dr. Ufuk ALKAN'a gösterdiği ilgi, verdiği öğüt ve desteklerden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bana her türlü teknik imkanı sağlayan ve bana inanan BUSKİ Genel Müdürü İsmail Hakkı ÇETİNAVCI'ya, BUSKİ Genel Müdür Yardımcısı Turgut MEN'e, BUSKİ Arıtma Tesisleri Daire Başkanı Cevdet KAYA'ya, Atıksu Arıtma Tesisleri Şube Müdürü Mehmet KOZ'a ve BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisleri Tesis Sorumlusu Nurcan AYDOĞAN'a teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca, bu çalışmanın sürdürülmesinde yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. N. Kamil SALİHOĞLU' na, Öğr. Gör. Olcay TOPAÇ' a, Araş. Gör. Arzu TEKSOY'a ve buralara gelmemde bana en büyük desteği veren aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

## 8. ÖZGEÇMİŞ

Bülent Birden 1979' da Bursa' da doğdu. İlk öğrenimini Amerika Birleşik Devletleri'nde Alabama Eyaletinin Birmingham kentinde Vestevia Hills Elementry School, ve Türkiye'de Bursa'da Namık Sözeri İlkokulunda tamamlamıştır. Orta ve lise öğrenimini Bursa'da İhsan Çizakça ve Bursa Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1997-2002 tarihleri arasında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamlamıştır. 2002 yılından bu yana BUSKİ Atıksu Arıtma Tesisleri Şube Müdürlüğü'nde Laboratuar Mühendisi olarak ve Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı bünyesinde Bursa Havzası Yağış İzleme Çalışmaları bünyesinde görev yapmaktadır. 2003 yılından bu yana da Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans yapmaktadır.