

TC
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARITMA ÇAMURUNDA PATOJEN GİDERİMİNE
SOLARİZASYONUN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Taha ASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜH.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR

Haziran 2011

TC
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARITMA ÇAMURUNDA PATOJEN GİDERİMİNE
SOLARİZASYONUN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Taha ASLAN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜH.

Bu tez 17.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR Yrd. Doç. Dr. Şule BARAN

Jüri Başkanı

Üye

Üye

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR'e, çalıőmamın uygulama sürecinde çok değerli katkılarından dolayı Sakarya Karaman Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi çalıőanlarına ve maddi, manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme, teőekkörü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ARITMA ÇAMURUNUN MİKROBİYOLOJİSİ.....	4
2.1. Arıtma Çamurlarının Bertarafı.....	4
2.2. Arıtma Çamurundaki Başlıca Patojen Mikroorganizmalar.....	6
2.3. Patojen Giderim Yöntemleri.....	8
2.3.1. Aerobik çürütme.....	9
2.3.2. Anaerobik çürütme.....	10
2.3.3. Kompostlama.....	11
2.3.4. Alkali stabilizasyon.....	11
2.3.5. Isı ile kurutma.....	12
2.3.6. Beta ve gama ışını.....	12
2.3.7. Pasterizasyon.....	13
2.4. Solarizasyonla Patojen Giderimi.....	13

BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE METOD.....	16
3.1. Çalışmadaki Patojen Mikroorganizmalar ve Numune Alınması.....	17
3.2. Metod.....	18
3.3. İstatistiksel Analiz.....	18
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	20
4.1. Solarizasyonda Sıcaklık Değişimi.....	20
4.2. Patojen İnaktivasyonu Üzerine Solarizasyonun Etkisi.....	22
4.2.1. Termotolerant koliformların inaktivasyon kinetiği.....	23
4.2.2. Escherichia coli'nin inaktivasyon kinetiği.....	27
4.2.3. Enterococci'un inaktivasyon kinetiği.....	31
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CFU	: Colony Forming Unit (Koloni oluşum birimi)
MPN	: Most Probable Number (En muhtemel sayı)
KM	: Kuru Madde
US EPA	: United States Environmental Protection Agency
AB	: Avrupa Birliği
RMSE	: Root Mean Square Error
LSD	: Least Significant Difference

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Çamur bertarafındaki proses alternatifleri.....	5
Şekil 3.1.	Solarizasyon uygulaması için kullanılan uygulama alanı.....	16
Şekil 3.2.	Solarizasyon uygulaması için gerekli olan arıtma çamurunun dökülülerek polietilen naylon ile hava almayacak şekilde kapatılması.....	17
Şekil 4.1.	Solarizasyon çalışması yapılan bölgeye ait maksimum, ortalama, minimum hava sıcaklıkları ve güneş radyasyonu.....	20
Şekil 4.2.	Solarizasyonda 10, 20, 30 ve 40 cm çamur derinliği için günlük ölçülen sıcaklık değerleri.....	22
Şekil 4.3.	Termotolerant koliformların 10 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu.....	24
Şekil 4.4.	Termotolerant koliformların 20 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu.....	25
Şekil 4.5.	Termotolerant koliformların 30 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu.....	25
Şekil 4.6.	Termotolerant koliformların 40 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu.....	26
Şekil 4.7.	Escherichia coli'nin 10 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu.....	27
Şekil 4.8.	Escherichia coli'nin 20 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu.....	28
Şekil 4.9.	Escherichia coli'nin 30 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu.....	29
Şekil 4.10.	Escherichia coli'nin 40 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu.....	30

Şekil 4.11.	Enterecocci'un	10	cm	çamur	derinliğindeki	
	inaktivasyonu.....					32
Şekil 4.12.	Enterecocci'un	20	cm	çamur	derinliğindeki	
	inaktivasyonu.....					32
Şekil 4.13.	Enterecocci'un	30	cm	çamur	derinliğindeki	
	inaktivasyonu.....					34
Şekil 4.14.	Enterecocci'un	40	cm	çamur	derinliğindeki	
	inaktivasyonu.....					34

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Tarımda kullanılacak arıtma çamurları için USEPA patojen mikroorganizma standartları.....	9
Tablo 2.2.	Tarımda kullanılacak arıtma çamurları için USEPA patojen mikroorganizma standartları.....	9
Tablo 4.1.	Termotolerant koliformların maximum inaktivasyon hızı, % 90'ının inaktivasyonu için gerekli olan süre, RMSE.....	24
Tablo 4.2.	Escherichia coli'nin maximum inaktivasyon hızı ile % 90'ının inaktivasyonu için gerekli olan süre, RMSE.....	29
Tablo 4.3.	Enterococci'un maximum inaktivasyon hızı ile % 90'ının inaktivasyonu için gerekli olan süre, RMSE.....	33

ÖZET

Anahtar kelimeler: Solarizasyon, arıtma çamuru, inaktivasyon, Termotolerant koliform, Enterococci, *E. coli*

Solarizasyon uygulamasının arıtma çamurundaki bakteri inaktivasyonuna etkisi Termotolerant koliform, Enterococci, *E. coli* indicator mikroorganizmaları seçilerek çalışılmıştır. Solarizasyon çamur sıcaklığını önemli derecede yükseltmiştir. Maksimum çamur sıcaklıklarına uygulamanın 2. haftasının başında ulaşılmış, 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm çamur derinliklerinde sırasıyla 65, 58, 55, 50 °C olarak ölçülmüştür. *E. coli* en hassas mikroorganizma olarak belirlenmiş ve solarizasyonun 12. gününde izlenen her çamur derinliğinde belirlenemez seviyelere kadar azalmıştır. Termotolerant koliformlar'ın da hızlı bir şekilde inaktive olmasına karşın, belirlenebilir limitlerin altına düşmediği görülmüştür. Enterococci'un inaktivasyon eğrisinde hem tail hem de shoulder gözlemlenmiş ve Termotolerant koliform ve *E. coli* ile kıyaslandığında sıcaklığa karşı en dirençli mikroorganizma olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, solarizasyonla yükselen sıcaklık değerleri, iki hafta içinde patojen yönetmelik limitleri ile karşılaştırıldığında bu üç mikroorganizmayı kabul edilebilir seviyelerin altına kadar düşürmeyi başarmıştır.

EFFECT OF SOLARIZATION ON PATHOGEN REDUCTION IN SEWAGE SLUDGE

SUMMARY

Key words: Solarization, Sewage sludge, Inactivation, Thermotolerant coliform, Enterococci, *E. coli*

The effect of solarization on bacterial inactivation in sewage sludge was studied using thermotolerant coliforms, enterococci and *Escherichia coli* as the indicator organisms. Solarization significantly increased the sludge temperature. The maximum temperatures were achieved at the beginning of the second week, reaching 65, 58, 55 and 50 °C at depths of 0–10, 10–20, 20–30 and 30–40 cm, respectively. *E. coli* was found to be the most sensitive microorganism and was reduced to undetectable levels after 12 days at all monitored sludge depths. Thermotolerant coliforms were rapidly inactivated but were not reduced to below the detection limit. The inactivation curves of enterococci showed both shoulders and tailing, indicating a larger heat resistant fraction than with *E. coli* and the thermotolerant coliforms. Overall, the results suggest that the temperature regime produced by solarization was sufficient to reduce pathogens to an acceptable level, meeting the pathogen regulation limit, in two weeks.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Arıtma çamuru, evsel atıksu arıtma uygulamasından kaynaklanan kaçınılmaz bir son üründür. Bu çamur oldukça fazla miktarda organik madde, patojen ve kimyasal kirleticileri içermektedir. Çamur, arıtma ünitelerinin her birinde farklı karakteristik yapıya sahip olmaktadır. Buna bağlı olarak da farklı inorganik ve organik bileşikler içerdikleri için gübre olarak kullanılması mümkündür. Fakat çamur karakteristik açıdan sentetik organikleri, patojen mikroorganizmaları ve ağır metalleri de içerdiğinden tarımda kullanımı sorun oluşturabileceği düşünülmektedir. Özellikle de çamurun depolanması ve taşınması süreçlerinde hijyenik şartlar mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Atıksu arıtımı boyunca oluşan çamur, nihai uzaklaştırmadan önce, organik madde içeriği, patojen kontaminasyonu ve koku problemlerini azaltmak için yeterli seviyeye kadar stabilize edilmelidir [1].

Bu inorganik ve organik bileşikler ile patojenler yönetmeliklerde belirlendiği şekilde berteraf edilmesi gerekmektedir. Eğer bu bileşikler ve patojen mikroorganizmalar uygun şartlarda giderilemez veya uzaklaştırılmazsa, insan ve çevre sağlık açısından için ciddi derecede tehlike oluşturmaktadır. Arıtma çamurunun en büyük sağlık tehlikesi çok fazla miktarda patojenik mikroorganizma içermesiyle ilişkilidir (virüs, bakteri, protozoa ve helminth v.b.). Arıtma çamurunda bulunan patojen mikroorganizmalar, çürütme ve stabilizasyon işlemlerinden sonra bile, hem çevreye hem de insan sağlığına karşı zararlı olabilir. Bundan dolayı, oluşan çamurun kalitesini artırmak, çamurun kullanılması ve uzaklaştırılması için çevresel düzenlemeler ile uyumlu stabilize olmuş bir ürün üretmek için patojen mikroorganizma sayısını azaltmak gerekmektedir.

Arıtma çamurunda patojen giderimi için birkaç seçenek bulunmaktadır, fakat bu seçeneklerin patojen giderim hızı tutarsız, yatırım ve işletme maliyetleri ile enerji tüketimleri çok yüksektir [2].

Enterik organizmaların azalma mekanizması çoğunlukla zaman-sıcaklık inaktivasyon deneyleri ile bilinmektedir. Özellikle çamur matriksinde, patojen giderimini etkileyen başlıca faktör termofilik aralığın üstündeki sıcaklık değerleridir [3]. Artan çamur sıcaklığı bakteri hücrelerinin otolizinden dolayı patojen giderimi üzerine direk bir etkiye sahip olmaktadır [4]. Bir literatür çalışmasında bakterilerin gelişim gösterdiği en üst sıcaklık değerinin yaklaşık olarak 44-48 °C arasında olduğu ve çamurun kompostlanması boyunca patojen bakterilerin ısı ile inaktivasyonu için 55 °C'de 15 veya daha fazla günün yeterli olduğu belirtilmektedir [5].

Solarizasyon, yüksek dış ortam sıcaklığı ve yoğun güneş radyasyonu olduğu şartlar altında polietilen naylon ile kaplanan toprağın hidrotermal dezenfeksiyonu için kullanılan basit ve etkili bir metottur. Solarizasyonun temel mantığı, nemli toprakta plastik film altında ısı enerjisinin korunması ve böylece birkaç hafta ulaşılan sıcaklığın devam ettirilmesidir. Artan toprak sıcaklığı ise, zararlı organizmaların elimine edilmesini sağlamaktadır.

Toprak solarizasyonu ile ilgili ilk çalışmaların çoğu, solarizasyon periyodu boyunca nem içeriğinin korunmasını ve böylece ısı iletimini artırarak derin toprak tabakalarındaki pestisitlerin daha verimli yıkımını gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Arıtma çamurunun nihai kullanımı açısından yüksek nem içeriği, işleme problemlerine sebep olur, ancak çamurdaki mikroorganizmaların inaktivasyonu açısından nemli ortam oldukça önemlidir [6].

Arıtma çamurundaki patojen inaktivasyonu zaman ve enerji tüketim sürecidir. Çamur uzaklaştırma ile ilgili biyolojik risklerin üstesinden gelmek için bazı giderim yöntemleri patojen giderimini istenilen değerlere kadar düşürmeyi başarmaktadır. Ancak bir çok yöntem çok fazla maliyet ve enerji ihtiyacı gerektirdiğinden dolayı çamur uzaklaştırma önemli problemlerden biridir. Bundan dolayı pratik ve maliyet açısından seçilen patojen giderim yöntemi oldukça önemlidir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurun miktarı işlem gören atıksuya oranla çok daha düşük hacme sahip olmasına rağmen bu çamurun berterafı toplam işletme maliyetinin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır [7].

Çamur uzaklaştırma sürecinde karşılaşılabilecek mikrobiyolojik riskleri azaltmak ve sıcak yaz aylarında arıtma çamurunun dezenfekte edilmesi için solarizasyonla inaktivasyon çevre dostu ve maliyet açısından uygun bir metottür.

Bu çalışmada ise, arıtma çamurundaki bazı patojenlerin solarizasyon ile inaktivasyon kinetiği incelenmiştir. Burada solarize olan arıtma çamurundaki seçilen bazı patojenlerin giderim seviyeleri yapılan ölçüm ve analizlerle belirlenmiştir.

BÖLÜM 2. ARITMA ÇAMURUNUN MİKROBİYOLOJİSİ

Patojen mikroorganizmalar insan sağlığını tehdit etmekte ve hastalıklara sebebiyet vermektedir. İnsanlar bu mikroorganizmalardan enjeksiyon, nefes alma, ve deri teması gibi yollarla etkilenmektedir. Bulaşıcı doz veya patojen mikroorganizma sayısı ile beraber maruz kalan insanın sağlık durumu ve vücut direncine bağlı olarak çeşitli sağlık bozuklukları gerçekleşmektedir. Çamurun özelliği, içerdiği inorganik ve organik madde içeriğinin miktar ve kalitesine bağlı olarak değiştiği gibi aynı zamanda patojen mikroorganizma sayısı ve türlerine bağlı olarak da değişmektedir.

2.1. Arıtma Çamurlarının Bertarafı

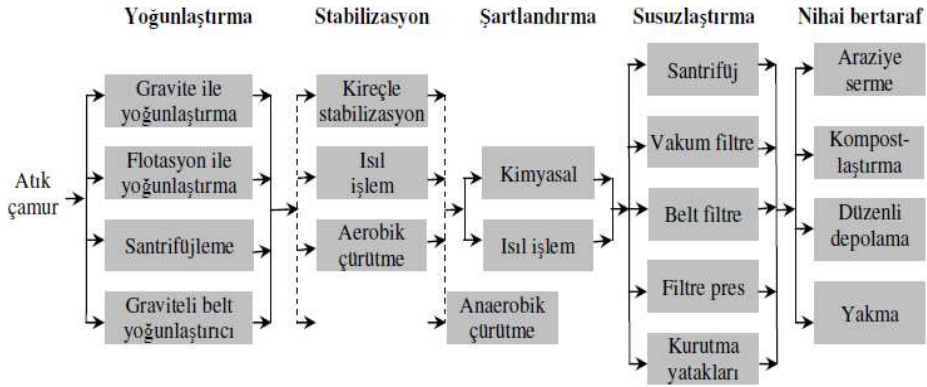
Arıtma çamurlarının değerlendirme alternatifleri ile ilgili bir netlik yoktur. Arıtma çamurları; dirençli organik bileşikleri ve bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro besin elementlerini içermektedir. Arıtma çamurlarının azot ve fosfor içeriği ise özellikle gübre değerini ortaya koyarken, organik madde içerikleride bu çamurun toprağı ıslah etme yönü itibari ile ayrı bir öneme sahiptir. Bu yararlı özelliklerin yanı sıra arıtma çamurları, çevreye zararlı olabilecek potansiyel toksik elementleri, patojen mikroorganizmaları ve parazit organizmaların yumurtalarını da içermektedir [8].

Arıtma tesislerinin ilk kurulduğu dönemlerde ortaya çıkan çamur, tüm dünya ülkelerinde çöp depolama alanları ve denizlere dökülmüştür. Ancak bu durum daha sonra yasaklanmıştır. Bununla beraber arıtma çamurlarının içerdiği organik madde ve besi değerlerinin gübre olarak kullanılma özelliği dikkate alınarak verimsiz arazinin ıslahı için evsel çamurların arazi üzerine serilmesi gündeme gelmiştir. Ancak, burada özellikle ağır metal, patojen mikroorganizma içermesi bakımından bazı sınırlamalar getirilmiştir.

Şekil 2.1’de de gösterildiği gibi çamur bertarafında uygulanan prosesleri kısaca belirtecek olursak;

Yoğunlaştırma; Sistemde oluşan çamuru daha konsantre hale getirmek, dolayısıyla daha küçük hacimdeki çamurla uğraşmak ve daha ekonomik çürütücü tankı elde etmek için çamur yoğunlaştırma sistemleri kullanılmaktadır.

Stabilizasyon; çamurun stabilizasyonu özellikle hacim azaltılması ve yan ürün olarak gaz üretiminde önem arz etmektedir. Özellikle istenmeyen şartların oluşmasını engellemek için çamurun stabilize edilerek kokuşmasını engellemek gerekir.



Şekil 2.1. Çamur bertarafındaki proses alternatifleri (Metcalf ve Eddy, 1991)

Şartlandırma; çamurun suyunun alınmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir süreçtir. Kimyasal şartlandırma ve ısı arıtımı en yaygın yöntemlerdir.

Susuzlaştırma; arıtma tesisinden çıkan çamurun kolayca uzaklaştırılabilmesi için sıvı halinden çıkıp katı hale dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle, çamurun içerdiği su miktarının azaltılması için değişik işlemler uygulanmaktadır. Arıtma çamurları genellikle yoğunlaştırma işleminden sonra susuzlaştırma işlemine tabi tutulur.

Nihai bertaraf; kompostlaştırma, arazi uygulaması, düzenli depolama ve yakma metotları ile çamurun bertarafı sağlanmaktadır.

2.2. Arıtma Çamurundaki Başlıca Patojen Mikroorganizmalar

Bakteriler, bağımsız bir şekilde uygun yaşam koşulları altında varlıklarını sürdürebilmekte ve çoğalabilmektedir. Bakterilerin çoğu kısa zaman periyodunda 70 °C üzerindeki sıcaklıklarda hayati aktivitelerini devam ettiremediği belirtilmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda uzun zaman periyodunda etkilidirler. Fakat bazı tür bakteriler ki, çok daha yüksek sıcaklıklarda tamamen hayati aktivitelerini kaybetmektedir. Ancak genel olarak çoğu bakterinin optimum gelişim gösterdiği sıcaklık vücut sıcaklığına yakın, yaklaşık 35-40 °C arasındadır.

Genelde bakteriler farklı çevresel şartlara karşı virüs ve diğer patojenlere karşı çok daha hassastır. Fakat, bakteri çoğalmak için konakçı bir hücreye ihtiyaç duymadığı için, uygun çevre koşulları altında çoğalabilmektedir [9].

Organik atık birkaç farklı türden patojen bakteri içerebilir. Bunlardan bazıları, Salmonella, Listeria, Escherichia, Campylobacter, Mycobacterium, Clostridium, Yersinia, Enterococci, Termotolerant koliform olarak tanımlanmaktadır. Bunların çoğu ciddi enfeksiyonlara sebebiyet verebilmekte, insan sağlığı ve çevre için çok tehlikeli olmaktadır.

Salmonella'nın gübre uygulanmış toprakta 300 günden daha fazla yaşadığı rapor edilmekte ve 6 ile 47 °C arasında yaşayıp gelişim gösterdiği belirtilmektedir. [10,11]

Listeria 1 ile 45 °C kadar olan sıcaklıklarda gelişim gösterdiği belirtilmektedir. Bu da bakterinin yaşadığı düşük sıcaklıklarda gıda kaynaklı taşınımının söz konusu olduğunu ortaya koymaktadır. Listeria monocytogenes arıtma çamurunda 6 ay kompostta birkaç hafta kadar yaşayabilir [12,13].

Escherichia coli O157, E. coli'nin bir alt tipidir ki insanlar için birçok sağlık problemlerine sebep olur. E.coli O157 'nin dışkıda 10 hafta kadar yaşayabildiği ve 27-37 °C aralığında çoğabildiği ve de toksik etki oluşturduğu belirtilmektedir [12].

Enterococci, tekli, ikili veya kısa zincirler oluşturan gram pozitif koklardır. Bu mikroorganizmalar insan ve hayvanda barsak florasının önemli bir kısmını oluştururlar. Bu mikroorganizmalar zor çevre koşullarına karşı dirençli olduğu gibi, yeni direnç kazanabilme yeteneğine de sahiptirler.

Termotolerant koliform, en önemli indikatör mikroorganizmalardan biridir. Termotolerant koliform mikroorganizmalar içinde değerlendirilen E. coli fekal kontaminasyonunun bir göstergesidir. Termotolerant koliform ile E. coli konsantrasyonu arasında direk olarak ilişki vardır.

Campylobacter'in birey sayısını belirlemek kısmen farklıdır, çünkü Campylobacter kültür ortamı olmayan şartlar altında da yaşayabilir. Bu durumun sonucu olarak, standart kültür metotları ile organik numunelerde belirlemek zor olabilmektedir [14].

Bacillus ve Clostridium sert çevre şartlarına karşı savunma mekanizması geliştirmekte, oysa çoğu bakterinin sert çevre koşulları altında yaşaması mümkün değildir. Çoğu Bacillus ve Clostridium zararsızdır, fakat onların B. Anthracis, Cl. Botulinum gibi patojenik türleri vardır. B. Cereus ve Cl. Perfringens gibi diğer türler ise fırsatçı patojenlerdir ki, bunlar normalde zararsızdır fakat bazı özel şartlar altında hastalıklara sebebiyet verebilmektedir [14].

Virüsler, dünya genelinde insanlarda bağırsak enfeksiyonlarının en yaygın bilinen sebebidir [15]. Virüsler sert çevre şartlarına karşı dirençlidir, parvovirüsler ve circovirüsler ısıya karşı oldukça dirençlidir, ve enterovirüsler sert çevre şartlarında birkaç hafta yaşayabildiği gözlemlenmektedir [16]. Virüsler, bakteri ve parazitlerden çok daha küçük olduklarından dolayı çevrede çok kolay şekilde taşınabilmektedir. Böylelikle yer altı su kaynakları ile diğer su kaynaklarına geçebilmektedir.

Birkaç araştırmacı arıtma çamurunda bulunan Hepatit A virüsünün yaşam kinetiğini oluşturmayı hedeflemiştir. Buna bağlı olarak arıtma çamurunun kurutulması ile ilgili olarak özellikle virüslerin sıcaklığa karşı çok daha dirençli olduğunu belirtmektedir. Çamur sıcaklığı 75 °C'ye geldiğinde hızlı bir şekilde azalma olduğu gözlemlenmiş ve 10 dakika içinde çamurun dezenfekte edildiğini, ancak 20 dakika geçmesine

rağmen virüslerin hayati aktivitelerini devam ettirdikleri gözlenmiştir [17].

Parazitler, besin ihtiyacını karşılamak için diğer organizmaların üzerinde veya içinde yaşar ve bundan dolayı bağımsız bir şekilde yaşayamamaktadır. Parazit yumurtaları sert çevre şartlarına karşı fazlaca dirençli olmalarına rağmen, bazı türler sadece sert çevre şartlarında birkaç yıl yaşayabilmektedir. Protozoa, helminth, ve antropodlar parazitleri oluşturur. Bazı parazitler özel konakçı türler üzerinde yaşarken, diğerleri hayvanlar üzerinde yaşamaktadır. Mesela bunlardan bir tanesi *Cryptosporidium*'dur. *Cryptosporidium parvum* ise insanlarda ve diğer memelilerde enfeksiyona sebep olduğu rapor edilmektedir [18].

2.3. Patojen Giderim Yöntemleri

Amerika'da Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından belirtilen yönetmeliğe göre doğrudan temas için güvenli olan biyokatılları A sınıfı ve arazide bitkisel üretimde kısıtlı kullanıma uygun olanları B sınıfı olmak üzere iki sınıfa ayırmıştır. USEPA tarafından biyokatıllar için fekal koliform veya salmonella üst sınırları belirlenmiştir (Tablo 2.1).

Buna göre; A sınıfı biyokatılarda, <1000 MPN (En muhtemel sayı) fekal koliform / 4 gram (Kuru Ağırlık) veya < 3 salmonella / 4 gram (Kuru Ağırlık) seviyelerinde bakteri varlığına izin verilmektedir.

B sınıfı biyokatılarda ise fekal koliform sayısının geometrik ortalamasının 2.000.000 MPN / gram KM'den daha az olması istenmektedir [19].

Avrupa Birliği ülkeleri tarafından hazırlanmış olan taslak yönetmelikte de çamura uygulanan stabilizasyon yöntemlerine göre biyokatıllar iki gruba ayrılmıştır. Dezenfeksiyonun sağlanabileceği stabilizasyon yöntemlerinin uygulandığı biyokatıllar yüksek standart, diğer yöntemler ile stabilize edilen biyokatıllar geleneksel standart olarak değerlendirilmektedir (Tablo 2.2).

Yüksek standart biyokatılarda salmonella'nın 50 gram (yaş ağırlık) da bulunmaması ve E. coli değerinin < 500 CFU/g (Koloni oluşum birimi /gram) olması koşulu aranmaktadır.

Tablo 2.1. Tarımda kullanılacak arıtma çamurları için USEPA patojen mikroorganizma standartları

Patojen Mikroorganizmalar	Sınır Değerler
A SINIFI	
Salmonella sp.	< 3 MPN / 4 g
Fekal Koliform	< 1000 MPN / g
Enterik virüsler	< 1 PFU / 4 g
Helmint ova	< 1 Helmint Ova / 4 g
B SINIFI	
Fekal Koliform	< 2000000 MPN / g

Tablo 2.2. Tarımda kullanılacak arıtma çamurları için AB patojen mikroorganizma standartları

Patojen Mikroorganizmalar	Sınır Değerler
Escherichia coli	< 1000 g ⁻¹
Salmonella sp.	Salmonella bulunmamalı

AB Standartlarında, Fekal Koliform ve Enterik Virüsler ile ilgili hiçbir değer verilmemiş, US EPA Standartları'nda ise E. coli ile ilgili hiçbir parametreye rastlanmamış olması dikkati çekmektedir.

2.3.1. Aerobik çürütme

Aerobik çürütmede, arıtma çamuru havalı ortamda bakteriler tarafından oksitlenmektedir. Bu aerobik mikroorganizmalara yeterli oksijeni sağlamak için arıtma çamuru sürekli olarak karıştırılmakta veya güçlü bir şekilde hava enjekte

edilmektedir. En yaygın çamur stabilizasyon metodları anaerobik ve aerobik biyolojik proseslerdir. Aerobic çürütme anaerobic çürütme ile karşılaştırıldığında, prosesin basitliği ve düşük sermaye maliyetleri aerobik çürütmenin avantajlarıdır. Aerobik çürütme bu avantajlarından dolayı küçük ve orta ölçekli atıksu arıtım tesisleri için popüler bir seçenek olmaktadır [20]. Fakat, geleneksel aerobik çürütme nispeten uzun bekleme süreleri(15-30 gün)'nden dolayı daha büyük çürütme tanklarına ihtiyaç duymaktadır [21].

Aerobik çürütme, bakterilerin 2 log₁₀ ve virüslerin 1 log₁₀'a kadar giderimini gerçekleştirmektedir. Helminth ova, bireysel türlerin rekabetine bağlı olarak değişik değerlerde giderilmektedir [22].

2.3.2. Anaerobik çürütme

Anaerobik çürütme, bakteriler tarafından oksijensiz ortamda uçucu katıların karbondioksit, metan ve amonyaka dönüştürülmesiyle gerçekleşen biyolojik bir prosesdir. Bu doğal bir prosesdir, ve de fakültatif ve zorunlu anaerobik bakteriler tarafından gerçekleştirilmektedir.

Organik çamur anaerobik çürütme boyunca onun fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri bakımından oldukça değişikliklere maruz kalmaktadır. İdeal şartlar altında, bu prosesin nihai ürünü, düşük seviyelerde hidrojen sülfür ve amonyak ile beraber karbondioksit ve metan'ın oluşturduğu biyogazdır [23]. Çamurun pH, tuzluluk, mineral kompozisyonu, sıcaklık, yükleme hızı, hidrolik bekleme süresi, C/N oranı, uçucu yağ asidi içeriği gibi özellikleri çamurun çürütülebilirliği ve biyogaz üretimini etkilemektedir [24,25].

Anaerobik çürütme işlemi 4 aşamada gerçekleşir ; Bunlar; hidroliz, fermantasyon, asitojenes ve metanojenes'dir.

Anaerobik çürütme gerekli olan bekleme süresi ve sıcaklığı sağladığı için tipik olarak gözlemlenen bakteri ve virüslerin %90'ı giderilebilmektedir. Mevcut helminth ova, mezofilik şartlar altında büyük oranda giderilemez, hatta 38 °C ve 50 °C

arasındaki sıcaklıklarda bile tamamıyla giderilmiş olmayabilir [26].

2.3.3. Kompostlama

Kompostlama, organik maddelerin sıcaklık, nem ve oksijen seviyeleri kontrol altında tutularak aerobik olarak parçalanmasıdır. Diğer bir ifadeyle atık çamurun biyolojik aktivite ile çürütülmesi işlemidir. Kompostlama işleminde kompostlama kutuları ve tünel reaktörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompostlama kutuları hava ve su geçirmeyen özel kutulardır. Kutu içindeki hava ventilasyonu ile bozunmayı gerçekleştirecek biyolojik aktivite için gerekli olan oksijen miktarı sağlanır ve böylece çamurun organik madde içeriği kısa sürede bozunmaya başlamaktadır [27].

Tünel kompostlama işleminde de benzer şekilde atık çamur ve diğer organik atıklar mekanik işlemlerden geçirilip homojenleştirildikten sonra büyük yığınlar halinde çürütme platformları üzerine yayılarak yoğun bir havalandırmaya tabi tutulur. İlk dört haftalık ön çürütme ve dokuz haftalık ikincil çürütme sonunda çamur; tarım, çiftçilik, bahçecilik, ve rekültivasyonda kullanılan komposta dönüşür [28].

Kompostlama süresince sıcaklık ve zamana bağlı olarak patojen giderimi gerçekleşmektedir. Sıcaklık yaklaşık olarak 40 °C hatta daha yüksek değerlere çıkarak 55 °C'yi aşabilir. Bu durumda patojen bakterilerin yaklaşık 2 log₁₀, virüslerin 1 log₁₀'a kadar azaldığı gözlemlenmektedir [22].

2.3.4. Alkali stabilizasyon

Kireç, arıtma çamuru stabilizasyonu için en yaygın ıslah edici maddelerden biridir. Ayrıca kireç uygulaması çevre risklerini azaltma, tarımsal faydaları, ağır metal ve mikrobiyal içeriği azaltması bakımından önemli bir rol oynamaktadır [29]. Kireç çamur karışımının yüksek pH değerleri devam eden periyod boyunca sürer, böylece mikrobiyal topluluğun yıkımı gerçekleşmektedir. Fakat arıtma çamurunun stabilizasyonu için kireç uygulaması bir çok parametreye bağlıdır; kirecin kullanılabilirliği, maliyet ilişkileri, stabilizasyon için gerekli süre bunlardan

bazılarıdır. Bu gereksinimlerden dolayı çamur stabilizasyonu için kireçten farklı alternatif maddeler düşünülmektedir [30].

Kireç stabilizasyonu patojen bakteri ve virüsleri %99 'a kadar azaltmaktadır, fakat bazı helmint ova türleri için az bir etkiye sahiptir [22].

2.3.5. Isı ile kurutma

Isı ile kurutma arıtma çamurunun hem patojen içeriğini hem de su içeriğini azaltmak için kullanılır. Uygun bir şekilde ısı ile temas sonucu virüs, bakteri ve helminth ova gözlemlenebilir değerin altına düşmektedir.

Patojenlerin inaktivasyonu için kullanılan diğer yol çamura ısı uygulanmasıdır. Bu işlem direk buhar enjeksiyonu veya bir ısı değiştirici kullanılarak pasterizasyon gerçekleştirilmektedir. Isı ile susuzlaştırma prosesi pasterizasyondan çok daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir ki 17-27 bar basınç altında 15-60 dakikalık periyod boyunca 120-140 °C ulaşır [31].

2.3.6. Beta ve gama ışını

Arıtma çamurunun tarımda pratik uygulamalarında başlıca engel yüksek patojen konsantrasyonunun varlığıdır. Arıtma çamuru prosesinde radyasyon kullanılması ile patojenler üzerine radyasyonun çok büyük bir etkisi olduğu belirtilmektedir [32]. Mikroorganizmalar üzerine radyasyon etkileri sadece kimyasal değişiklikler değil aynı zamanda fiziksel ve fizyolojik faktörlerle de ilişkilidir [33].

Doz oranı, doz dağılımı, radyasyon kalitesi, radyasyon tipi ve maruziyeti önemli fiziksel parametrelerdir. Türler, sıcaklık, nem içeriği ve oksijen konsantrasyonu da en önemli fiziksel faktörlerdendir.

Hem fiziksel hem de fizyolojik faktörler, verilen radyasyon dozuna karşı canlı organizmaların verdiği tepkiyi büyük ölçüde değiştirir

2.3.7. Pasterizasyon

Pasterizasyonda mikroorganizmaların azalması işletme faktörleri ve çamur karakteristiğine bağlı olarak değişir, özellikle çamurun büyük kütledeki katılarda fiziksel ısı transferi pasterizasyonu etkilemektedir. Mikroorganizmalar çamurdaki katılar üzerine tutunarak ısı ve diğer zararlı faktörlere karşı korunmaktadır. İşletme süresince oluşan ısı transferindeki potansiyel değişimleri belirlemek için, çamurun pasterizasyonu öncesinde minimum 30 dakika 70 °C işlenmesini tavsiye edilmektedir [34].

2.4. Solarizasyonla Patojen Giderimi

Toprak solarizasyonu kimyasal olmayan bir teknik olup, başlıca toprak kaynaklı patojenleri kontrol etmektedir. Bu sistemde güneşten gelen ısı enerjisi kullanılır, böylece toprakta fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişim meydana gelmektedir. Toprak solarizasyonu güneş radyasyon enerjisini sızdırmamak için toprak üzerine şeffaf plastik naylon serilerek toprak sıcaklığını arttırmak için kullanılan bir metottür. Toprak kaynaklı bitki patojenlerini ve yabancı otları kontrol etmek için en umut verici tekniklerden biridir [35].

Wu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bir model mikroorganizma olarak toprağa aşılınmış olan *E. coli*'nin etkinliğinin giderilmesi üzerine toprak solarizasyonun verimliliğini araştırmışlardır. Toprak solarizasyonunu, su serpmeye ve ince plastik naylonun toprak yüzeyini kapatması ile gerçekleştirilmiştir. Solarize olmuş toprak sıcaklığının solarize olmamış toprak sıcaklığına nazaran yaklaşık 4-10 °C yüksek olduğu ve 31-38 °C arasında dalgalandığı belirtilmiştir. Günlük en yüksek sıcaklık değerleri deneyin ikinci ve üçüncü haftası boyunca gözlemlendiğini ve toplamda 8 gün 40 °C 'nin üzerine ulaştığı belirtildi. Sonuç olarak solarize olmuş toprakta 4 hafta içinde *E. coli* (< 0.08 c.f.u g^{-1} kuru toprak) gözlemlenmedi.

Ortalama ve en yüksek hava sıcaklıkları sırasıyla yaklaşık olarak 27 ve 30 °C ve de solarize olmamış toprağın günlük ortalama ve en yüksek sıcaklıkları sırasıyla yaklaşık olarak 28 ve 30 °C olup tüm deney periyodu boyunca birbiri arasında

benzerlik gözlenmiştir. Fakat solarize olmuş toprağın sıcaklığı ilk önce 35 °C 'ye ilk hafta içinde de 39 °C'ye yükselmiştir.

Deneyin başlangıcında bütün toprak örneklerinde E. coli sayısı yaklaşık olarak 2×10^5 CFU g⁻¹ KM olarak bulundu. E. coli sayısı ilk hafta sonunda hızlı bir şekilde 7×10^2 CFU g⁻¹ KM değerine azaldı ve 4 hafta sonunda hiç gözlemlenmedi. Aksine solarize olmamış toprakta E. coli sayısı deney periyodu boyunca yavaşça azaldı ve de 6 hafta sonra bile yaklaşık 10^2 CFU g⁻¹ KM seviyelerinde kaldı [36].

Benzer bir çalışmada, solarizasyonla enterik mikroorganizmaların giderilmesi için toprağa yerleştirilmiş tavuk gübresi kullanıldı. Solarize olmamış toprak ile karşılaştırıldığında fekal koliformlarda büyük oranda azalma olduğu rapor edildi [37].

Tamietti ve arkadaşları İtalya'da kavunun fusarium solgunluğunun kontrolü için ekolojik bir metod olarak toprak solarizasyonu üzerinde çalışmıştır. Art arda 5 yıl boyunca yarı solarizasyon ve tam solarizasyon üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, alternatif geliştirmek ve ekolojik olarak uyumlu metotlar Fusarium oxysporum f. sp. melonis (Fom) kontrolü için test edilmiştir.

Yarı solarizasyon ve tam solarizasyon (Solarizasyon) 25 cm derinlikte toprağın sıcaklığını arttırdığını gözlemlediler. Yarı solarizasyon 8.6-12.6 °C tam solarizasyon ise 12.6-16.3 °C sıcaklık artışına sebep oldu. Solarizasyon toplam mantar popülasyonunu 25 cm'de % 57.8-96.0 5 cm de ise % 97.0-99.7 azalttığını belirtilmektedir. Fusarium spp. popülasyonları $2-7 \times 10^3$ 'den 0-25 CFU g⁻¹ KM'e kadar azaltılmıştır [38].

T. Phitthayarachasak ve arkadaşları topraktaki mikrobiyal büyümenin yavaşlatılması için gerekli olan zamanın solarizasyon uygulaması ile azaldığını gözlemlemişlerdir. Solarizasyon uygulaması işlerken bir yandan da kaynamış su üretmek için asimetric birleşik parabolik yoğunlaştırıcı geliştirilmiştir. Böylelikle solarizasyon uygulaması için gerekli olan zaman çeşitli derinliklerde 50 cm'yi aşmamak kaydıyla yaklaşık

41,25 °C'de 4-6 haftadan 4 saate kadar düşmüştür. *Ralstonia solanacearum* büyümesini yavaşlatmak için yapılan test gösterdiği *R. Solanacearum*'un toprak yüzeyinde 10.9×10^8 CFU g⁻¹ KM olan toplam bakteri popülasyonu 1, 2 ve 4 saat içerisinde sırasıyla 9.0×10^7 , 7.5×10^4 , 4.1×10^3 değerine düştüğünü gözlemlemişlerdir [39].

A.A. Al-Karaghoulî ve arkadaşları toprak solarizasyon verimine toprak nem içeriğinin etkisini belirlemeye yönelik araştırmalar yapmıştır. Bu kapsamda da saman sarısı toprak ve kumlu topraklardan 5 farklı nem içeriğini olan toprak üzerinde çalışmışlardır. Nemli topraklar 180 µm kalın şeffaf polietilen ile kapatıldı. 1 Temmuz'dan 30 Eylül'e kadar 0.00, 0.05, 0.10, 0.30 m derinliklerdeki toprak sıcaklığı saatlik olarak kaydedildi. Sonuçlar gösterdi ki maksimum toprak sıcaklığı toprak nem içeriğinin artmasıyla azaldı. Toprak sıcaklığı ve ısı akışı arasındaki ilişki toprak nem içeriğinden oldukça etkilenmiştir. Buna ek olarak toprak solarizasyon verimi artan nem içeriği ile beraber azaldı. Her iki toprakta da yüksek sıcaklıklarda *Fusarium oxysporum* gibi patojenik mantarların parçalanması çok daha hızlı gerçekleşmektedir [40].

KOÇAR ve ark. Toprak solarizasyonunda kullanılan değişik örtü malzemelerinin toprak sıcaklığı ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Bir ay boyunca 0,08 mm saydam, 0,08 mm siyah, 0,30 mm saydam ve 0,30 mm siyah polietilen materyalle örtülen parsellerdeki topraklar çalışma süresince tarla üzerinde tutulmuştur. Deneme alanını temsil edecek şekilde alınan toprak örneğine göre gübreleme yapılmıştır.

Solarizasyon işlemi başlangıcında ve sonunda iki derinlikten (0-15,15-30 cm) alınan toprak örneklerinde bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Solarizasyon süresince iki farklı derinlikten (0-15, 15-30cm) toprak sıcaklıkları ölçülmüştür. Solarizasyon sonrasında topraklarda bazı besin maddeleri olan N, P, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn ile organik madde ve suda çözünebilir toplam tuz miktarında önemli oranda artış olduğu gözlenirken Mg ve Na miktarlarında azalma olduğu belirlenmiştir [41].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD

Deneylerde kullanılan arıtma çamuru Sakarya'daki Atıksu Arıtım Tesisinden alınmıştır. Bu tesis günde 90000 m³ atıksu arıtımı gerçekleştirmektedir. Yoğunlaştırma prosesinden sonra çamur belt filtre preste susuzlaştırılmakta ve %20 kuru ağırlığa sahip bir son ürün elde edilmektedir. Çalışmada belt filtreden elde edilen susuzlaştırılmış çamur keki kullanılmıştır.

Solarizasyon deneyi Atıksu Arıtım Tesisi yakınında geçirimsiz beton zemin üzerinde yapılmıştır. Yaklaşık %20 kuru ağırlık içeren filtre pres arıtma çamuru Şekil 3.1 ve 3.2 de görüldüğü gibi altı ve üstü açık 250 cm boy 200 cm en ve 40 cm yüksekliğinde, beton zemin üzerine yerleştirilmiş, kaba doldurulmuştur. Çamur yığınının üzerine 200 µm kalınlıkta şeffaf polietilen naylon örtülerek solarizasyon ile sıcaklığın yükselmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.1. Solarizasyon uygulaması için kullanılan uygulama alanı

Solarizasyon deneyi 17 Temmuz 2010 ile 10 Ağustos 2010 tarihleri arasında gerçekleşti. Üç haftalık deney periyodu boyunca 0-10, 10-20, 20-30 ve 30-40 cm derinliklerindeki çamur sıcaklıkları her gün saat 14:00'de bir toprak termometresi ile ölçülerek kaydedildi.



Şekil 3.2. Solarizasyon uygulaması için gerekli olan arıtma çamurunun dökülülerek polietilen naylon ile hava almayacak şekilde kapatılması

3.1. Çalışmadaki Patojen Mikroorganizmalar ve Numune Alınması

Solarizasyonun patojen bakteri inaktivasyonuna etkisi üç hafta boyunca üçer gün aralarla alınan numunelerde incelenmiştir. Çalışmanın başlangıcındaki çamur patojen konsantrasyonunu belirlemek için belt presten çıkan çamur numunesi incelenmiştir.

Çamur örnekleri 5, 15, 25 ve 35 cm derinlikten US-EPA çamur numune alma kriterlerine uygun olarak alınmıştır [42].

Her bir derinlikten alınan 100'er gramlık dört farklı numune sterilize edilmiş bir kapta homojen olarak karıştırılıp, bu karışımdan 100 gr deney numunesi alınmıştır. Deneme alanından alınan bu numuneler saklama kaplarına alınıp, hemen buz kaplarına yerleştirilmiş ve laboratuara gönderilmiştir.

Daha önceki yapılmış çamur analiz çalışmalarında *E. coli* ve Enterococci'un indikatör mikroorganizma olduğu belirtilmiştir. Yine, literatürde arıtma çamurunda veya su kaynaklarında *E. coli*'nin varlığı fekal kontaminasyonunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Enterococci türlerinin ise, Fekal koliform türlerine kıyasla daha tutarlı olarak patojen inaktivasyonunun bir göstergesi olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada, *E. coli* ve Termotolerant koliform arasındaki inaktivasyon ilişkisini ve farklı ortam şartlarına karşı daha fazla direnç gösteren Enterococci giderim hızını belirlemek için *E. coli*, Termotolerant koliform ve Enterococci incelenmiştir.

3.2. Metod

Termotolerant koliformlar, ISO 9308/1'de belirtilen metoda göre membran filtre yönteminde süzildükten sonra m-FC ortamında belirlenmiştir [43]. Enterococci'un sayımı ISO 7899-2 standartına göre membrandan süzülerek gerçekleştirildi [44]. *E. coli* ise ISO 16649-2'e göre sayıldı. Konsantrasyon CFU g⁻¹ KM olarak ifade edilmiştir [45]. Bakteri analizleri akredite bir laboratuarda yaptırılmıştır.

3.3. İstatistiksel Analiz

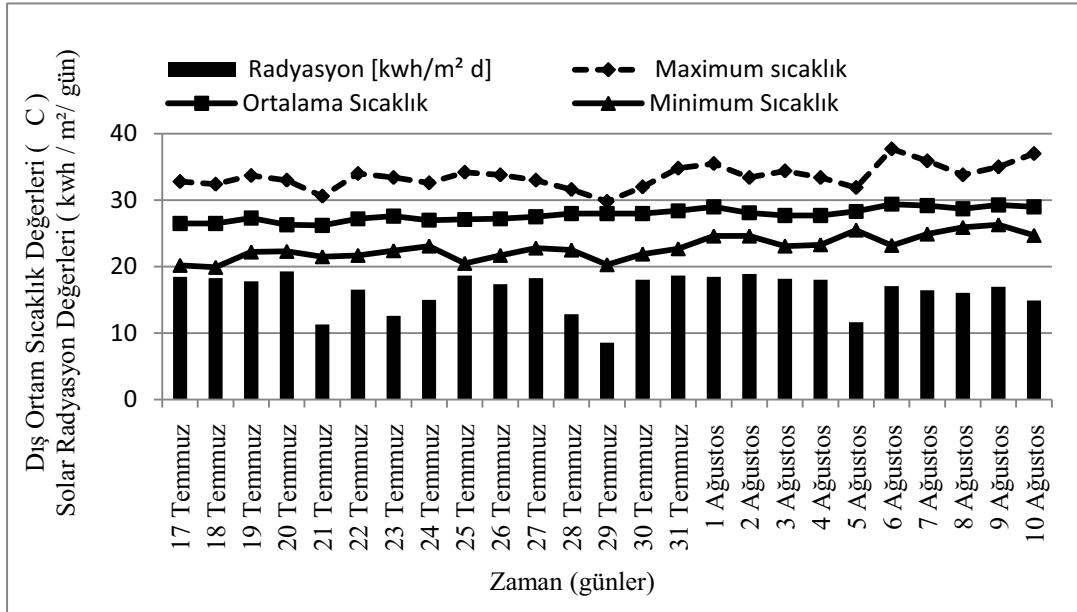
Solarizasyon uygulaması boyunca her bir patojen mikroorganizmanın inaktivasyon oranı $\log N/N_0$ olarak hesaplandı. Burada t=0 anında yaşayan mikroorganizma konsantrasyonu N_0 ve t anındaki konsantrasyonu ise N olarak tanımlamaktadır. Çalışmada, en uygun mikrobiyal inaktivasyon model tipini belirlemek için GInaFiT inaktivasyon model oluşturma programı kullanılmıştır [46]. *E. coli* için log-lineer regresyon, termotolerant koliform için log-lineer regresssion ve tail gerçekleşen inaktivasyon denklemi, enterococci için ise log-lineer regresssion, tail ve shoulder bir arada görülen inaktivasyon denklemi en uygun inaktivasyon modeli olarak seçilmiştir.

En uygun inaktivasyon eğrilerini belirlemede hata kareler ortalaması (RMSE) baz alınmıştır. İnaktivasyon hızı (k_{max}) ve popülasyonda % 90 azalış için gerekli olan süreyi gösteren T_{90} değerleri GInaFiT programından elde edilen en uygun modele ait değerlerdir. Çamur derinliği ve bekleme süresine bağlı olarak patojen giderim etkinliği ANOVA analizi ile belirlenmiştir. Bakteri sayıları istatistiki analize tabi tutulmadan önce normallik ve homojenliği sağlamak için $X_i = \log(n_i + 1)$ formülü ile logaritmik tabana dönüştürülmüştür. Her bir derinlik ve sürede tespit edilen ortalama değerler asgari önemli fark (LSD) testi ile belirlenmiştir ($p < 0,05$).

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Solarizasyonda Sıcaklık Değişimi

Solarizasyon ile patojen giderim performansı büyük ölçüde bölgenin iklim koşulları tarafından belirlenmektedir [6]. Meteorolojik parametrelerden özellikle günlük sıcaklık ve sıcaklık oluşumunu belirleyen günlük metrekareye düşen güneş radyasyon miktarı en önemli parametrelerdir. Çalışmanın yürütüldüğü 17 Temmuz 2010 ile 10 Ağustos 2010 tarihleri arasında saptanan günlük sıcaklık değerleri ile metrekareye düşen güneş radyasyonu miktarı Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Çalışmanın yürütüldüğü dönem boyunca dış ortam sıcaklığı 30-36 °C arasında değişmiştir. Güneş radyasyonu ise 8,57-19,30 kWh/ m²/gün arasında değişim göstermiştir. 21 günlük deney süresince yağmurlu gün olmamıştır.



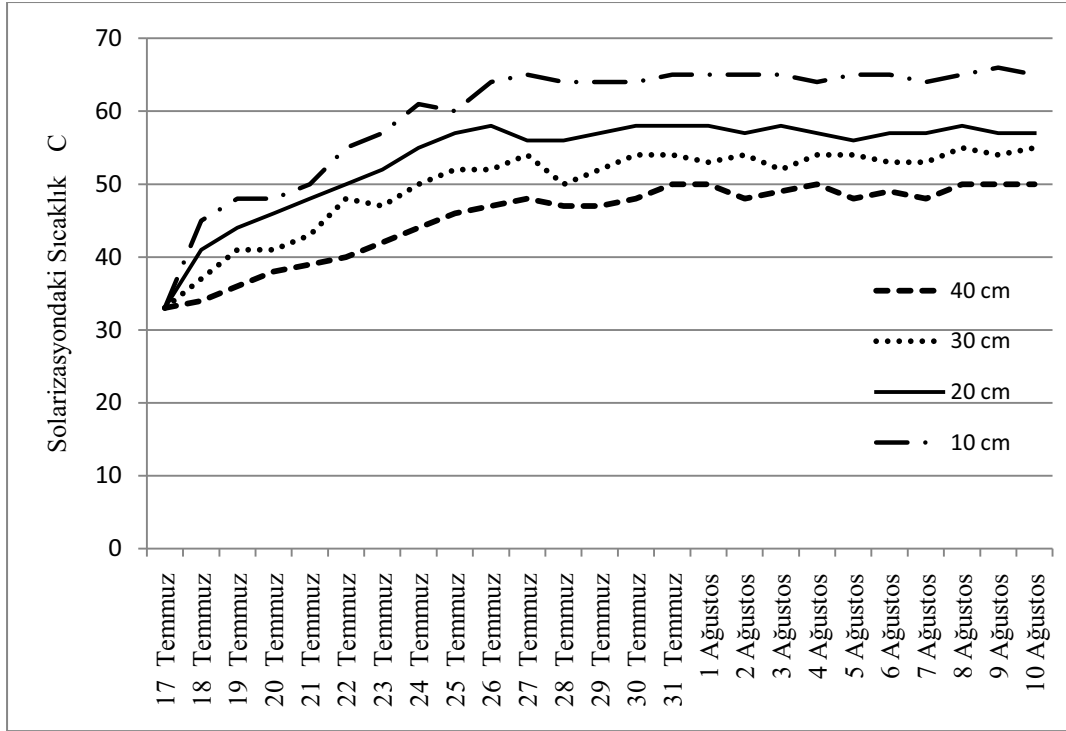
Şekil 4.1. Solarizasyon çalışması yapılan bölgeye ait maksimum, ortalama, minimum hava sıcaklıkları ve güneş radyasyonu

Solarizasyon uygulaması, çamur yığınının takip edilen her derinliğinde çamur sıcaklığını dış ortam sıcaklığına kıyasla daha yüksek değerlere ulaştırmıştır. Solarizasyon'un ilk haftasında, çamur yığını ilk 30 cm'de termofilik sıcaklık derecelerinin alt sınırı olan 45 °C'nin üzerine çıkmıştır. Solarizasyon'un ikinci haftasında çamur sıcaklıkları takip edilen her derinlikte maksimum değerlerine ulaşmış ve bundan sonra daha yüksek sıcaklıklar gözlenmemiştir. Maksimum sıcaklıklar, 0-10 cm'de 65 °C, 10-20 cm'de 58 °C, 20-30 cm'de 55 °C, 30-40 cm'de ise 50°C olarak kaydedilmiştir. Hızlı mikrobiyal inaktivasyon sağlayan 55°C'nin üzerindeki sıcaklık değerleri, çamur yığınının en alt katmanı olan 30-40cm derinliğinde saptanmamıştır. Takip edilen derinliklerdeki günlük sıcaklık değişimi çok az olmuş ve her katman arasında 5 °C sıcaklık farklılığı tespit edilmiştir.

Beklendiği gibi, sıcaklık çamur derinliği ile negatif korelasyon göstermiş, çamur derinliği arttıkça sıcaklık azalmıştır. En yüksek sıcaklık değeri 0-10 cm'de 65 °C olarak ölçülürken, en düşük sıcaklık değeri ise 30-40 cm'de 50 °C olarak ölçülmüştür.

Toprak solarizasyonu yapılan çalışmalarda ulaşılabilen en yüksek sıcaklık açık alan ve sera solarizasyon uygulamalarına göre farklılık göstermektedir. Maksimum toprak sıcaklığı Tayland'da açık alanda yapılan bir çalışmada 41 °C, Japonyada yapılan benzer bir çalışmada 38 °C, Kaliforniyada yapılan bir çalışmada 55 °C olarak ölçülmüştür [35]. Türkiye'de Aydın ilinde yapılan bir sera çalışmada toprak sıcaklığının solarizasyon uygulanmış toprakta 41°C olarak, uygulanmamış toprakta ise 38°C ölçüldüğü belirtilmektedir. İtalyada yapılan bir çalışmada da dış ortam sıcaklığına kıyasla solarizasyon uygulanmış toprağın sıcaklığının 12 °C daha yüksek olduğu belirtilmektedir [38]. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi bu çalışmada toprak solarizasyonu çalışmalarından daha yüksek çamur sıcaklıklarına ulaşılmıştır.

Çamur yığınının ilk 10 cm'sinde ölçülen sıcaklık dış ortam sıcaklığından 30 °C, yığının en altında ölçülen sıcaklık ise dış ortam sıcaklığının 14 °C üzerinde kaydedilmiştir.



Şekil 4.2. Solarizasyonda 10, 20, 30 ve 40 cm için günlük ölçülen sıcaklık değerleri

Solarizasyon uygulamalarında toprak sıcaklığını artırmak için solarizasyon boyunca toprağın rutubetli tutulması önerilmektedir [6]. Rutubet patojen inaktivasyonunda önemli olduğu gibi katı matriksinde ısı iletimi de sağlamakta ve toprak derinliğine doğru sıcaklık yükselmesine neden olmaktadır [47]. Çalışmada kullanılan arıtma çamurunun su kapsamı deney boyunca %80 civarında değişmiş ve toprağa kıyasla daha yüksek seviyelerde kalmıştır. Dolayısı ile solarizasyon uygulanmış çamurda daha yüksek sıcaklık derecelerine ulaşılmıştır. Yine organik madde verilmiş topraklarda ulaşılan sıcaklığın ve toprak profili boyunca sıcaklık iletiminin daha yüksek olduğu belirtilmekte, ilave olarak mineralizasyon sonucu açığa çıkan CO₂'in ısı tutumunda etkili olduğu belirtilmektedir [48]. Çalışmada kullanılan arıtma çamurunun organik madde miktarı % 60 civarında ölçülmüştür. Toprağa kıyasla daha yüksek olan organik madde ve mineralizasyon sonucu ortaya çıkan CO₂ yine sıcaklık artışında etkili olan faktörlerden biri olmuştur.

4.2. Patojen İnaktivasyonu Üzerine Solarizasyon'un Etkisi

Solarizasyonun patojen mikroorganizma giderimine etkisi, polietilen naylon altında ulaşılan sıcaklık ve sıcaklığın süresine bağlı olarak değişmektedir [35].

Bitki patojenlerini gidermek için yapılan toprak solarizasyonu çalışmalarında, solarizasyonun etkili olduğu toprak derinliğinin genellikle 20-30cm arasında olduğu belirtilmekte ve bu derinlikte 40 günden az olmamak koşuluyla genelde 3 ay solarizasyon önerilmektedir [6]. İtalyada yapılan bir çalışmada toprağın 25 cm derinliğinde ve solarizasyondan 50 gün sonra bitki patojeni mantarlarının %97, bu gruptan Fusarium mantarlarının ise % 99.7 giderildiği belirtilmektedir [38]. Yapılan bu çalışmada ise solarizasyonun arıtma çamuru patojenleri Termotolerant koliform, E. coli ve Enterococci giderimine etkisi 3 hafta boyunca üçer gün aralarla takip edilmiştir.

4.2.1. Termotolerant koliformlar'ın inaktivasyon kinetiği

Termotolerant koliformların 10, 20, 30, 40 cm için elde edilen inaktivasyon kinetiği GInaFiT inaktivasyon model seçimi için geliştirilmiş araç çubuğu kullanılarak belirlenmiştir. Log-Lineer ve tail bir arada olan inaktivasyon modeli Termotolerant koliformlar için en uygun model olarak bulunmuştur. Aşağıda belirtilen denklem ise bu model için elde edilen inaktivasyon model denklemdir.

$$N = N_0 - N_{Kalan} \times e^{-k_{max} \times t} + N_{Kalan}$$

Bu inaktivasyon denkleminde N_0 başlangıç konsantrasyonunu, $N_{(Kalan)}$ ise solarizasyon uygulamasından sonra ortamda kalan mikroorganizma konsantrasyonunu, k_{max} sabiti de mikroorganizmaların inaktivasyon hızını ifade etmektedir.

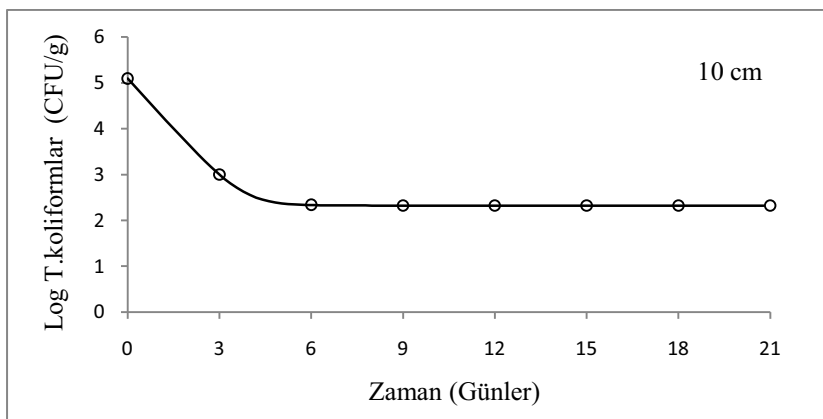
Solarizasyon uygulamasının başında termotolerant koliformların sayısı 10, 20, 30 ve 40 cm çamur derinliklerinde 5,1 log₁₀ CFU/g KM olarak belirlendi, solarizasyon'un ilk haftası içinde hızla azalarak 10 ve 20 cm çamur derinliğinde 2,3 log₁₀ CFU/g KM'e kadar düşmüştür. Bakteri konsantrasyonu 2,3 log₁₀ CFU/g KM'e azaldıktan sonra, çamur profilindeki sıcaklık farklılıklarına rağmen bakteri sayısındaki değişim minimum düzeyde kalmıştır.

Solarizasyon uygulamasında Termotolerant koliformlar için ilk 20 cm çamur derinliği patojen inaktivasyonu için eşik değer olmuştur. Tablo 4.1’de, inaktivasyon kinetiklerinde hesaplanan k_{max} ve T_{90} değerleri dikkate alındığında, 10 ve 20 cm çamur derinliğinde gerçekleşen inaktivasyon benzerlik gösterirken, 30 ve 40 cm’de gerçekleşen inaktivasyon ise kendi arasında benzerlik göstermiştir.

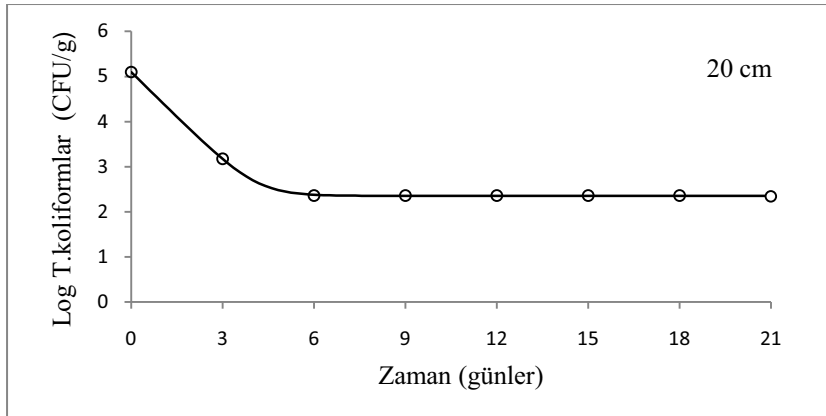
Tablo 4.1. Termotolerant koliformların maximum inaktivasyon hızı, % 90’ının inaktivasyonu için gerekli olan süre, RMSE

Solarizasyon derinliği (cm)	Termotolerant koliform		
	k_{max}	T_{90} (gün)	RMSE
10	1.69	1.36	0.010
20	1.53	1.50	0.113
30	0.85	2.71	0.042
40	0.73	3.16	0.134

Buna bağlı olarak Termotolerant koliformların % 90’ının giderilmesi için gerekli olan süre 10, 20 cm için sırasıyla 1,36 ve 1,50 gün olarak hesaplanırken daha alt çamur derinliklerinde T_{90} değeri iki kat yükselmiştir. Termotolerant koliformların 10, 20, 30 ve 40 cm çamur derinliğinde solarizasyon sıcaklığına bağlı hesaplanan inaktivasyon kinetikleri Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



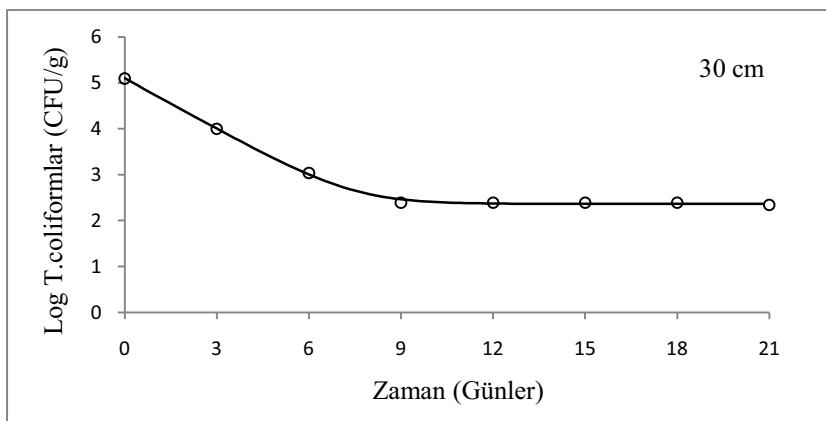
Şekil 4.3. Termotolerant koliformların 10 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu



Şekil 4.4. Termotolerant koliformların 20 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu

Solarizasyon uygulaması boyunca Termotolerant koliformlar için 30 ve 40 cm derinliklerinde gerçekleşen inaktivasyon hızları benzerlik göstermektedir. Çamur derinliğine bağlı olarak T_{90} değerlerinde artış olmakta, çamur sıcaklığı düşmektedir.

Solarizasyon uygulaması başlangıcında 30 cm derinlikteki çamur sıcaklığı 33 °C olduğu ve solarizasyonun 10. gününde ise 52 °C'ye ulaştığı daha sonraki günlerde ise 52-54 °C arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

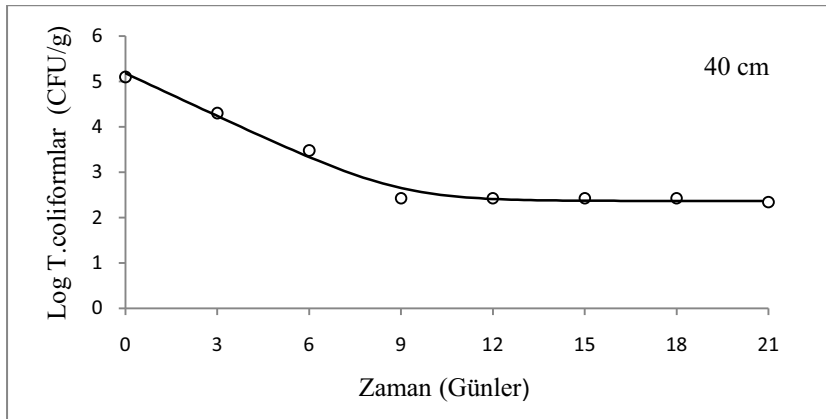


Şekil 4.5. Termotolerant koliformların 30 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu

Aynı şekilde solarizasyon başlangıcında 40 cm derinlikteki çamur sıcaklığı 33 °C olmasına rağmen 10 gün sonra 48 °C'ye ulaştığı ve uygulama süresince devam eden günlerde ise 48-50 °C arasında değişim gösterdiği gözlemlendi.

Her iki yükseklik için ilk 10 günde gerçekleşen sıcaklık değişiminin Termotolerant koliform inaktivasyonu için oldukça önemlidir. Ancak 10. günden sonra sıcaklık

değerlerinde çok büyük artışlar gözlemlenmemiştir. Buna bağlı olarak Termotolerant koliformların termofilik sıcaklıklara zamanla adapte olduğu söylenebilir.



Şekil 4.6. Termotolerant koliformların 40 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu

Sonuç olarak, termotolerant koliform sayısında çok ciddi oranda azalma olmuştur. Hatta 30 ve 40 cm’de dahi Termotolerant koliform % 90’ının inaktivasyonu için gerekli süre sırasıyla 2.71, 3.16 gün olarak belirlenmiştir. Ancak solarizasyonun 9. gününden itibaren 210 CFU/g değerinde kalmış ve belirlenebilir limitlerin altına düşmemiştir.

Laboratuvar çalışmalarında patojen gideriminin zaman ve sıcaklıkla ilişkisi pek çok çalışmada gösterilmiş ve standartları ortaya koyulmuştur [4]. 55 °C’nin üzerindeki termofilik sıcaklık dereceleri enterik mikroorganizmaların tam gideriminde yeterli görülürken, mezofilik sıcaklık derecelerinde tam inaktivasyon için gerekli olan süre uzamaktadır [4, 5]. Bu çalışmada da sıcaklığın artışına bağlı olarak tespit edilen hızlı inaktivasyon oranı önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir.

Anaerobik koşulların oluşması ile beraber ortamda oluşan CO₂ ve mikrobiyal türler arasındaki rekabet patojen giderimine etki etmiştir. Termotolerant Koliform popülasyonu’nun solarizasyonun ilk hafta sonrasındaki sıcaklık artışındaki değişime ve anaerobik koşullara adaptasyon sağladığı düşünülmektedir. Bunun sonucu olarak Termotolerant koliform sayısı belli bir değerden sonra büyük değişim göstermemiştir, adaptasyon gösteren fraksiyon varlığını devam ettirmiştir [37].

4.2.2. Escherichia coli'nin inaktivasyon kinetiği

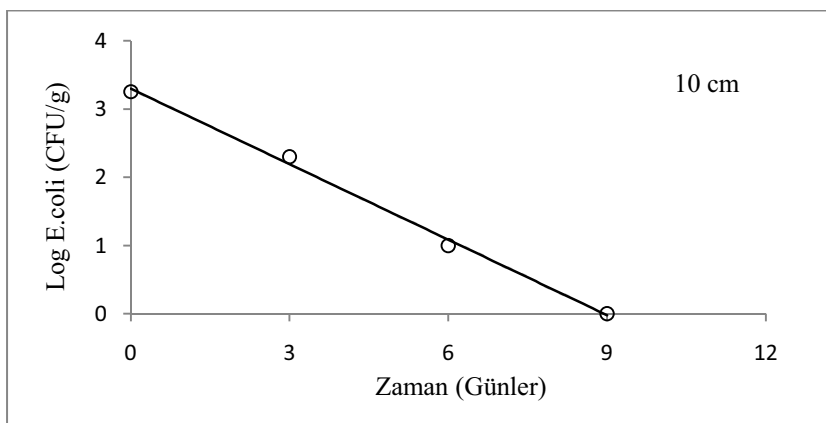
E. coli' 10, 20, 30, 40 cm için elde edilen inaktivasyon kinetiği GInaFiT inaktivasyon model seçimi için geliştirilmiş araç çubuğu kullanılarak belirlenmiştir. E. Coli'nin inaktivasyon kinetiğini belirleyen model her yükseklik için log-lineer model olarak bulunmuştur. Aşağıda belirtilen inaktivasyon model denklemi E. coli için en uygun model olarak seçilmiştir.

$$N = N_0 \times e^{-k_{\max} \times t}$$

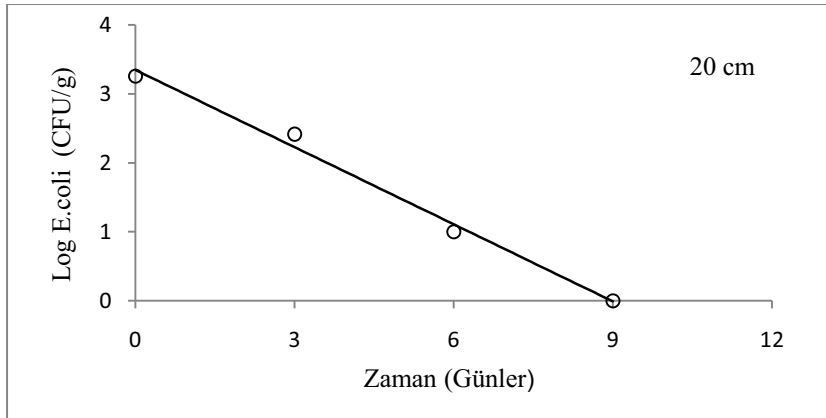
Bu denkleme göre, solarizasyonun 10 ve 20 cm çamur derinliğinde E. coli giderimi Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 'de görüldüğü gibi benzerlik göstermiştir.

Solarizasyon uygulamasının başında E. coli konsantrasyonu 3,25 log₁₀ CFU/g KM olduğu belirlenmiştir. İlk üç gün içinde 10 ve 20 cm çamur derinliğindeki E. coli konsantrasyonu yaklaşık 2 log₁₀ CFU/g KM'e düşmüştür.

Solarizasyonun altıncı gününde ise 10 ve 20 cm çamur derinliğinde E. coli konsantrasyonu 1 log₁₀ CFU/g KM olarak belirlenmiştir. Uygulamanın 9. gününde ise 10 ve 20 cm çamur derinliğinde E. coli'nin tam inaktivasyonu gerçekleşmiştir.



Şekil 4.7. Escherichia coli'nin 10 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu



Şekil 4.8. Escherichia coli'nin 20 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu

Solarizasyon uygulamasındaki E. Coli'nin 10, 20, 30, 40 cm çamur derinliklerindeki maksimum inaktivasyon hızları Tablo 4.2'de verilmiştir. Çalışmada 10 ve 20 cm çamur derinliklerindeki E. coli'nin maksimum inaktivasyon hızları 0,85 ve 0,84 olarak elde edilmiştir. 30 ve 40 cm çamur derinliklerinde ise maksimum inaktivasyon hızı 0,64 ve 0,65 olarak bulunmuştur. Çamur derinliklerine bağlı olarak maksimum inaktivasyon hızları arasındaki ilişki göz önüne alındığında, istatistiksel açıdan 10 ve 20 cm'deki k_{max} değerlerindeki benzerlik ile 30 ve 40 cm'deki k_{max} değerleri arasındaki benzerlik görülmektedir.

Çamur derinliğine bağlı maksimum inaktivasyon hızları arasındaki ilişki, T_{90} değerleri ile karşılaştırıldığında da birbirini desteklemektedir. Çamur derinliğinin 10 ve 20 cm'sinde elde edilen T_{90} değerleri 2,47 ve 2,56 gün olarak bulunurken, 30 ve 40 cm derinlikte ise 4,30 ve 4,60 olarak bulunmuştur. Tablo 4.2'de belirtildiği gibi çamur derinliğine bağlı olarak ile solarizasyon uygulamasında k_{max} ve T_{90} değerlerinin değişimi görülmektedir.

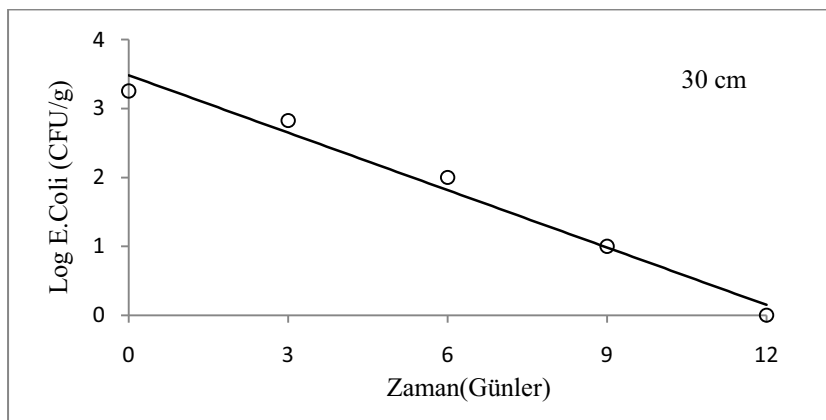
E. coli'de de Termotolerant koliform gibi 20 cm solarizasyon yüksekliği önemli bir eşik değer oluşturmaktadır. Termotolerant koliformlar için 10, 20 cm ile 30, 40 cm çamur derinliklerindeki T_{90} değerleri arasındaki iki kat fark, benzer şekilde E. coli'de de görülmüştür.

Tablo 4.2. Escherichia coli'nin maximum inaktivasyon hızı ile % 90'ının inaktivasyonu için gerekli olan süre, RMSE

Solarizasyon derinliği (cm)	E. Coli		
	k_{max}	T_{90} (gün)	RMSE
10	0.85	2.47	0.104
20	0.84	2.56	0.210
30	0.64	4.30	0.216
40	0.65	4.60	0.401

Solarizasyon uygulamasında 30 ve 40 cm çamur derinliğinde E. coli inaktivasyonu birbirine benzerlik göstermiştir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görüldüğü gibi E. coli konsantrasyonu uygulamanın başlangıcında 3,25 \log_{10} CFU/g KM iken, 3. günde 2.8 \log_{10} CFU/g KM, 6. günde 2 \log_{10} CFU/g KM, 9. günde ise 1 \log_{10} CFU/g KM olarak belirlenmiştir.

Solarizasyon uygulamasının 9. gününde 10 ve 20 cm çamur derinliklerinde, 12. gününde ise 30 ve 40 cm çamur derinliğinde E. coli'nin tam inaktivasyonu sağlanmıştır. Solarizasyon uygulamasında, E. coli inaktivasyonunun 10-20 ve 30-40 cm çamur derinliklerinde tam inaktivasyon gerçekleşmesi için gerekli olan süredeki üç günlük fark, çamur sıcaklığının derinliğe bağlı olarak azalması ile açıklanabilir.



Şekil 4.9. Escherichia coli'nin 30 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu



Şekil 4.10. Escherichia coli'nin 40 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu

Her 10 cm'lik arıtma çamur profilinde belirlenen E. coli sayısı çamur sıcaklığına bağlı olarak en üst noktadan en derin noktaya kadar çok hızlı azalmıştır. Lineer regresyon analizleri gösterdi ki E. coli'nin logaritmik sayısında çamur derinliği ve uygulama süresi ile ilişkili olarak büyük bir azalma olduğu belirlenmiştir. Solarizasyon uygulamasında 20 cm ve daha üst kısımlardaki E. coli sayısındaki azalma 20 cm'nin altındaki kısımlardaki E. coli sayısındaki azalmadan çok daha hızlı ve büyük değerdedir.

Uygulamanın başlamasından 12 gün sonra tüm çamur yükseklikleri için E. coli sayısı belirlenebilir limitlerin altına düştü. T_{90} değeri 20 cm için 2,56 gün iken 40 cm için 4,60 olarak bulundu.

Çamur sıcaklığı en üst kısımdan 20 cm derinlikte çok daha düşük olmasına rağmen E. coli giderimi çok hızlı gerçekleşmiştir. E. coli gideriminde sıcaklıktan ziyade diğer parametrelerin etkin olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumu destekleyen bir çalışmada, toprakta CO_2 seviyesindeki artış, solarizasyon ile gerçekleşen patojen yıkım verimini artırdığını rapor etmektedir [13].

Sıcaklığa bağlı olarak gerçekleşen inaktivasyon çalışmalarında da belirtildiği gibi, E. coli ısı inaktivasyonuna karşı çok daha hassastır [16].

4.2.3. Enterococci'un inaktivasyon kinetiği

Enterococci'un 10, 20, 30, 40 cm için elde edilen inaktivasyon kinetiği GIInaFiT inaktivasyon model seçimi için geliştirilmiş araç çubuğu kullanılarak belirlenmiştir. Enterococci için iki farklı inaktivasyon eğrisi elde edilmiştir. 10 ve 20 cm çamur derinliğini temsil eden inaktivasyon eğrileri için log-lineer ve tail, 30 ve 40 cm çamur derinliğini temsil eden inaktivasyon eğrileri için ise shoulder, log-lineer, tail bir arada gerçekleşmiştir.

10 ve 20 cm çamur derinliği için;

$$N = N_0 - N_{Kalan} \times e^{-k_{max} \times t} + N_{Kalan}$$

30 ve 40 cm için;

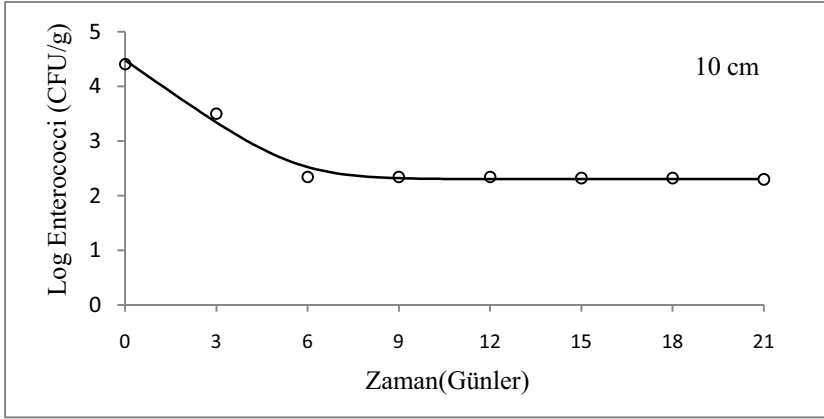
$$N = N_0 - N_{Kalan} \times e^{-k_{max} \times t} \times \frac{e^{k_{max} \times SI}}{1 + (e^{k_{max} \times SI} - 1) \times e^{-k_{max} \times t}} + N_{Kalan}$$

30 ve 40 cm için oluşturulan inaktivasyon denkleminde diğer model denklemlerden farklı olarak SI terimi, inaktivasyon sırasında gerçekleşen ilk baştaki shoulder uzunluğunu ifade etmektedir.

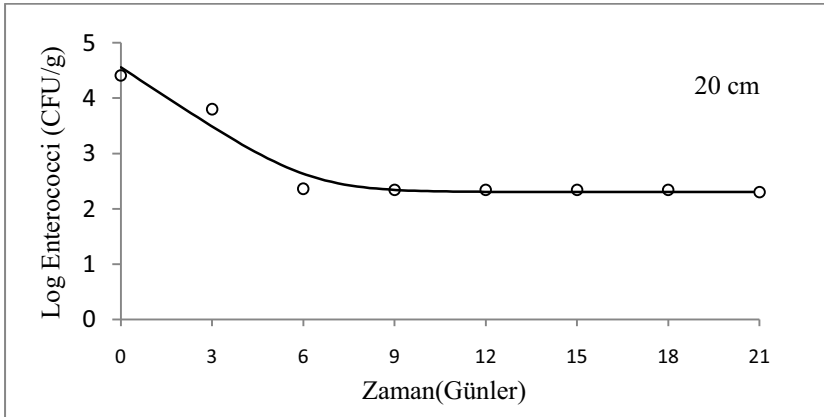
Solarizasyon uygulamasında 10 ve 20 cm çamur derinliklerinde, başlangıçta 4,4 log₁₀ CFU/g KM olan enterococci konsantrasyonu solarizasyonun 6. gününde 2,34 log₁₀ CFU/g KM değerlerine düşmüştür. Uygulamanın başlangıcında solarizasyonun her derinliğinde çamur sıcaklığı 33 °C iken, 10 ve 20 cm çamur derinliklerinde sıcaklık 6. günde 50 °C'ye yükselmiştir. Buna bağlı olarak ise 10 ve 20 cm çamur derinliğinde Enterococci inaktivasyonunun Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de görüldüğü gibi log-lineer eğri ve tail oluşturduğu görülmektedir.

10 ve 20 cm çamur derinliklerindeki sıcaklık değerlerinin birbirine yakın olması benzer log-linear eğri oluşmasına sebep olmuştur.

Fakat solarizasyon uygulamasının ilk haftasında, 10 cm çamur derinliğinin sıcaklık değeri 20 cm çamur derinliğinde ulaşılan sıcaklık değerinden yüksek olması tail başlangıç noktasını değiştirmiştir.



Şekil 4.11. Enterococci'un 10 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu



Şekil 4.12. Enterococci'un 20 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu

Tablo 4.3'te görüldüğü gibi solarizasyon uygulamasındaki 10 ve 20 cm çamur derinliğindeki T_{90} değerleri 2,63 ve 2,80 gün, 30 ve 40 cm çamur derinliğindeki T_{90} değerleri ise 7,50 ve 10,33 gün olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.3. Enterococci'un maximum inaktivasyon hızı ile % 90'ının inaktivasyonu için gerekli olan süre, RMSE

Solarizasyon derinliği (cm)	Enterococci		
	k_{max}	T_{90} (gün)	RMSE
10	0.90	2.63	0.144
20	0.84	2.80	0.199
30	1.23	7.50	0.072
40	0.77	10.33	0.090

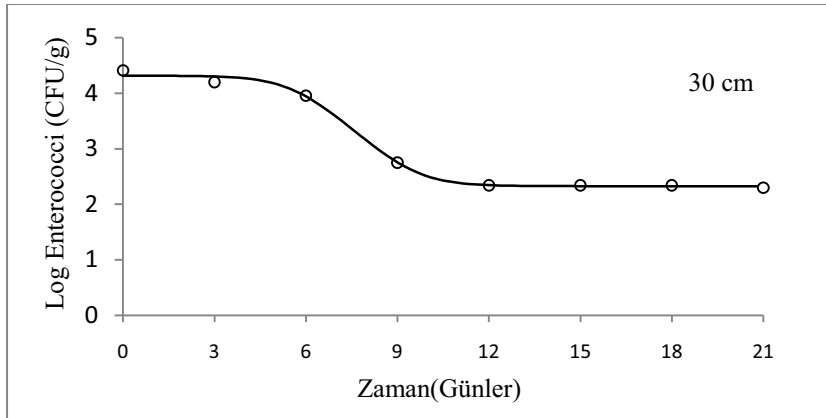
Enterococci için T_{90} değerlerindeki değişim derinliğe bağlı exponansiyel olarak değişmektedir. Termotolerant koliform ve E. coli'de 10-20 cm'deki T_{90} değerleri ile 30-40 cm'deki T_{90} değerleri arasında iki kat artış gözlenirken, Enterococci için 30 cm için 3 kat, 40 cm için ise yaklaşık 4 kat artış görülmüştür.

Solarizasyon uygulamasında 20 cm'lik yükseklik diğer mikroorganizmalarda olduğu gibi enterococci içinde inaktivasyon süresi açısından en uygun yükseklik olarak düşünüldü.

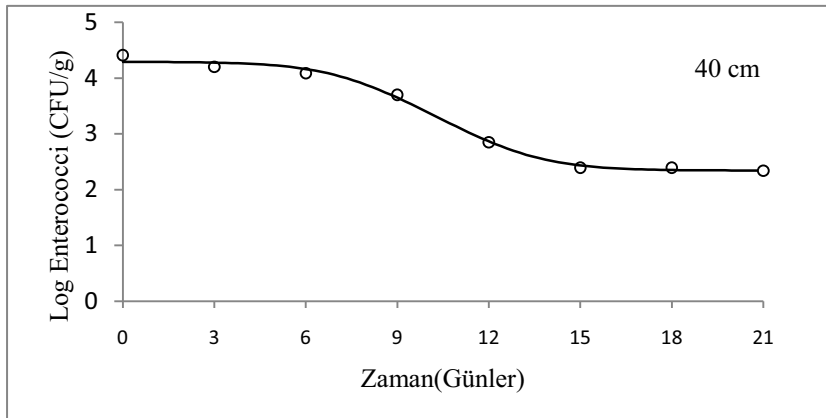
Sıcaklığa karşı diğer patojenlere göre daha fazla dirençli olan enterococci'da bile T_{90} değerleri 10 ve 20 cm çamur derinliklerinde yaklaşık 2,5 gün olarak elde edildi.

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de belirtildiği gibi 30 cm derinlikte, enterococci 2,34 \log_{10} CFU/g KM değerine 9. günde ulaşırken, 40 cm derinlikte ise aynı değere yaklaşık 15 günde ulaşmaktadır.

Sıcaklık değerlerinin derinlik arttıkça düşmesi ve buna bağlı olarak inaktivasyon sürelerinin derinlik arttıkça artması görülmektedir. Enterococci'un 40 cm derinlikteki inaktivasyon grafiğinde shoulder uzunluğunun fazla olması ve inaktivasyon hızının düşük olması Enterococci için gerekli olan inaktivasyon sıcaklığına geç ulaşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.13. Enterococci'un 30 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu



Şekil 4.14. Enterococci'un 40 cm çamur derinliğindeki inaktivasyonu

İnaktivasyon eğrileri karşılaştırılırken, T_{90} ve inaktivasyon hızlarına bağlı olarak Enterococci'un solarizasyon uygulaması ile oluşan sıcaklık artışına bağlı olarak gerçekleşen yıkıma karşı çok daha fazla dirençli olduğu gözlemlendi. İlk enterococci izleme çalışmaları, zor şartlara karşı bu mikroorganizmanın dirençli olduğunu göstererek sigmoidal inaktivasyon eğrisi oluşturduğunu rapor etmektedir [15].

Enterococci inaktivasyon eğrileri için iki farklı durum gerçekleşti; 10, 20 cm derinlik için tail ve 30, 40 cm için tail ve shoulder bir arada gözlemlendi. Bundan dolayı patojen giderim hızı ve patojenlerin %90'ının inaktivasyonu için gerekli olan zaman, 20 cm'nin üst ve altında büyük oranda değişmektedir. Enterococci'da özellikle sıcaklığa bağlı sigmoidal inaktivasyon eğrisi oluşmaktadır [49-50]. Enterococci'un ısı duyarlı fraksiyonu sıcaklık değişimine bağlı olarak solarizasyon uygulamasının en üst noktasından en alt noktasına doğru hızlı bir şekilde azaldı.

Stabil bir sıcaklığa ulaştıktan sonra her bir derinlik için logaritmik olarak inaktivasyon çok az gerçekleşti.

Mikroorganizma sayılarında büyük derecede azalma olmasına rağmen, solarizasyon Termotolerant koliform ve Enterococci'ü belirlenebilir seviyelerin altına düşürememiştir. Muhtemelen bu mikroorganizmaların kalan sayıları sıcaklık değişiminin çok az olduğu termofilik şartlara adaptasyon sağlaması ile ilgilidir. Bununla ilgili olarak, mikroorganizmalar ani olmayan yavaş yavaş gerçekleşen sıcaklık artışlarına adaptasyon sağlar, böyle durumlarda inaktivasyon eğrisinde tail durumunun olması ise bu adaptasyonun varlığının kanıtı olarak gösterilmiştir [17].

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Atıksu arıtma tesislerinde son ürün olarak ortaya çıkan arıtma çamurlarındaki patojen mikroorganizmalar canlı ve çevre sağlığı açısından ciddi risk oluşturmaktadır. Solarizasyon günlük güneşlenme süresinin uzun ve ortalama sıcaklığının 20-30 °C arasında değişim gösterdiği yaz dönemlerinde uygulanabilir ekolojik bir yöntemdir. Dış ortam sıcaklıklarının daha yüksek olduğu bölgelerde, ilkbahar ve yaz dönemi boyunca patojen mikroorganizmaların giderimi için etkili ve ekonomik açıdan kullanılabilir bir yöntemdir. Yatırım ve işletim maliyeti yüksek patojen giderim yöntemlerine eşdeğer patojen giderimi solarizasyon ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada patojen mikroorganizmaların arıtma çamurlarından inaktivasyonu solarizasyon ile gerçekleştirilmiştir.

Solarizasyon uygulamasıyla çamur sıcaklığı, çamur derinliğine bağlı olarak bütün derinliklerde termofilik sıcaklık derecelerine ulaşmıştır. Polietilen naylon altındaki sıcaklıklar, 20 cm'de 60 °C'ye ve 40 cm'lik çamur derinliğinde ise 50 °C'ye ulaşmıştır. Bu sıcaklıklar çoğu çamur mikroorganizmalarının giderimi için etkili ve yeterli sıcaklık dereceleridir.

Çalışmadaki başlıca indikatör mikroorganizmaların solarizasyon metodu ile gideriminde her bir mikroorganizma için elde edilen inaktivasyon kinetiği belirlendi. Enterococci, Termotolerant koliform ve E. coli'nin çamurdaki popülasyonlarının sayılarındaki azalma zaman ile pozitif korelasyon gösterirken, çamur derinliği ile negatif bir ilişki göstermiştir. Bundan dolayı inaktivasyon hızları çamur derinliğine bağlı olarak azalır, T₉₀ değerleri de uzamıştır. Bu sonuçlar patojen inaktivasyonun solarizasyonla sağlanan sıcaklık ile pozitif ilişkide olduğunu göstermektedir. Solarizasyon ile artan çamur sıcaklığının, özellikle E. coli gibi izlenen indikatör mikroorganizmaların inaktivasyonu için başlıca sebep olduğu düşünülebilir.

Sıcaklığın inaktivasyon sağlamasına ilave olarak, sıcaklığa tolerans gösteren Enterococci ve thermotolerant koliformların gideriminde bekleme süresi, çamurda gerçekleşen biyokimyasal etkileşimler, ultraviole radyasyonu vb. gibi etmenlerin de katkısının olabileceği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, çevre ve halk sağlığı açısından risk oluşturan arıtma çamuru kaynaklı patojenlerin solarizasyon uygulaması ile yaz aylarında iki hafta içinde giderilip, USEPA standartlarına göre A sınıfı çamur elde edilebilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] VLYSSIDES, A.G., KARLIS, P.K., Thermal-alkaline solubilization of waste activated sludge as a pre-treatment stage for anaerobic digestion. *Bioresource Technol.* 91, 201-206, 2004
- [2] BUX, M., BAUMANN, R., QUADT, S., PINNEKAMP, J., MUHLBAUER, W., Volume reduction and biological stabilization of sludge in small sewage plants by solar drying. *Dry Technol.* 20, 829-837, 2002
- [3] OROPEZA, M.R., CABIROL, N., ORTEGA, S., ORTIZ, L.P.C., NOYOLA, A., Removal of fecal indicator organism and parasites (fecal coliforms and helminth eggs) from municipal biologic sludge by anaerobic mesophilic and thermophilic digestion. *Water Sci. Technol.* 44, 97-101, 2001
- [4] LANG, N.L., SMITH, S.R., Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. *Water Res.* 42, 2229-2241, 2008
- [5] ROMDHANA, M.H., LECOMTE, D., LADEVIE, B., SABLAYROLLES, C., Monitoring of pathogenic microorganisms contamination during heat drying process of sewage sludge. *Proces. Saf. Environ. Prot.* 87, 377-386, 2009
- [6] KATAN, J., Solar heating (solarization) of soil for control of soil borne pests. *Annu. Rev. Phytopathol.* 19, 211-236, 1981
- [7] VESILIND, P.A. VE SPINOSA, L., Production and regulations, IWA, Ch. 1 in *Sludge into Biosolids*, London, 2001
- [8] BİLGİN, N., EYÜPOĞLU, H., ÜSTÜN, H., *Biyokatıların Arazide Kullanımı. Köy Hizmetleri Ankara Arastırma Enstitüsü Müdürlüğü yayını*, Ankara, 2002
- [9] GIBBS, R.A., HU, C.J., HO, G.E., UNKOVICH, I., Regrowth of faecal coliforms and salmonellae in stored biosolids and soil amended with biosolids, *Water Sci. Technol.* 35, 269-275, 1997

- [10] JONES, P.W., Sewage sludge as a vector of salmonellosis. In: J.C. Block et al. (Ed.) Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge. Elsevier, London, 21-23, 1986
- [11] NICHOLSON, F.A., GROVES, S.J., CHAMBERS, B.J., Pathogen survival during livestock manure storage and following land application. *Bioresource Technol.* 96(2), 135-43, 2005
- [12] WANG, G., ZHAO, T., DOYLE, M.P., Fate of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in bovine feces. *Applied and Environmental Microbiology.* 62(7), 2567-2570, 1996
- [13] JONES, K., *Campylobacter* in water, sewage and the environment. *Journal of Applied Microbiology.* 90, 68-79, 2001
- [14] VALDEZ, J.M., SCHEINBERG, P., YOUNG, N.S., WALSH, T.J., Infections in patients with aplastic anemia. *Seminars in Hematology.* 46(3), 269-276, 2009
- [15] SVENSSON, L., Diagnosis of foodborne viral infections in patients. *Int J Food Microbiol* 59(1-2), 117-26, 2000
- [16] EMMOTH, E., DERGEL, I., MCNEILLY, F., ALLAN, G.M., ALBIHN, A., KLINGEBORN, B., Heat inactivation of porcine circovirus type 2. 11th International Conference Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. Murcia, Spain, 2004
- [17] VASICKOVA, P., DVORSKA, L., LORENCOVA, A., PAVLIK, I., Viruses as a cause of foodborne diseases: a review of the literature. *Veterinaria Medicina* 50(3), 89-104, 2005
- [19] AKYARLI, A., SAHİN, H., Arıtma Çamurlarının Bertarafında Kireç Kullanımı. I.Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu-AÇS2005. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 594s., İZMİR, 191-200, 2005
- [20] BERNARD, S., GRAY, N.F., Aerobic digestion of pharmaceutical and domestic wastewater sludges at ambient temperature. *Water Res.* 34 (3), 725-734, 2000
- [21] JIN, Y.Y., LI, H., MAHAR, R.B., WANG, Z.Y., NIE, Y.F., Combined alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before aerobic digestion. *Journal of Environmental Sciences.* 21, 279-284, 2009
- [22] U.S. EPA, Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, EPA/625/R-92/013, 2003

- [23] APPELS, L., BAEYENS, J., DEGRÉVE, J., DEWIL, R., Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Prog. Energ. Combust.* 34, 755–781, 2008
- [24] MSHANDETE, A., BJORNSSON, L., KIVAIISI, A.K., RUBINDAMAYUGI, S.T., MATTIASSON, B., Enhancement of anaerobic batch digestion of sisal pulp waste by mesophilic aerobic pre-treatment. *Water Res.* 39, 1569–1575, 2005
- [25] KRZYSTEK, L., LEDAKOWICZ, S., KAHLE, H.J., KACZOREK, K., Degradation of household biowaste in reactors. *J. Biotechnol.* 92, 103–112, 2001
- [26] SOWERS, K.R., METHANOGENESIS. IN: LEDERBERG, J., ALEXANDER, M., BLOOM, B., HOPWOOD, D., HULL, R., IGLEWSKI, B., LASKIN, A., OLIVER, S., SCHAECHTER, M., SUMMERS, W. (Eds.), *Encyclopedia of Microbiology*. Academic Press Inc., New York, 204–226, 2000
- [27] AYVAZ, Z., Atıksu arıtma çamurlarının değerlendirilmesi, *Ekoloji.* 35, 3-12, 2000
- [28] WONG, J.W.C., SELVAM, A., Speciation of heavy metals during co-composting of sewage sludge with lime, *Chemosphere* 63, 980–986, 2006
- [29] AKRIVOS, J., MAMAI, D., KATSARA, K., ANDREADAKIS, A. Agricultural utilization of lime treated sewage sludge, *Water Sci. Technol.* 42, 203–210, 2000
- [30] SAMARAS, P., PAPADIMITRIOU, C.A., HARITOU, ZOUBOLULIS, A.I., Investigation of sewage sludge stabilization potential by the addition of fly ash and lime, *Journal of Hazardous Materials.* 154, 1052-1059, 2008
- [31] JAMES, G.B., *Food Processing Handbook*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2006
- [32] JIANLONG, W., JIAZHUO, W., Application of radiation technology to sewage sludge processing: A review, 143, 2-7, 2007
- [33] BORRELY, S.I., CRUZ, A.C., DEL MASTRO, N.L., SAMPA, M.H.O., SOMESSARI, E.S., Radiation processing of sewage sludge: a review, *Prog. Nucl. Energy* 33, 3–21, 1998
- [34] MOCE' LIVINA, L., MUNIESA, M., PINENTA-VALE, H., LUCENA, F., JOFRE, J., Survival of bacterial indicator species and bacteriophages after thermal treatment of sludge and sewage. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 1452–1456, 2003

- [35] STAPLETON, J.J., Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Prot.* 19, 837-841, 2000
- [36] WU, S., NISHIHARA, M., KAWASAKI, Y., YOKOYAMA, A., MATSUURA, K., KOGA, T., UENO, D., INOUE K., SOMEYA, T., Inactivation of *Escherichia coli* in soil by solarization. *Soil Sci. Plant Nutr.* 55, 258-263, 2009
- [37] MILLER, F.A., GIL, M.M., BRANDAO, T.R.S., TEIXEIRA P., SILVA, C.L.M., Sigmoidal thermal inactivation kinetics of *Listeria innocua* in broth: influence of strain and growth phase. *Food Control.* 20, 1151–1157, 2009
- [38] TAMIETTI, G., VALENTINO, D., Soil solarization as an ecological method for the control of *Fusarium wilt* of melon in Italy. *Crop Protection.* 25, 389-397, 2006
- [39] PHITTHAYARACHASAC, T., THEPA, S., KONGKIATTIKAJORN, J., Solar energy system reduces time taken to inhibit microbial growth in soil. *Renewable Energy.* 34, 2467–2473, 2009
- [40] AL-KARAGHOULI, A.A., AL-KAYSSI, A.W., Influence of soil moisture content on soil solarization efficiency. *Renew. Energy.* 24 131-144, 2001
- [41] KOÇAR, G., OKUR, B., ŞAFAK, S., Toprak solarizasyonunda kullanılan değişik örtü malzemelerinin toprak sıcaklığı ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olan etkileri. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 43, 109-120, 2006
- [42] US-EPA, POTW Sludge Sampling and Analysis Guidance Document, US EPA-Office of Water Office of Wastewater Enforcement & Compliance, August 1989, Document No.:PB93-227957. 1989
- [43] ISO 9308/1, Water quality-detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive *Escherichia coli*. 1990.
- [44] ISO 7899-2, Water quality-Detection and enumeration of intestinal enterococci. Part 2:Membrane filtration method. 2000.
- [45] ISO 16649-2, Horizontal Method for the Enumeration of β -glucuronidase-positive *E. coli*. 2001.
- [46] GEERAERD, A.H., VALDRAMIDIS, V.P., VAN IMPE, J.F., GInaFiT, a freeware tool to assess non-log-linear microbial survivor curves. *Int. J. Food Microbiol.* 102, 95-105, 2005

- [47] AL-KARAGHOULI A.A., AL-KAYSSI, A.W., Influence of soil moisture content on soil solarization efficiency. *Renew. Energy*. 24, 131-144, 2001
- [48] AL-KAYSSI, A.W., Impact of elevated CO₂ concentrations in the soil on soil solarization efficiency. *Appl. Soil Ecol.* 43, 150-158, 2009
- [49] VIAU, E., PECCIA, J., Evaluation of the enterococci indicator in biosolids using culture-based and quantitative PCR assays. *Water Res.* 43, 4878-4887, 2009
- [50] FISHER, K., PHILLIPS, C., The ecology, epidemiology and virulence of *Enterococcus*. *Microbiol.* 155, 1749-1757, 2009

ÖZGEÇMİŞ

Taha ASLAN, 1986 yılında Üsküdar'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. Ortaokul eğitimini Üsküdar Şemsi Paşa İlk Öğretim Okulu'nda ve lise eğitimini Üsküdar Burhan Felek Lisesi'nde, lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Bölümünde tamamladı. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği ABD'de yüksek lisans eğitimine başladı. 2010 yılı'nda ise Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı, halen bu bölümde araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.