

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**SOLARİZASYON UYGULAMASININ ARITMA ÇAMURU
KOMPOSTLARINDA İNDİKATÖR MİKROORGANİZMA
GİDERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müşerref SAZAK

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR

Nisan 2019

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**SOLARİZASYON UYGULAMASININ ARITMA ÇAMURU
KOMPOSTLARINDA İNDİKATÖR MİKROORGANİZMA
GİDERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müşerref SAZAK

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez .. / .. /2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

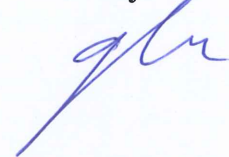
**Prof. Dr.
Saim ÖZDEMİR
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.
Ömer Hulusi DEDE
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
Gülgün DEDE
Üye**



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Müşerref SAZAK

TEŞEKKÜR

Ülkenin geleceği olan biz mühendis adaylarına üniversitemizde verilen eğitim ve öğretimin ülkemizin ivedilikle ihtiyaç duyduğu çevrenin korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi, kaynakların etkin kullanılması ve en önemlisi gelecek nesillere temiz ve sağlıklı bir çevre bırakmak için duyulan ihtiyaçları karşılamak içindir. Bu tez çalışmasının amacı arıtma çamurunun en etkin kullanım yöntemi olan araziye uygulanması için arıtma çamurunu kompost halinde patojen giderimi sağlanmışır. Patojen giderimi içinde en temiz enerji yöntemi olan solarizasyon kullanılmışır.

Bu tez çalışması benim için sadece bilimsel bir çalışma olmayıp hayatıma yön vereceğim bir dönüm noktasıdır. On yıl aradan sonra üniversiteden mezun olmamda ve bu tez çalışmasında büyük katkıları olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR'e ilgi ve bilgisini esirgemeyen kıymetli Yrd. Doç. Dr.Ömer Hulusi DEDE'ye, Arş. Gör. Hasan ÖZER'e ve eğitim sürecim boyunca desteklerini hiç esirgemeyen başta annem Hatice TUNÇDAN, babam Ali TUNÇDAN olmak üzere kıymetli eşim Sedat SAZAK ile kızlarım Nisa ve Gökçe SAZAK'a teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2017-50-01-077) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY.....	viii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

2.1. Arıtma Çamurlarının Mikrobiyolojik Özellikleri.....	5
2.2. Patojen Giderimi.....	11
2.3. Kompostlama.....	13
2.4. Solarizasyon.....	19
2.5. Patojenlerin İnaktive Edilmesini Etkileyen Parametreler.....	23
2.6. Kompost Mikrobiyolojik Standartları.....	27

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE METOD.....	28
3.1. Materyal ve Metod.....	28
3.2. Örnekleme Süresi ve Prosedürü.....	30
3.3. İndikatör Mikroorganizmaları ve Mikrobiyal Prosedür.....	31
3.4. Mikrobiyal İnaktivasyon Modeli.....	31
3.5. İstatistiksel Prosedür.....	32

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Solarizasyon İşlemiyle Sıcaklık Artışı.....	34
4.2. E. Coli İnaktivasyonu.....	36
4.3. Termotolerant Koliform İnaktivasyonu.....	38
4.4. Enterokok İnaktivasyonu.....	39
4.5. Clostridium İnaktivasyonu.....	40
4.6. Organik Atıkların Dezenfeksiyonu İçin Solarizasyonun Sürdürülebilir Avantajları.....	42

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR.....	43
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	52

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.	Arıtma çamurunda bulunan bazı bakteriler, virüsler ve parazit patojenleri.....	6
Şekil 2.2.	Arıtma tesislerinde arıtma çamurunun ortaya çıkışı, stabilizasyonu ve bu çalışmada önerilen ileri patojen giderimi yöntemi; solarizasyon.....	12
Şekil 3.1.	Mikrobiyal dezenfeksiyon için çamur kompostuna yapılan güneş enerjisi uygulamalarının şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.2.	Solarizasyon döneminde ölçülen maksimum ve minimum günlük sıcaklıklar ile solar radyasyon.....	30
Şekil 4.1.	Deneysel periyotta 5 ve 30 cm derinlikteki solarize işlemlerinde kaydedilen compost sıcaklıkları.....	35
Şekil 4.2.	Arıtma çamuru kompostunda indikatör mikroorganizma <i>E. coli</i> 'nin solarizasyon uygulaması ve solarize edilmeyen kontrol uygulamasında zamana bağlı olarak inaktivasyonu.....	37
Şekil 4.3.	Arıtma çamuru kompostunda indikatör mikroorganizma Termotolerant koliform'un solarizasyon uygulaması ve solarize edilmeyen kontrol uygulamasında zamana bağlı olarak inaktivasyonu.....	38
Şekil 4.4.	Arıtma çamuru kompostunda indikatör mikroorganizma Enterococci'nin solarizasyon uygulaması ve solarize edilmeyen kontrol uygulamasında zamana bağlı olarak inaktivasyonu.....	39
Şekil 4.5.	Arıtma çamuru kompostunda indikatör mikroorganizma Clostridium'un solarizasyon uygulaması ve solarize edilmeyen kontrol uygulamasında zamana bağlı olarak inaktivasyonu.....	40

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. İndikatör bakteriler için, kinetik giderim modellerinin regresyon denklemleri tahmin eğrilerinin maksimum giderim (k_{max}), T_{90} ve RMSE değerleri.....	36
---	----

ÖZET

Anahtar kelimeler: Solarizasyon, kanalizasyon çamuru, inaktivasyon, E.coli, Termotolerant koliform, Enterococci, Clostridium

Kanalizasyon çamuru kompostunda belirlenen stabilizasyon standartlarını sağlamak için kullanılan solarizasyon işleminin patojen mikroorganizmaların giderimi üzerindeki performansı araştırıldı. Çamur kompostunda solarizasyon uygulaması ile patojen mikroorganizma giderimi verimliliğinin değerlendirilmesinde gösterge mikroorganizmalar olarak, Escherichia coli, termotolerant koliformlar, Clostridium ve Enterococci seçilmiştir. Kontrol işlemi oda sıcaklığında (25 ± 2 ° C) laboratuvar koşullarında gerçekleştirildi. Solarizasyon işlemi için gerekli olan ultraviyole radyasyonu doğrudan güneş tarafından sağlandı. Sonuçlar, solarizasyonun 5cm kompost derinliğinde, çamur kompost sıcaklığının maksimum 65 ° C'ye artırdığını göstermiştir. Solarizasyon işlemine maruz kalan indikatör mikroorganizmaların inaktivasyon oranları, tedavi olmayan indikatör mikroorganizmalara göre önemli ölçüde daha yüksek kaydedildi. İndikatör mikrobiyal ajanlar arasında E. coli en duyarlı mikroorganizma olarak bulundu. 6 günlük solarizasyon işleminden sonra 4 log CFU g⁻¹'den saptanamayan seviyelere düşürüldü. Bununla birlikte, bu bakteri içindeki solarize edilmemiş grubun indirgeme oranının, tüm deney periyodunun 15 günü içinde 1 log'dan daha düşük olduğu tespit edildi. Solarize edilmiş kompost için, Enterococci'nin canlılığı 6 gün içinde 2.31 log CFUg⁻¹ ile 1.80 log CFU g⁻¹ arasında değişmiştir ve 12 gün güneş uygulamasından sonra tespit sınırının (2×10^1 CFU) altına düşürülmüştür. Termotolerant koliformların ve Enterokokların azalma oranları yavaştı (sırasıyla $k_{max} = 3.22$ ve 3.27 gün⁻¹), ancak 12-15 gün içinde tespit sınırının altına düşürüldü. İnaktivasyon eğrileri, Clostridium'un diğer indikatör mikroorganizma türleriyle karşılaştırıldığında solarizasyon tarafından sağlanan ısıya daha fazla direnç gösterdiğini gösterdi. Solarize edilmiş Clostridium indirgemesi 3-log olarak belirlenirken, unsolarization işlemi 0.7-log indirgemesi sağlamıştır. Bu çalışmanın bulguları, solarizasyon işlemi tarafından oluşturulan sıcaklık profilinin, iki hafta içinde istenen standartları elde etmek için çeşitli mikrobiyal patojenlerin ortadan kaldırılması veya etkisiz hale getirilmesi için yeterli olduğunu açıkça desteklemiştir.

APPLICATION OF SOLARIZATION FOR SANITIZATION OF SEWAGE SLUDGE COMPOST

SUMMARY

Keywords: Clostridium, E. Coli, Enterococci, Thermotolerant coliform, Sewage sludge compost, Sanitization, Solarization.

Performance of the solarization process on inactivation of pathogenic bacteria was explored to provide the sanitization standards set for the sewage sludge compost. For evaluation of the microbiological quality of sludge compost and the sanitation efficiency of solar application, *Escherichia coli*, thermotolerant coliforms, Clostridium, and Enterococci were selected as the indicator microorganisms. Unsolarized (control) treatment was conducted at room temperature ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) in laboratory conditions. Solarization treatment was performed under heating conditions, where the sufficient ultraviolet radiation was directly provided by sun. The results indicated that solarization remarkably increased the temperature of sludge compost to maximum 65°C at 5 cm of compost depth. The inactivation rates of indicator microorganisms exposed to the solarization treatment were recorded significantly higher than the unsolarized treatment. Among the indicator microbial agents, E. Coli was found as the most susceptible microorganism and lowered from 4 log CFU g^{-1} to undetectable levels after 6 days of solarization process. However, the reduction rate of the unsolarized group of this bacteria was determined to be less than the 1 log within 15 days of the entire experimental period. For the solarized compost, the viability of Enterococci ranged from 2.31 log CFU g^{-1} to 1.80 log CFU g^{-1} within 6 days and reduced to below the detection limit (2×10^1 cells as CFU) after 12 days of solar application. The reduction rates of thermotolerant coliforms and Enterococci were slow ($k_{\text{max}} = 3.22$ and 3.27 day^{-1} , respectively), but they were reduced to below the detection limit within 12–15 days. The inactivation curves demonstrated that Clostridium showed more resistance to heat provided by solarization compared with other indicator microorganism species. The Clostridium reduction in solarized treatment was determined as 3-log, while the unsolarization treatment provided 0.7-log reduction. Findings of this study clearly corroborated that the temperature profile generated by the solarization process was adequate for elimination and/or inactivation of various microbial pathogens to achieve the desired standards within two weeks.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Atıksuların arıtılması işlemleri sonrasında oluşan, organik ve inorganik maddeler ile büyük oranda su içeren, kaynağına göre farklı özelliklerde kirleticilerin (ağır metaller, toksik bileşenler, patojenler, mikro kirleticiler gibi) bir arada bulunduğu, nihai bertaraf öncesi arıtılması gereken materyal olan arıtma çamuru ortaya çıkar. 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.

Arıtma çamuru atıksu arıtma tesislerinin belirli bir yan ürünüdür ve dünya çapındaki miktarları geçtiğimiz yıllarda önemli ölçüde artmıştır [1]. Arıtma çamurunun tarımsal temelli kullanımı genellikle en ideal yönetim seçeneği olarak görülse de, bileşimindeki çok çeşitli patojenik mikroorganizmalar çevre sağlığına ciddi bir tehdit oluşturmaktadır [2]. Kanalizasyon çamuru ayrıca fito-patojenik ve insan patojenik bakterileri de içeren çeşitli mikroorganizmaları teşvik eden sonsuz bir habitat sağlar [3]. Bu nedenle, bu patojenleri çevre ve bitkilerin çapraz kontaminasyonunu önlemek için ilk önce arıtma çamurundan imha edilmesi gerekmektedir.

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. Patojenlerin yaşamlarını etkileyen bazı faktörler pH, sıcaklık, diğer mikroorganizmalarla rekabet, güneş ışığı, konukçu organizma ile temas, nutrientler ve rutubet seviyesidir. Arıtma çamurunda patojen giderimi için birkaç seçenek bulunmaktadır, fakat bu seçeneklerin patojen giderim hızı tutarsız, yatırım ve işletme maliyetleri ile enerji tüketimleri çok yüksektir [4].

Birçok araştırmacı, kanalizasyon çamur kompostlaşmasının patojenik popülasyonu azaltan en uygun süreç olduğunu bildirmiştir [5]. Ancak tüm materyal etkili bir şekilde inaktive olmayabilir [6].

Enterik organizmaların azalma mekanizması çoğunlukla zaman-sıcaklık inaktivasyon deneyleri ile bilinmektedir. Özellikle çamur matriksinde, patojen giderimini etkileyen başlıca faktör termofilik aralığın üstündeki sıcaklık değerleridir [7]. Bir hafta veya daha uzun bir süre 50°C'den daha yüksek bir sıcaklık sağlayan uygun homejen koşullar oluşturmak zor olduğu belirtilmektedir [8]. Ek olarak, kompost içindeki hava tutarsız sıcaklık profili, çoğu durumda tüm patojenleri yok etmek için yeterli olmayabilir [9]. Yüksek seviyeli bir dezenfeksiyon elde etmek ve kompostun mikrobiyolojik standartlarını karşılamak amacıyla, sanitizasyon işleminde yüksek sıcaklıklı bir izoterm için yeterli bir sürenin muhafaza edilmesi çok önemlidir. Aksi takdirde, bu yüksek sıcaklıklar gibi hijyen ek seçenekler [10], kurutma [11] yada alkali koşullar altında ki [12] uygulamalar izin verilen seviyeleri sağlamak için gerekli olabilir. Bir literatür çalışmasında bakterilerin gelişim gösterdiği en üst sıcaklık değerinin yaklaşım olarak 44-48 °C arasında olduğu ve çamurun kompostlanması boyunca patojen bakterilerin ısı ile inaktivasyonu ile 55°C'de 15 veya daha fazla günün yeterli olduğu vurgulamışlardır [12]. Aynı şekilde kontrollü sıcaklıktaki su banyosu çalışmalarında 48.8, 54.4, 60 °C sıcaklıklarında, sırasıyla 36, 8, 0.5 saat sonra enterik patojen bakterilerin tamamen inaktivasyonunu sağladığını bildirmiştir [13].

Solarizasyon, toprakta sıcaklık artışı sağlayan ve toprak kaynaklı bitki patojenlerinin kontrolünde rutin olarak gerçekleştirilen bir işlemdir [14]. Yüksek dış ortam sıcaklığı ve yoğun güneş radyasyonu olduğu koşulları altında polietilen levhalarla kaplanan toprağın hidrotermal dezenfeksiyonu için uygulanan basit ve etkili bir teknolojidir. Solarizasyonun sürecinin temel ilkesi, radyant enerjiyi plastik örtü altında bulunan nemli toprakta tutmak ve bu sıcaklığı birkaç hafta koruyabilmektir. Artan toprak sıcaklığı ile, zararlı organizmaların azaltılmasını mümkünse yok edilmesini sağlamaktır.

Toprak solarizasyonu ile ilgili ilk çalışmaların çoğu, solarizasyon periyodu boyunca nem içeriğini 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 [15].

Solarizasyon, toprak sıcaklığını birçok hastalığa sebep olan mikroorganizmaları yok etmek için yeterli olan belirli seviyelere kadar arttırabilir. Gösterge mikroorganizmalarının güneş uygulaması ile giderilmesindeki yüksek verimlilik literatürde daha önce vurgulanmıştır. Örneğin yakın tarihli bir çalışmada, *E.coli* için 3.2 -log indirgeme ve 5saatlik solarizasyon periyodunda [15] *Enterococcus faecalis* için 1.6-log indirgeme elde etmiştir. Benzer şekilde, pilot ölçekli bir deneysel çalışmada [16] termotolerant fekal koliformlarda ve *Clostridium*'da belirgin bir azalmanın sağlanabileceğini ve *E.coli*'de tam inaktivasyona ulaşılabilceğini bildirmişlerdir. Kalan kompostta patojenlerin inaktivasyonu, zaman alıcı ve enerji harcayan bir süreçtir. Bu nedenle daha pratik ve ekonomik yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda, solar uygulama, fekal materyaldeki enterik mikroorganizmayı azaltabilen, kullanımı kolay ve uygun maliyetli bir dezenfeksiyon tekniğidir [15, 16] ve kompost tedavisiyle kombinasyonu çevre koruma için güvenli bir son ürüne izin verir.

Şimdiye kadar, çamur kaynaklı enterik mikroorganizmanın inaktivasyonu ile uğraşan çalışmaların sadece birkaçı [14, 15, 16], daha önce susuz kalmış çamur kullanılarak güneş ısını etkisiz hale getirmeyi ele alınıp kompost ve toprak çamuru için uygulanır. En yeni araştırmalar [16] kompostlama tuvaleti kullanarak kompost olarak enterik mikroorganizmanın hızlı inaktivasyonu üzerinde duruldu. Bununla birlikte, bir başka adım olarak, güneş uygulamasının, belediye çamuru kompost mikroorganizmasının inaktivasyonu üzerindeki iyileştirici etkisi geniş çapta araştırılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışma, kanalizasyon çamuru kompostunda duyarlı ve dirençli enterik bakterilerin inaktivasyonu üzerine solarizasyon etkisine odaklanarak bu alandaki boşluğu gidermeyi amaçlamaktadır.

Yukarıdaki gerçeklere dayanarak, bu çalışmanın özel hedefleri şu şekildedir:

1. Kompost yığınının solarizasyonunun sıcaklık artış potansiyelini araştırmak.
2. Birikmiş ısının sanitizasyon potansiyelini enterik mikroorganizmaya incelemek.
3. Duyarlı ve dirençli bakteri göstergelerinin inaktivasyon kinetiğini araştırmak.
4. Kanalizasyon çamuru kompostundan enterik mikroorganizmanın inaktivasyon oranı üzerinde önerilen tedavi yönteminin etkinliğini değerlendirmek.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

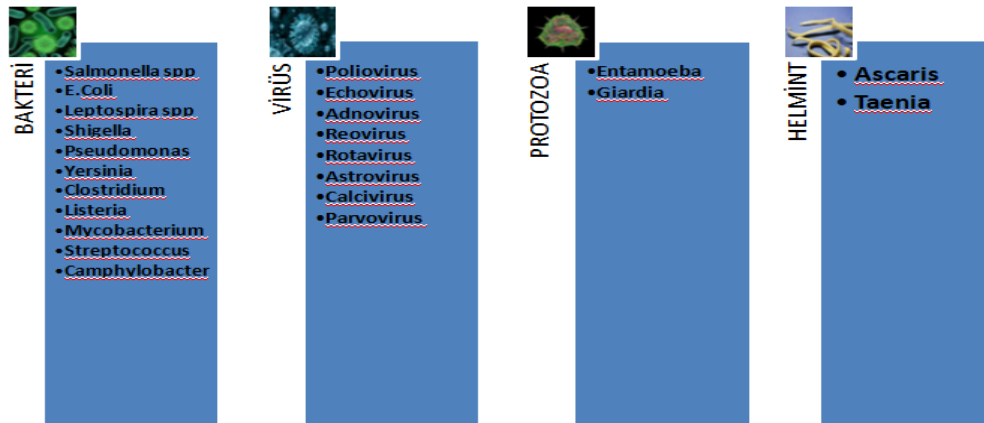
2.1. Arıtma Çamurlarının Mikrobiyolojik Özellikleri

Arıtılmamış ham atık sudaki fekal indikatör bakterilerin konsantrasyonları genel olarak toplam koliform için 8 log₁₀ CFU/100 mL, fekal koliform için 7.48 log₁₀ CFU/100 mL ve enterokok için 6.6 log₁₀ CFU/100 mL civarındadır [17]. Konvansiyonel atıksu arıtma işlemleri (birincil ve ikincil arıtma) mikroorganizmanın % 95-99' unu giderir. Bununla birlikte, halen geride kalan sayıları genellikle 4 log₁₀ CFU/100 mL'den daha yüksektir ve bu güvenli kullanım önünde önemli bir risk faktörüdür.

Atıksu arıtma çamurlarının yeterince işlem görmeden, kısmi olarak yapılan stabilizasyon işlemlerinden sonra direk arazide bertaraf edilmesi, çevre bileşenleri su, toprak ve besin zincirini insan kaynaklı patojenler ile kirletir [18]. Kanalizasyon kaynaklı atıklar uygun yönetilmediğinde, ishaller hastalıklar ve topraktan bulaşan enfeksiyonlar özellikle çocuklarda yaygın olarak görülür ve yaşam kalitesini düşürür. Diğer yandan, atık çamurda bulunan bitki besin elementleri ve organik madde, toprak ıslahı ve tarımsal üretimi arttırmada potansiyel olarak yararlı etkileri vardır [19]. Bu nedenlerle arıtma çamurları, pek çok ülkede toprak iyileştirici ve bitki gübresi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır [20]. Arıtma çamurlarının bertarafı, toprak ıslahı ve gübre değeri birlikte bir arada değerlendirildiğinde, enterik patojenlerin giderimi ile çamurların güvenli hale getirilmesi çamur kullanımını daha kabul edilebilir hale getirmesi bakımından önem taşımaktadır.

Arıtma çamuru ürünlerinde, insanlarda hastalık oluşturan dört temel patojen organizma; bakteri, virüs, protozoa ve helmintler her aşamada izlenmektedir (Şekil 2.1.). Atıksu arıtma çamurunda bulunan mikroorganizma miktar ve çeşidi ile bunların

dayanıklı formları olan kist, spor ve yumurtaları toplumun sağlık durumunun da bir göstergesidir. Hijyen kurallarına yeterince riayet edilmeyen toplumlarda patojen mikroorganizma insidansı fazla olmaktadır. Ayrıca çamurda bulunan patojen miktarı aynı zamanda atık su arıtımı sırasında ve çamur stabilizasyonu sırasında patojen azaltım oranına da bağlıdır.



Şekil 2.1. Arıtma çamurunda bulunan bazı bakteriler, virüsler ve parazit patojenleri

2.1.1. Bakteriye indikatörler

Atıksu ve arıtma çamurlarında bulunan mikroorganizma ve patojenik formların tespiti ve tanımlanması için kullanılan analitik teknikler, alet ve ekipman ciddi maliyet ile iyi eğitilmiş personeller gerektirir. Bu teknikler genellikle her zaman aynı sonucu vermeyen, zor, maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenlerle patojen organizmaların tamamının analizi yerine onların tahmininde genellikle fekal organizmalar indikatör olarak kullanılır ve biyokataların mikrobiyolojik açıdan risk taşıyıp taşımadığı hakkında karar verilir.

İndikatör bakteriler gastrointestinal sistemde yaşamaya adapte olmuş bakterilerdir, bununla birlikte septik sistem veya kanalizasyon toplama sistemi gibi diğer farklı habitatlarda barındırılabilir. İndikatör organizmalar, patojen davranışı modeli olarak kullanılırlar. Örneğin arıtma sisteminin etkinliğinin belirlenmesi, büyüme karakteristiklikleri (sıcaklık ve pH), tespit edilmesi ve nicelendirilmesi, tespitleri zor olan patojenlere benzediği için indikatör görevi görürler.

Şimdiye kadar pekçok bakteri fekal indikatöre uygunluk için çalışılmış ve çalışmalar ve öneriler devam etmektedir. En çok çalışılan bakteri olan *E. coli*'nin, tüm patojen bakterilerle (*K. pneumonia*, *P. aeruginosa*, *Shigella spp.*, *Salmonella spp.*), *E. faecalis* patojen bakterilerle %75 oranında, toplam koliform ve fekal koliformlar ise %50 oran ında korelasyon gösterdiği rapor edilmiştir [17].

Genel olarak, fekal indikatör organizmalarının seçim kriterleri aşağıdaki şekilde önerilmektedir;

1. Enterobacteriaceae familyasının bir üyesi olmalıdır.
2. Fekal indikatörlerin varlığı, patojenlerin varlığı ile ilişkili olmalıdır.
3. Miktarları patojenlerin rakamlarından büyük olmalıdır.
4. Dezenfeksiyon işlemlerine patojenler kadar dayanıklı olmalıdır.
5. Sayıları çevre koşullarında artmamalıdır.
6. Basit tekniklerle kolayca tespit edilmelidir.
7. Patojenik olmamalıdır.

2.1.2. Koliformlar

Toplam koliformlar Enterobacteriaceae familyasına ait gruplardır ve aerobik ve fakültatif anaerobik, çubuk şekilli, spor oluşturmeyen, 35 °C'de 48 saat içinde laktoz fermente edip gaz üretimi yapan, Gram-negatif bakterileri içerir. Bu özellikler bu grubun tanımlanması için uygundur ve ilave doğrulayıcı testlere gerek yoktur.

Toplam koliformlar *Escherichia sp.*, *Enterobacter sp.*, *Klebsiella sp.* ve *Citrobacter sp.* olmak üzere dört cinsten meydana gelir. Bu grubun bazı üyeleri, örneğin, *Klebsiella sp.* endüstriyel atıklarda çoğalabilir. Bu cinsler yaklaşık 100 yıldan beri dışkı kaynaklı kirlenmenin göstergesi olarak kullanılmaktadır. Toplam koliformlar, atık su arıtma tesislerinin arıtma verimliliği için en iyi göstergelerden biridir.

Fekal koliformlar, toplam koliform grubu altında sınıflandırılır ve orijin olarak daha fekal kaynaklıdır. *E. coli* ve 44.5 °C'de laktozu fermente edebilen diğer fekal (veya termotolerant) koliformları içerir. Herhangi bir ortamda bu organizmaların varlığı, sıcak kanlı hayvan fekal kirliliği ile daha doğru bir korelasyon gösterir. Bununla birlikte, bu grupta bile, kökeni fekal olmayan *Klebsiella* cinsi vardır. *Klebsiella sp.* yaygın olarak tekstil, kağıt hamuru ve kağıt fabrikası atıklarında bulunur. Genel olarak arıtma çamuru ve kompost yönetmeliklerinde fekal koliform, patojenik bakterilerin muhtemel varlığını göstermek için indikatör olarak kullanılır. Çünkü kolayca tespit edilirler ve yoğunlukları, arıtım işlemi sırasında patojenlerle aynı oranda düşer. Rekreatiyonel sular için, fekal koliformlar, EPA'nın *E. coli* ve enterokokları su temasıyla daha iyi sağlık riski indikatörü olarak önerdiği 1986 yılına kadar birincil bakteri göstergesi olarak kullanılmıştır.

2.1.3. Enterokoklar

Enterokok grubu bakterilerin, fekal kontaminasyonun ikincil indikatörü olarak kullanılabilmesi kabul edilmektedir. Pekçok araştırmacı enterokokların fekal koliformlar gibi dışkı kirliliğinin iyi bir göstergesi olduğunu ileri sürmekte ve araştırmalara konu olmaktadır. Enterococcus türleri (*E. faecium*, *E. faecalis*, *E. avium*, *E. gallinarum* ve *E. durans*), hem 10 °C hem de 45 °C'de, yüksek pH 9,6'da ve % 6,5 NaCl içeren bir ortamda büyüebilmektedir. Bu grubun, özellikle arıtma çamuru, deniz suyu ve biyokatılardaki virüslerin varlığını belirtmek için faydalı olduğu öne sürülmüştür, çünkü bu organizmaların fekal koliformlara kıyasla hayatta kalmaları daha uzun ve sayılarak tespit edilmesi nispeten daha kolaydır.

Fekal koliformlarla birlikte, Enterococci, FC/FS oranına dayanarak insan fekal kontaminasyonunu, diğer sıcakkanlı hayvanlarınkinden ayırmak için kullanılmıştır. Eğer oran 1,0'dan küçük ise, fekal kontaminasyon insan kaynaklı değil, kaynağının tümünün sıcakkanlı hayvanlardan olduğunu gösterir. Eğer oran 4,0 ise, bu fekal kontaminasyon kaynağının insan olduğu anlamına gelir. Orta oranlar hem insanlardan hem de hayvanlardan kaynaklanan kirliliği gösterir. Enterococci, mikrobik kirlenmenin tespiti için fekal koliformlardan daha güvenilir bir

göstergedir, çünkü fekal koliformlardan ziyade çevreye daha dayanıklıdır. Pastörize gıdalarda uygulanacak ısı işlemlerde sıklıkla referans mikroorganizma olarak kabul edilirler. Ancak, US EPA ve WHO, arıtılmış atıksuların ve atık su arıtma çamurlarının sulama veya yeraltı suyu şarjı için tekrar kullanılması durumunda, enterokok standart limitlerini düzenlememiştir.

Salmonella spp.

Salmonella spp. 1880' de Salmon tarafından keşfedilen, çubuk şeklinde, Gram negatif, spor yapmayan, fakültatif olarak anaerobik bakterilerdir. Bu grup, *Salmonella* cinsi ve *Enterobacteriaceae* familyasına ait çok yakın ilişkili bakteri grubundan oluşur. *Salmonella* spp. aktif olarak geniş bir sıcaklık aralığında (10-54 °C) büyüyebilir.

Salmonella spp. ekstrem çevresel koşullara kolayca adapte olabilen ve uygun olmayan çevre koşullarında hayatta kalma kabiliyetine sahip dirençli mikroorganizmalardır. Bu özelliklerinden dolayı biyokatı patojen azaltımının etkinliğini takip etmek için gösterge olarak belirlenmişlerdir. Ayrıca *Salmonella* spp. diğer bakteriyel patojenlerin azaltılmasının iyi göstergesi olduğu gibi, büyük endişe oluşturan bakterilerdir, çünkü tipik olarak diğer bakteriyel patojenlere göre daha yüksek yoğunluklarda bulunurlar ve çevrede uzun süre hayatta kalabilirler.

Salmonella spp. türleri halk sağlığı açısından en çok endişe duyulan yaygın bakteriyel patojenleridir ve atıksu ile atık çamurlarda sıkça rastlanır. *Salmonella* böceklerden memelilere kadar bütün organizmalarda hastalıklara neden olabilir. Enterik ateş, *S. typhi* ve *S. paratyphi*'nin neden olduğu enfeksiyonlara verilen toplu bir terimdir ve paratifoit ateşe neden olur. *S. typhi*, sadece insanı doğal konakçı olarak seçen bir patojendir.

Genellikle analiz edilen arıtma çamuru ve biyokatı numunesinin yaklaşık yarısı pozitif *Salmonella* spp değeri verebilmektedir. Arıtma sistemleri bu bakteri türünü etkin olarak giderebilmekte fakat, hem işlenmemiş hem de işlenmiş atık çamur

örneklerinde, işlemin orta aşamalarına kadar tespit edilebilmektedir. *S. stanley*, termofilik anaerobik sindirimden sonra izole edilen tek patojendir.

Clostridium perfringens

Clostridium perfringens, basil şeklinde, Gram pozitif, zorunlu bir anaerobik ve endospor oluşturan bakteridir. Sülfid indirgeyen Clostridia grubunun bir üyesidir. *C. perfringens*, birçok araştırmacı tarafından kanalizasyondan izole edilmiştir, çünkü fekal mikrofloranın % 0,5'ini temsil eder. Bu bakteri aynı zamanda, su arıtma tesislerinde Giardia kistlerinin varlığının ve rekreasyonel suların kalitesini değerlendirmenin bir indikatör olarak önerilmektedir. *C. perfringens*'in yanı sıra fekal koliform ve fekal streptokok grubunun, aerosol kaynaklı patojenlerin varlığını tespit etmek ve bunların atık su ve biyokatı kaynaklarının belirlenmesinde kullanılabileceği ileri sürülmektedir. *C. perfringens* ham çamurda yaygın olarak bulunduğu ve sıcaklığa dirençli oldukları için, bunların gideriminin *Bacillus sp.* gibi spor oluşturan bakterilerin gideriminin indikatörü olarak kabul edilmektedir. *C. perfringens*'in oksitleyici faktörlere ve UV dezenfeksiyonuna dirençli olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle açık havada güneşte kurutularak yapılan çamur işlemlerinde indikatör olabileceği öngörülmektedir. Diğer yandan bu bakterinin güçlü koruyucu ile kaplı sporlarının bir indikatör organizma olarak fazla dirençli hale getirdiği öne sürülmektedir. Ekstrem çevre koşullarına dayanıklı olması, kalıcılığının uzun sürmesi nedeniyle geçmiş kirlenmenin bir göstergesi ve patojenlerin akıbetini takip etmek için iyi bir indikatör olduğu nedeniyle pek çok çalışmada izelenen bir bakteri grubudur.

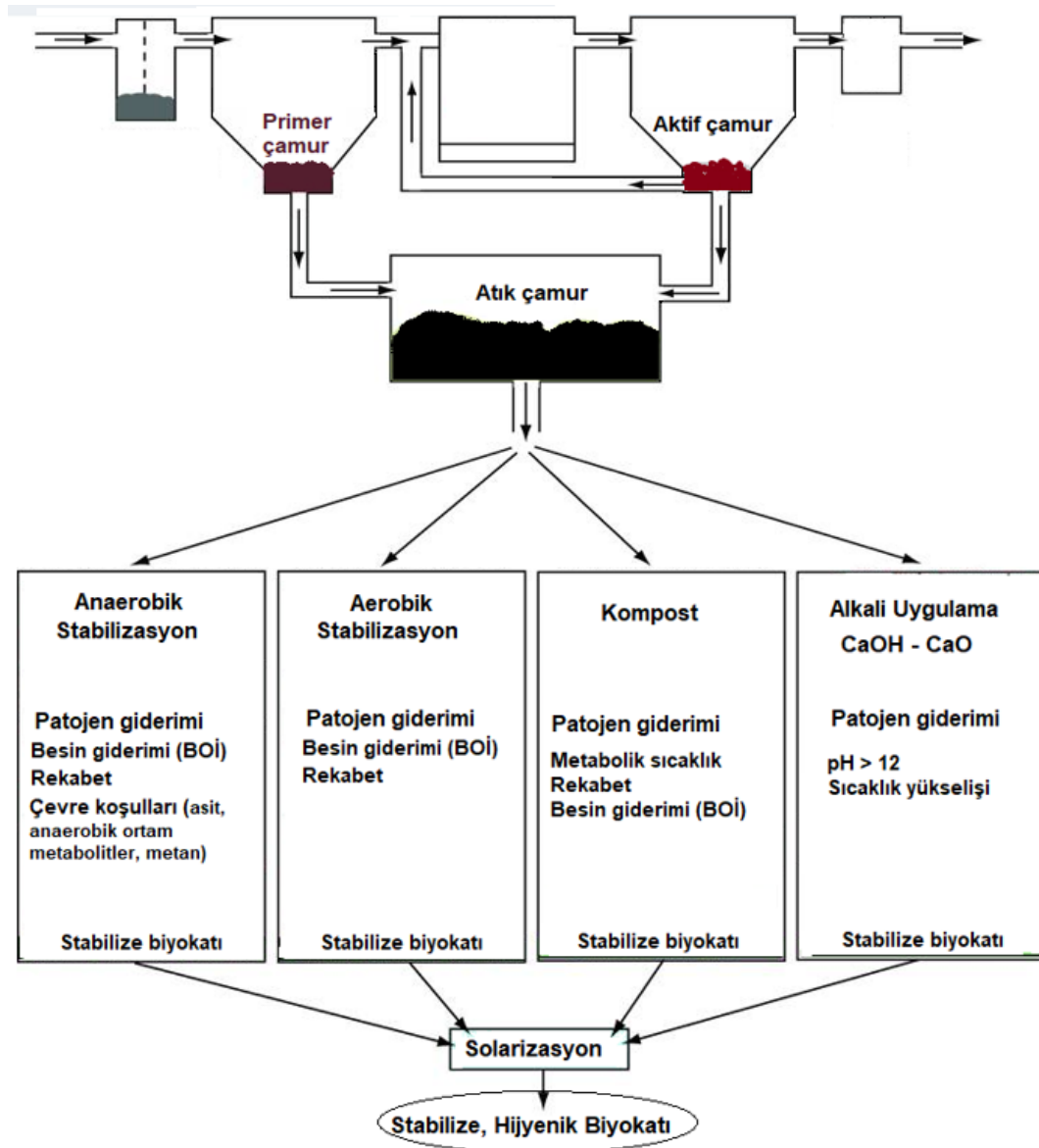
Escherichia coli O157:H7

Escherichia coli, Enterobacteriaceae familyasına ait, çubuk şeklinde Gram negatif bir bakteridir. Fakültatif, oksidaz negatif anaeroblardır ve glikozdan gaz üretirler. *E. coli*, insan ve sıcakkanlı hayvanlar için fizyolojik gastrointestinal flora bakterileri türlerinin bir üyesidir. Ek olarak, normal bağırsak florasına aittir ve insan için fakültatif bir patojen olarak bilinir. Bununla birlikte, bazı *E. coli* serotipleri patojeniktir, bunlar arasında kanlı ishal, kramp ve karın ağrısı ve bulaşıcı "hemolitik üremik sendrom" gibi gastrointestinal rahatsızlıklara neden olan enterohaemorajik

suşu *E. coli* O157: H7 vardır. *E. coli* O157: H7 ilk olarak 1982'de gastrointestinal bir patojen olarak rapor edilmiştir, bir konukçu olmadan uzun süre hayatta kalabilirler. *E. coli*'nin yüzey suyundan, arıtılmış atık sularından ve biyokatılardan izolasyonu pek çok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Arıtma çamuru ve arıtma çamurundan yapılmış kom postların tarımsal olarak kullanılacağı durumda standart olarak yönetmeliklerde sınır değerleri verilmiştir.

2.2. Patojen Giderimi

Atık su arıtma tesisleri genellikle biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) olan bileşikleri ve besin maddelerini etkin bir şekilde gidermek için tasarlanırlar, patojen giderimi için tasarım çok nadirdir. Geleneksel atık su arıtımı enterik mikropların sayısını azaltır, ancak arıtma aşamalarındaki azalmalar çok farklı oranlarda olabilir ve atık su arıtımı son ürünleri deşarj suyu ve arıtma çamuru hala yüksek sayıda fekal mikroorganizma içerebilir. Atıksu arıtma sisteminin her aşamasında patojen mikroorganizma giderimi gerçekleşmektedir. Ancak, arıtma tesislerinde patojenik ve indikatör mikroorganizmaların giderim etkinliği, arıtma işlemi tipine, alıkonma süresine, aktif çamurda bulunan diğer mikrobiyolojik canlılara, O₂ konsantrasyonuna, pH, sıcak ve askıda katı maddelerin giderimindeki verime göre değişir. Örneğin, optimal olarak çalışan bir biyolojik-kimyasal arıtma işlemi, % 90-99 oranında mikrobiyal azaltım sağlayabilir, ancak çoğu durumlarda azalma daha azdır [21]. Diğer yandan, ham arıtma çamurunda patojenik olsun veya olmasın dışkı mikroorganizmalarının yoğunluğu, ham atıksudan önemli miktarda daha yüksektir. Yani mikroorganizmalar arıtma çamurunda konsantre olmaktadır. Patojenik mikroorganizmaların atık sularında veya atık su arıtma tesislerinde çoğaldığı bile gösterilmiştir. Bu nedenle arıtma çamurunda kalan patojen mikroorganizmalar, arıtma tesisinde ortaya çıkan çamurun sonraki stabilizasyon işlemlerinde giderilmeye çalışılır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Arıtma tesislerinde arıtma çamurunun ortaya çıkışı, stabilizasyonu ve bu çalışmada önerilen ileri patojen giderimi yöntemi; solarizasyon.

Komposttaki patojen içeriği önemlidir, uygun şekilde muamele edilmeyen kompost, çevreye karşı bir patojen kaynağı, insanlar ve hayvanlar için bir tehdit olabilir. Eğer arıtma çamuru, güvenilir biçimde arazide toprak ıslahı ve gübre amaçlı kullanılacaksa içerdiği patojenlerin giderilmesi gerekir. Çamur içindeki patojen mikroorganizmaların da giderildiği stabilizasyon işlemlerinden sıklıkla kullanılanlar (Şekil 2.2.)' de verilmiştir. Aerobik veya anaerobik çürütme, sönmüş veya sönmemiş kireç kullanılarak yapılan alkali stabilizasyon veya kompostlama farklı oranlarda

patojen giderimi sağlamaktadır. Çamurun tarımsal amaçlı kullanımı söz konusu olduğunda kompost yapımı en çok tercih edilen yöntem olmaktadır.

2.3. Kompostlama

Arıtma çamurlarının kompost yapımında, mekanik olarak susuzlaştırılmış çamur, içine karbon kaynağı olarak tahta talaşları, kuru kompost veya kentsel organik katı atık gibi bir hacim kazandırıcı maddeyle çürütme işleminden geçirilir. Kompost yığınındaki yerli mikroorganizmalar, çamurda mevcut olan kullanılabilir substratları oksitleyerek, özellikle yığının merkezinde sıcaklık artışına (>60 °C) yol açarlar. Organik maddenin hızlı ayrıştığı döneme denk gelen sıcaklık yükselişinin patojen inaktivasyonu için 4-5 gün devam etmesi arzu edilir. Kompost yığınının termofilik derecelerdeki sıcaklığı, hızlı ayrıştırılabilir besin kaynaklarının tükenişi ve organik çamur içeriğinin CO₂ ve H₂O'ya mineralize edilmesi veya hümik benzeri maddelere dönüştürülmesi ile normal ortam sıcaklıklarına düşer. Farklı kompostlama yöntemleri vardır ve elde edilen giderim sonuçları, arıtma çamurundaki patojen bakterileri giderim etkinliği farklı olabilir. Bununla birlikte, patojen inaktivasyonunu kontrol eden ana faktörler sıcaklık ve temas süresi olan zamandır. Kompost yığınında tam inaktivasyon için hem yığının orta kısmında hem de kenarda kalan malzemenin homojen olarak yüksek sıcaklıklara ulaşmasının sağlanması gerekir. İlave olarak, mikrobiyal inaktivasyon diğer parametreler amonyak, organik bileşenler, çözülmüş katılar ve hidroksit anyonları gibi maddelerden de etkilenir. Kompost içerisindeki patojenik bakteri sayısının azaltılması, antagonizm biyolojik kontrol mekanizmaları veya yığın içinde bulunan bakteriyel türler arasındaki rekabete bağlı da olabilir. Diğer türlerle rekabetin olmadığı koşullarda, örneğin steril edilmiş kompostta bakteri aşılındığında kompostlama süresince sayılarda artma görülebilmektedir. Bunun nedeni olarak da kompost içindeki mikroorganizmalar arasındaki rekabet ön sürülmektedir. Ek olarak, bir dizi laktik asit bakterisi, arıtma çamurunda bulunan bazı insan patojenik bakterisini inhibe etmektedir. Bu durum antibakteriyel metabolitler gibi mikrobiyolojik maddelerle kompostlama potansiyelini ön plana çıkarmakta ve çalışmalar devam etmektedir.

Wichuk ve ark. [22], derleme çalışmalarında patojenik organizmaların her türlü kompost hammaddesinde bulunabileceğini bildirmekte, bu organizmaların infeksiyöz dozunun çok düşük olduğundan, sayılarının kompost içinde saptanamayan seviyelere düşürülmesi gerektiği üzerinde durmuşlardır. Arıtma çamuru kompostu yönetmeliklerine göre, kompost içeriğinde yer alan bütün malzemelerin en az 3 gün boyunca 55 °C' den daha yüksek sıcaklıklarda kalması istenmekte ve ancak bu durumda patojen etkisizleşmesinin gerçekleşmesi beklenmektedir. Yapılan literatür taraması çalışmasında bu koşullarda bile patojenik bakteri, protozoa ve helmintlerin hayatta kalması, öngörülen zaman-sıcaklık koşullarının görünüşte karşılanmasına rağmen, önemli sayıda çalışmada ortaya çıkmıştır. Bunun yetersiz zaman-sıcaklık gereksinimlerinin, ya da zaman-sıcaklık kriterlerinin tüm kompost parçacıkları tarafından karşılanmasının sağlanmasındaki zorlukların sonucu olabileceği varsayılmıştır.

Gea ve ark. [23], atıksu arıtma tesislerinde üretilen iki tip çamurun, ham çamur ve anaerobik olarak sindirilen çamurun kompostlanmasını inceledikleri çalışmalarında, karbonlu hacim artırıcı maddenin boyutu ile karıştırma oranının sıcaklık yükselişi ile Salmonella giderim kinetiğinde optimal koşulları araştırmışlardır. Her iki çamur türü için, deneysel verilere göre 5 mm parçacık boyutu ve 1:1 hacimsel oranında çamur:karşım maddesi en uygun değerler olarak bulunmuştur. Çalışmada en yüksek 62 °C kompost sıcaklığına ulaşılmış, bu koşullardaki sıcaklık x zaman kinetiği arıtma çamurundaki patojenin tamamen dezenfekte edildiğini göstermiştir. Çalışmada kompost materyalinin dezenfeksiyon performansını simüle eden matematiksel bir model önerilmiştir.

Ceustermans ve ark. [24], kompostlama işlemlerinin hijyen güvenliğini belirlemek için indikatör organizma *Salmonella enterica* ssp. *enterica* serotipi Senftenberg suşu W 775 bakterisini bir et taşıyıcısı üzerinde yapay olarak aşılama ve farklı kompostlama türleri (kapalı sistem, açık hava ve konteyner) giderimini izlemişlerdir. Çalışmada kullanılan atık hammaddeleri ya biyolojik atıklar (evsel atıklar, yani, sebze, meyve ve bahçe atıkları) ya da saf bahçe atıklarıdır. Araştırmacılar bakteri giderimi için en önemli parametrenin sıcaklık olduğunu vurgulamışlar ve kompost

yığın sıcaklığı 60 °C olduğunda ve nem içeriği % 60-65 arasında değiştiğinde, bakterinin 10⁸ CFU/g konsantrasyonu 10 saatlik bir kompostlamada tamamen etkisiz hale gelmiştir. Nem içeriği, sıcaklığın yanı sıra bakterinin hayatta kalmasını etkileyen ikinci parametre olmuştur. Kompost materyallerin veya et taşıyıcılarının su içeriği azaldığında, bakterinin hayatta kalma oranının yükseldiği gözlenmiştir. Nem oranı %5 aaldığında bakterinin hayatta kalma oranı 0,5 log10 artmıştır. İlave olarak bakteri giderimi veya hayatta kalma oranını diğer parametrelerin; mikrobiyal antagonizm, toksik bileşikler vb. gibi faktörlerinde etkilediği üzerinde durulmuştur.

Elving ve ark. [25], termofilik sıcaklık aralıklarının 46.0 °C ila 55.0 °C biyolojik atıklara uygulanmasının sterilizasyona etkisini araştırdıkları çalışmalarında; sığırdışkılarını *Salmonella Senftenberg* W775, *Enterococcus faecalis*, bakteriyofaj 17X174 ve domuz parvovirüs (PPV) ile aşılamış, ardından bakteriyel ve viral giderimi zaman-sıcaklık rejimlerinde incelemişlerdir. Kontrol uygulaması olarak 70 °C' de pastörizasyon, bakteriyel ve viral indirgemeyi karşılaştırma olarak kullanılmıştır. Denenen sıcaklık aralıklarında PPV hariç tüm organizmaların hızlı bir şekilde azaldığı gözlenmiştir. Bakteriyel azalma oranını gösteren, D-değerleri *Salmonella Senftenberg* W775 için 55 °C'de 0.37 saat ila 46.0 °C'de 22,5 saat ve *Enterococcus faecalis* için 55.0 °C 'de 0,45 saat, 47.5 °C'de 14,5 saat olarak gerçekleşmiştir. Azaltma süreleri enterik virüsler için 55 °C'de 1,5 saat ila 46 °C'de 16,5 saat arasında değişim göstermiştir. Çalışma sonunda indikatör organizmalarının tam giderimine ulaşmak için 70 °C'den daha düşük sıcaklık derecelerinin zaman parametresi dikkate alınarak kullanılabilceği ifade edilmiştir.

Piceno ve ark. [26], Haiti'de arıtma çamurları da içeren insan kaynaklı atıklardan kompost yapımı tesislerinde kompost materyalinin çeşitli aşamalarda mikrobiyal topluluk analizini DNA mikro-dizisi (PhyloChip) yöntemini kullanılarak izlemişlerdir. Yapılan tespitlere göre termofilik kompostlama, başlangıç malzemesinin bakteriyel topluluk yapısını değiştirmiştir. İncelenen türlerde elde edilen sonuçlar; *Prevotella* ve *Erysipelotrichaceae* (başlangıç mevcudiyetine göre % 100 azalma), *Ruminococcaceae* (% 98-99 azalma), *Lachnospiraceae* (% 98-99 azalma), *Escherichia* ve *Shigella* (% 100 azalma). Kimi dayanıklı patojenler, spor

oluşturarak hayatta kalabilen veya tespit edilememekle birlikte koşullar uygun hale geldiğinde tekrar çoğalabilen *Clostridium tetani* dışında kalan patajenler, son üründe tespit edilebilir seviyesinin altına düşürülmüştür. Tersine, tipik olarak kompost içinde bulunan termo-toleranslı Actinomycetes ve Firmicutes (örn. *Thermobifida*, *Bacillus*, *Geobacillus*), termofilik aşamada sayıca büyük ölçüde artmıştır. Çalışmanın sonunda insan kaynaklı patojenik mikroorganizmaları tam gidermek için kompost materyalinin tamamının termofilik aşamaya maruz kalması ve kompostlama prosesinin buna göre hazırlanmasının önemi vurgulanmıştır.

Ivanov ve ark. [27], kentsel atıksu arıtma çamuru ve bitkisel gıda atıkları karışımının, biyobozunmasının mikrobiyolojisini inceledikleri kontrollü havalandırma, karıştırma, pH ve sıcaklık (60 °C) koşulları altında bir reaktör içinde kompostlama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Akış sitometrisi yöntemi ile belirlenen toplam canlı bakteriyel hücre sayısı kompostlamanın ilk 6 gününde 5×10^8 g/kuru madde'den 61×10^8 g/kuru maddeye yükselmiş ardından kompostlama süresi boyunca azalmıştır. Organik maddenin biyobozunurluğu kompostlamanın 10 günü boyunca günde 3,8' den 1,3 mg CO₂ g/kuru maddeye düşmüştür. Arıtma çamuru ve yiyecek atıklarının 60 °C'de kompostlanması, bağırsak enfeksiyonlarının ajanı olan enterobakterileri kompostdan tam olarak giderememiştir. Denedikleri yöntemle tespit ettikleri canlı Enterobacteriaceae hücrelerin yüzdesi % 1 ila 14 arasında değişmiştir.

Chukwudi ve ark. [28], kompostlama ile ilişkili termofilik koşullar, atıkta bulunan patojenik organizmaları tahrip ederek kompostun tamamen hijyenize edilmesini sağladığını kanıtlayan çalışma yapmışlardır. Onlara göre kompostlama sürecinin başlangıcında, mezofiller baskın organizmalardır, buda kompost içinde kolayca çözünebilen bileşiklerin ayrışmasını sağlayan orta sıcaklık aşamasıdır. Bu organizmaların metabolik aktiviteleri ve büyümeleri, ısı evrimine ve hızlı bir sıcaklık artışına yol açar. Sıcaklıktaki bu artış, mezofillerin termofilik mikroorganizmalar tarafından başarılmasına neden olur bu da yüksek sıcaklığın, termofillerin polisakkaritleri, proteinleri ve yağları ayrıştırabilmesini mümkün kıldığı, kompostlama işleminin yüksek sıcaklık fazına neden olur. Kompost yığnında artan

sıcaklığın, yabani ot tohumları ile toprak kaynaklı patojenlerin ölümüne yol açarak hijyenizasyon sağlamanın önemi vurgulanmıştır.

Odey ve ark. [29], çevre ve insan sağlığına olan zararlarından dolayı fekal çamurların sanitasyonunun önemi vurgulanarak, zararlı mikroorganizmaların gideriminde yeni bir teknik olan laktik asit ile giderim kinetiği çalışmışlardır. Laktik asit bakterileri fermente pirinç unu ve esmer şeker kullanılarak laboratuvar ortamında çoğaltılmış, indikatör organizmalar olarak seçilen dışkı koliformları üzerine farklı dozlarda eklenerek fekal koliformların gideirm-hayatta kalma durumları incelenmiştir. Laktik asit süspansiyonunun eklenmesinden sonra, devam eden laktik asit fermentasyonu sırasında pH azalmış, buna bağlı olarak 1:1 ve 2:1 ağırlık/hacim fekal koliform ve laktik asit süspansiyonu içeren reaktörlerde fekal koliformların, muamele işleminin yedinci gününde kontrol reaktörününkiyle karşılaştırıldığında ilk konsantrasyonun yarısına düştüğü gözlenmiştir. Fekal koliformların tespit limitinin ($<3 \log_{10}$ CFU/100 mL) altındaki toplam eliminasyonu 15-17 gün sonra her iki reaktörde gözlenirken, dışkı koliform sayısı $\log 2.3'$ te kalmıştır. Kontrol reaktöründe 108 CFU/100 mL. Fekal koliformlar, inkübasyon süresi boyunca laktik asit bakterilerinin (LAB) neden olduğu asitleşmeden dolayı elimine edildi. Kontrol reaktöründeki son pH 7,91 olarak ölçülürken, laktik asit uygulama reaktörleri 1:1 ve 2:1'deki son pH 3,7 ve 3,9 olmuştur. Bu sonuçlar ile bakteriyel patojenlerin, düşük maliyetli bir teknik ve basit bir laktik asit fermentasyon süreci ile tamamen ortadan kaldırılabileceği ifade edilmiştir.

Kompostlama, atık lağım çamurunun arıtılması ve kaynak kullanımı için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Junya Zhang ve ark. [30]' a göre doğal zeolit ve nitrifikasyon önleyiciler, çamur kompostlama sırasında azotun korunması için kullanılabilirken, antibiyotik direnç genlerin (ARG) kontrolü üzerindeki etkileri hala belirsizliğidir. Bu nedenle yaptıkları çalışmada üç adet laboratuvar ölçekli kompost reaktörü, A (kontrol), B (doğal zeolit ilavesi) ve C (3,4-dimetilpirazol fosfat, DMPP'nin nitrifikasyon inhibitörü ilavesi) kurmuşlardır. Doğal zeolit ve nitrifikasyon inhibitörü ilavesinin (DMPP'nin) antibiyotik direnç genlerin (ARG) seviyeleri üzerindeki etkileri, ağır metallerin, mobil genetik elementlerin (MGE'ler)

ve bakteri topluluğunun antibiyotik direnç genlerin (ARG'lerin) evriminde oynadığı roller üzerinde araştırma yapılmıştır. Sonuçlar, toplam antibiyotik direnç genleri (ARG) kopyalarının sırasıyla A ve C reaktörlerinde 2.04 ve 1.95 kez zenginleştirildiğini, ancak konjügasyonun azalması ve doğal zeolitin neden olduğu ağır metallerin birlikte seçilmesinden dolayı reaktör B' de % 1,5 oranında azaldığını gösterdi. Her ne kadar bazı antibiyotik direnç genleri (ARG) (blaCTX-M, blaTEM, ermB, ereA ve tetW) 0.3-2 log ile düşürülmüş olsa da, diğerleri (ermF, sulI, sulII, tetG, tetX, mefA ve aac (6') - Ib-cr) artmıştır. Çamur kompostlama işleminden sonra 0,3-1,3 günlük kaydı sonucu antibiyotik direnç genlerinin (ARG) profillerinde farklı aşamalarda katılımcılar oldukça farklı olmasına rağmen, Mantel testi ve Procrustes analizi sonuçları, bakteriyel topluluğunun mobil genetik elementlere (MGE) ve ağır metallere kıyasla antibiyotik direnç genlerindeki (ARG) değişikliklere ana katkı olduğunu göstermiştir. Ağ analizi, çeşitli antibiyotik direnç genler (ARG'ler) için potansiyel konakçı bakteriler belirlenmiş ve buda sonuçları daha da doğrulamıştır.

I.Marina ve ark. [31], biyolojik kentsel su arıtma tesisleri üzerinde yaptıkları çalışmada; atık su arıtımı için mikroorganizmaları kullanmışlardır ve böylece atık su arıtımı işlemlerinde mikrobiyolojik karakterizasyonunun çok önemli olduğu üzerinde durmuşlardır. Bunun yanında atık suların ve çıkış çamurlarının tekrar kullanımları için ayrılması önemini vurgulamışlardır. Atık su üzerinde yaptıkları çalışmada, atık su arıtma tesisi prosesleri boyunca bakteri ve parazitlerin varlığını, arıtılmış su ve çamuru tarımda kullanma olasılığını karakterize etmeyi amaçlamaktadırlar. Sonuçlar, ham sularda yüksek düzeyde *Escherichia coli* varlığını gösterir. Toplam olarak uzaklaştırılmamasına rağmen, su ve çamur muamele hatları boyunca E. coli konsantrasyonunda 2.34 ve 1.36 log azalması, damlatma filtreleri (TF) ve ototermal termofilik aerobik sindirimde (ATAD) olmuştur. Bakterilere karşı en etkili süreçler; Grampozitif basil ve fekal kontaminasyon göstergesi olan *Clostridium perfringens*, *E.coli*'den daha az yaygın olmasına rağmen, anoksik koşullarda depolanan katı maddelerin yıkama suyunda ve çözünmüş oksijenin bulunmadığı yerlerde de içeren çamur işleme hattında tespit edilir. Bitki numunelerin hiçbirinde *Salmonella spp*, *Entamoeba* ve *Cryptosporidium* tespit edilememiş, bu arada *Giardia duodenalis* yalnızca yıkama iri katı ve çamurdan iki örnekte tanımlanmış, ancak çıkış suyu ve

çamurda tanımlanmamıştır. *Acanthamoeba*, izole edilen en sık protozoa olduğu tesbit edilmiştir.

Mc Carthy ve ark. [32], her biri dört işlemde oluşan 56 günlük süren iki denemede şişirme ajanları olan ve olmayan domuz gübre katılarının kompostlanması sırasında patojen sağkalımını araştırmışlardır. Talaş ve saman şişirme ajanlarında *Salmonella* saptanmış ancak 0. günde yapılan bir tedavi hariç kompostta saptanamamıştır. Enterik indikatör organizmalar 7. günde azaldı ($P < 0.001$) ve koliform hariç nihai kompostta saptanamayan $3.66-4.43 \log_{10}$ CFU/g' da mevcut idi. Mayalar ve küfler azaltılmış ve aerobik spor biçimleyiciler bir denemede sabit kalmıştır ancak her ikisi de artmıştır ($P < 0.001$). *Bacillus licheniformis* ve *Clostridium sporogenes*, baskın olarak üretilen spor oluşturu bakterilerdi. Mikrobiyal sayımlar yığılama ajanı tarafından ancak sadece belirli zaman noktalarında etkilenmiştir ($P < 0.05$). Genel olarak, domuz gübresinden türetilen kompost, *E. coli* ve *Enterococcus*'un limitlerin altında olduğu ve *Salmonella* içermemesi nedeniyle, işlenmiş gübre ürünleri için AB düzenlemelerine uymuştur.

Bütün bu bilgiler patojenden arı kompost üretiminde en güvenilir yöntem olarak görülmesine rağmen kompostlamanın tek başına patojen bakımından güvenli son ürün üretiminde kompostlamanın yetersiz kalabileceğini göstermekte, ilave patojen giderim yöntemlerinin kullanım gereksinimine ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır. Patojen gideriminde kullanılacak kullanımı kolay, maliyeti düşük ekolojik yöntemlerden birisi güneş enerjisinden faydalanılarak uygulanan solarizasyon yöntemi olabilir. Solarizasyon özellikle bitki patojenlerine karşı seralarda kullanılan yaygın bir yöntemdir. Enterik patojenlere karşı uygulanan çalışmalara da rastlanmaktadır.

2.4. Solarizasyon

Biyolojik atıkların ısıya maruz bırakılarak içerdikleri patojenlerin giderimi en sık başvurulan yöntemdir. Örneğin, kontamine atıkların pastörizasyon sıcaklığı olan

70°C' de 1 saat boyunca bekletilmesi pekçok patojenin giderilmesi için kullanılan etkili bir yöntemdir. Örneğin, Salmonella, 70 °C' ye ısıtılan çamurda 30 dakika içinde tamamen giderilebilmektedir. Sıcaklık uygulaması, atık işleme prosesinin her hangi bir aşamasında, arıtma çamurlarında stabilizasyon işleminden önce veya sonra (anaerobik çürütme, kompostlama veya kireçlendirme) yapılabilir. Bununla birlikte, patojenlerin dayanıklı formlarının (ör. bakteriyel endosporlar) tam gideriminden emin olmak için çamurun saha uygulamasından önce uygulanması daha güvenilir sonuç verir. Gün ve hafta mertebesinde devam eden solarizasyon uygulamasında ortaya çıkan sıcaklık dalgalanmaları endosporların çimlenmesi ve ardından yüksek sıcaklık derecelerine maruz bırakılarak ısıya dayanıklı bakterilerin öldürmesi ve yeni endosporların oluşumunu önlemek için yeterli ortamı oluşturması bakımından önemlidir.

Genel olarak, termofilik sıcaklıkların üzerine çıkan (> 55° C) sıcaklık derecelerinde patojen mikroorganizmalar etkili bir şekilde giderilebilmektedir. Giderim etkinliğinde konsantrasyon ve temas süresi genel belirleyici faktördür. Bununla birlikte sanitasyon etkinliği ne olursa olsun, atık çamur gibi kontamine biyolojik ürünlerle çalışırken, kullanırken temel mikrobiyal prensiplerin farkında olmak ve güvenlik tedbirlerini almak önemlidir.

Solarizasyon, güneş enerjisinin ışık geçiren plastik bir örtünün içine geçişi ve ısı birikimi ile sıcaklık yükselmesinden faydalanılarak uygulanan bir çeşit termal inaktivasyon yöntemidir. Özellikle toprak kaynaklı bitki patojenlerinin giderimi için, seraların boş olduğu yaz döneminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Güneş enerjisinden faydalanılarak uygulanan solarizasyon işleminde amaç; toprakta bulunan hastalık etmenlerini, yabancı ot tohumlarını, nematodları ve bazı zararlı böcekleri yüksek ısıyla etkisiz hale getirmektir. Bu amaçla rutubetlenmiş toprağın tarla yüzeyi hava geçirmeyecek şekilde şeffaf bir naylon örtü ile örtülür. Şeffaf örtü altında sera etkisiyle sıcaklık termofilik sıcaklık dereceleri olan 50-55 °C' lere ulaşır ve birkaç hafta devam eden tekrarlanan döngüler pek çok patojeni etkisiz hale getirir. Buna karşılık toprakta bulunan faydalı mikroorganizmaların çoğunlukla yüksek ısıya daha tolerant olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda solarizasyon,

sterilizasyondan farklı olarak zararlı etmenlerin topraktaki yoğunluklarını belirli ölçüde azaltan bir dezenfeksiyon yöntemidir.

Barbour ve ark. [33], toprak solarizasyonunun, tavuk gübresi kaynaklı indikatör fekal mikroorganizma giderimine etkisini sera çalışmasında incelemişlerdir. Çalışmada, dört farklı seranın 40 cm derinliğinde sürülmüş toprak katmanına 1,5 kg/m² tavuk gübresi uygulanmış, diğer dört seranın toprakları ise gübre uygulanmamış kontrol olarak denenmiştir. Sekiz seranın toprağına aynı anda eşit miktarda su tutma kapasitelerinin % 92,9'una kadar sulama uygulanmıştır. Tavuk gübresiyle muamele edilmiş toprakların yüzeyi 50 µm kalınlığında bir polietilen film ile kapatılarak solarizasyon uygulanmış ve altı haftalık bir süre boyunca takip edilmiştir. Naylon ile kapatılmış toprakların sıcaklığı 20 cm'lik toprak derinliğinde günde 15 saat 40 °C'ye ulaşmış, solarizasyon uygulanmamış toprakta sıcaklık 28,3 °C olarak ölçülmüştür. Solarizasyon, 20 cm derinlikte toplanan tavuk gübresiyle muamele edilmiş toprağın gramı başına farklı mikroorganizma türlerinde, solarizasyondan önce aynı topraktaki sayı ile karşılaştırıldığında azalmaya neden olmuştur. Artan sırayla mikroorganizma sayılardaki yüzde azalma: *Staphylococcus aureus* (26,3), toplam bakteri (45,5), mantarlar (71,3), *Clostridium perfringes* (81,8), fekal koliform (92,6) ve laktoz fermente etmeyen bakteriler (100) olarak gerçekleşmiştir.

Wu ve ark. [14], tarla toprağının biyogüvenlik kontrolü için, model mikroorganizma olarak insan patojenik bakterilerinden *Escherichia coli*'yi toprağa aşlamışlar ve inaktive edilmesinde toprak solarizasyonu incelenmiştir. Tarla sulandıktan sonra, toprak yüzeyi ince plastik örtü ile kapatılmıştır. Solarizasyon uygulanmış toprağın günlük ortalama sıcaklığı solarize olmayan toprağa göre 4-10 °C daha yüksek bulunmuş ve 31 ve 38 °C arasında dalgalanmıştır. En yüksek günlük sıcaklık, deneyin ikinci ve üçüncü haftalarında solarize toprakta toplam 8 gün boyunca 40 °C'ye ulaşmıştır. Solarize edilmiş topraktaki *Escherichia coli*, 4 hafta içinde tespit edilemez sayıya kadar (<0.08 CFU g/kuru toprak) giderilmiştir, *E. coli* solarize edilmemiş toprakta 6 haftadan fazla hayatta kalmıştır. Diğer yandan, toprak solarizasyonu, toplam canlı bakteri sayısına çok az etki etmiştir. Çalışmanın sonunda, solarizasyonunun insan patojenleri taşıyabilen olgunlaşmamış kompost veya hayvan

dışkısı ile kontamine olmuş toprağın biyogüvenlik kontrolü için faydalı olacağı ifade edilmiştir.

Sossou ve ark. [15], güneş enerjisi ile ısıtılan kompostun sanitizasyon etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, kompostlama tuvaleti yöntemi ile üretilen kompost, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* ve *Ascaris* yumurtaları ile aşılanmış ve ardından güneş ışığına maruz bırakılmıştır. Kompost özel olarak hazırlanmış güneşlenme kutusunun içine koyulmuş ve doğrudan güneş ışığına maruz bırakılmıştır. Çalışmada, sadece güneş ışığına maruz bırakılmış kompost uygulamasında ve kutu içinde solarizasyon uygulanmış kompost numunesinde ulaşılan sıcaklık sırası ile mezofilik (> 30 °C) ve pastörizasyon sıcaklığı (> 70 °C) olarak tespit edilmiştir. Her iki uygulamada da komposttaki mikroorganizmaların sayısı azalmış fakat log azalma hızı solar uygulamada daha hızlı gerçekleşmiştir. Patogen giderim kinetiği solar uygulanmayan kompostta yavaş, güneş kutusuyla ısıtılan kompostta hızlı gerçekleşmiştir. Solarizasyon uygulaması ile giderime en duyarlı mikroorganizmanın *Escherichia coli* olduğu ve güneş kutusuyla elde edilen yüksek ve homojen sıcaklığın kompostun mikrobiyal açıdan güvenli hale getirilmesinde etkili bir seçenek olduğu vurgulanmıştır.

Berry ve ark. [34], açık alanda beslenen sığır padoklarının topraklarında *Escherichia coli* O157:H7 patojeninin giderimini solarizasyon çalışması ile incelemiştir. Bu amaçla 3x3 metrelik parsellerin yüzeyi şeffaf polietilen ile kapatılmış, 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8 ve 10 haftalık solarizasyon sürelerinde sıcaklık değişimi ve bakteri azalımı takip edilmiştir. E. coli O157:H7-pozitif örneklerin kontrol ve solarize uygulamalarında başlangıç yüzdeleri sırasıyla % 84 ve % 80 olarak belirlenmiştir. E. coli O157:H7 artık 8 haftalık solarizasyondan sonra tespit edilemeyen sayıya kadar giderilmiş, ancak solarize olmayan kontrol uygulamasında 10 haftada patojenler tespit edilmiştir. Başlangıçta 5.56 log CFU/g olan E. coli konsantrasyonu, 1 haftalık solarizasyonun ardından 2.0 log/CFU azalmış, 6 haftalık solarizasyonun sonunda ise >3.0 log azalma tespit edilmiştir. E. coli sayıları solarize edilmemiş uygulamalarda değişmeden kalmıştır. Günlük maksimum sıcaklıklar, solarize edilmemiş kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında solarizasyon uygulamasında ortalama 8,7 °C daha yüksek olmuş

ve maksimum sıcaklık 57 °C' ye kadar ulaşmıştır. Çalışmanın sonunda solarizasyon uygulamasının topraklara ilave olarak E. coli O157: H7 ile kirlenmiş sığır yetiştirme alanı toprağın temizlenmesinde de faydalı bir şekilde kullanılabilceği önerilmiştir.

Vazquez-Vazquez ve ark. [35], çalışmalarında sığır, keçi ve kümes hayvanlarından elde edilen gübrelerde Salmonella türlerinin varlığını değerlendirmek için sekiz haftalık solarizasyon denemesi düzenlemiştir. Her gübre çeşitinden altı örnek hazırlanmış, yarısı olduğu gibi diğer yarısı % 50 oranında su eklenerek şeffaf plastik ile kapatılarak solarizasyon uygulanmıştır. Denemelerin başında Salmonella, üç gübre türünde tespit edildi ve denemelerin son haftasında bütün numunelerde, petri kabında sayım ve PCR yöntemi ile yapılan analizlerde tespit edilmemiştir. Gübrelere su ilavesi yapılan uygulamalarda, maksimum sıcaklıklara daha çok ulaşılmış ve daha düşük log₁₀ CFU/g *Salmonella* seviyeleri ölçülmüştür. Solarizasyon işlemi tek başına gübrelerde patojen seviyesinin azaltılmasında etkili bulunmuş, ancak su içeriğinin yükseltilmesinin patojenleri kısa sürede yok etmede daha etkili olduğu vurgulanmıştır. Uygun şekilde solarize edilmiş gübrelerin, tarım ürünü üretiminde, mikrobiyal kontaminasyon olasılığını ortadan kaldırarak güvenle kullanılabilceği belirtilmiştir.

2.5. Patojenlerin İnaktive Edilmesini Etkileyen Parametreler

Mikro-organizmaların yaşamları bir kaç faktörün fonksiyonuna bağlıdır (maruz kalınan sıcaklık, lokal koşullar ve tür veya cinslerinin karakteristik özelliği). Herhangi spesifik mikroorganizma popülasyonuna letal etki aşamalıdır ve genellikle kinetiği yaklaşık olarak dezenfeksiyonun exponential (üstel) kanununu gösterir (Chick's law); orijinal popülasyonun X_0 , yaşama fraksiyonu X_t/X_0 , zaman aralığından (t-to) sonra su şekilde gösterilir.

$$X_t/X_0 = e^{-k(t-t_0)}$$

k spesifik ölüm oranı. Birinci mertebe giderim kinetiğinden görüldüğü gibi, inaktivasyon kinetiği konsantrasyon ve temas süresine bağlıdır. Giderim faktörünün

yüksek konsantrasyonlarında süre kısa olurken, konsantrasyon düştükçe süre uzamaktadır.

Lang ve ark. [36], enterik organizmaların izotermal inaktivasyon profillerini, arıtma çamurlarının arıtılması için kullanılan mezofilik, termofilik ve pastörizasyon sıcaklıklarında karakterize etmek için küçük ölçekli, yoğun olarak örneklenmiş bir laboratuvar deneyi yapmışlardır. Sıcaklığa dayanıklı indikatör bakteri türleri *Escherichia coli* ve *Salmonella Senftenberf775W* iki farklı büyüme ortamı soya broth ve arıtma çamuruna ekilip 35, 55 ve 70 °C sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır. Bakteri aşılama ortamının kimyasal yapısı, enterik bakteri popülasyonlarının sıcaklık stresinden etkilenmesini önemli ölçüde etkilemiştir. *Escherichia coli* ve *Salmonella*'nin mezofilik koşullar altında davranışı, temas süresi ve sınırlı ölçüde yetiştirme ortamı ile ilişkili görülmüş, ancak mezofilik sıcaklıklarda doğrudan termal inaktivasyonun gerçekleştiğine dair hiçbir kanıt bulunamamıştır. *E. coli* ve *S. Senftenberg*'in tam giderimi, her iki aşılama ortamında 55 °C' de, 20 ila 60 dakika içinde gerçekleşmiştir. Enterik test bakterileri 70 °C' de sadece sıcaklık faktörüne bağlı olarak anlık ölüm göstermiş, dayanıklı genotiplerin varlığı 40 saniyeye kadar gözlenmiştir. Bakteri giderimleri termofilik ve pastörizasyon sıcaklık derecelerinde birinci mertebeden giderim kinetiği göstermiştir.

Fogolari ve ark. [37], *Escherichia coli*'nin atıksu arıtma çamurunda termal olarak giderim kinetik parametrelerini belirlemek için 45, 50, 55, 60 ve 65°C sıcaklık derecelerinde bir laboratuvar çalışması düzenlemişlerdir. Sonuçlar, bu mikroorganizmanın termal inaktivasyon kinetiğinin birinci dereceden bir model ile tanımlanabileceğini göstermiştir. Bakterilerin sıcaklık direnci 55 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda büyük ölçüde azalmıştır. Çalışmada ayrıca inaktivasyon enerjisi 2.48×10^5 J/mol ve ondalık azaltma süresi $D_{55^\circ\text{C}}$ 3.61 dakika olarak bulunmuştur.

Fogolari ve ark. [38], güneş enerjisi kullanarak atıksu arıtma çamurlarının termal dezenfeksiyon verimliliğini araştırdıkları çalışmalarında, çamur, düz levha güneş kollektörlerinde ısıtılan bakır borular kullanılarak yapılmış bir ısı eşanjöründen ısıtılmış reaktörün içine yerleştirilmişler. Farklı güneş ışınlama koşulları altında on

altı deneysel test gerçekleştirmişler ve *Escherichia coli*'nin termal giderimini izotermal olmayan koşullarda birinci mertebe kinetik model kullanılarak değerlendirmişlerdir. Uygulanan işlem saatte ortalama 500 W/m^2 'nin üzerinde bir güneşlenme periyoduna etkili sonuç vermiş ve *E. coli* 4.2 ile 7.1 log₁₀ seviyesi arasında ve toplam koliformlar 4.8 ile 7.4 log₁₀ seviyesinde giderilmiştir. Daha düşük güneşlenme seviyelerde termofilik sıcaklık derecelerinin üzerine ulaşamadığı için etkin bir seviyede sanitasyon gerçekleşmemiştir.

Geeraerd ve ark. [8], bakteri giderim kinetiklerinin Microsoft Excell eklentisi halinde çözümünü sağlayan paket program geliştirme çalışmalarında dokuz farklı türde mikrobiyal giderim modeli önermişlerdir. Yazarlar bakteri hücreleri giderimi için bilinen tüm eğri şekillerini kapsadığına inanmaktadır. Bu model tipleri şu şekilde tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır: (i) klasik log-lineer eğriler, (ii) log-lineer bir düşüş görülmeden önce bir omuz yapısı gösteren eğriler, (iii) log-lineer bir düşüşün ardından kuyruk yapı gösteren eğriler (iv) hem omuz hem de kuyruk davranışı gösteren eğriler, (v) içbükey eğriler, (vi) dışbükey eğriler, (vii) dışbükey/içbükey eğriler, (viii) bifazik inaktivasyon kinetiği ve (ix) bifazik inaktivasyon kinetiği öncesinde omuz gösteren yapı. Bu paket program, giderim parametre değerlerinin yanında, parametre değerlerinin standart hataları, Karesel Hataların Toplamı, Ortalama Karelerin Hatalarının Toplamı ve Kökü, R_2 ve ayarlanan R^2 gibi istatistiksel değerleri de raporlamaktadır.

Thomas ve ark. [39], tavuk gübresinde yapay olarak eklenen antibiyotik dirençli *E. coli* bakterisinin laboratuvar şartlarında mezofilik (37 °C, 42 °C) ve termofilik (55 °C) sıcaklıklarda giderim kinetiğini incelemişlerdir. Çalışmada desimal giderim süreleri (D-değeri) 37 °C'de yaklaşık 3-6 gün, 42 °C'de 15 gün ve 55 °C'de 48 dakika olarak belirlenmiştir. Başlangıç *E. coli* sayıları mililitre başına 7 log₁₀ koloni oluşturan birim (CFU) olan kültürün sayıları tüm sıcaklıklarda 35 gün sonra tespit edilemeyen değerin altına inmiştir. Bununla birlikte, 37 °C ve 42 °C'de, antibiyotik dirençli olan *E. coli* suşu zenginleştirme ile kısmen tespit edilmiştir. Çalışmada sıcaklık ve temas süresi iki önemli ana inaktivasyon faktörü olarak değerlendirilmiştir. pH, uçucu yağ asitleri (VFA) veya amonyak (NH₃) ile *E. coli* indirgemesi arasında doğrudan bir

ilişki bulunamamıştır. Çalışmanın sonunda, güvenilir ürün eldesi için termofilik sıcaklık derecelerinde zaman-sıcaklık değerleri göz önünde bulundurularak işlem yapılması önerilmiştir.

Bu çalışmada bakteri giderim kinetiklerinin ortaya çıkarılması ve istatistiksel analizlerinin değerlendirilmesinde Geeraerd ve ark (2005) önerdiği Excell uzantısı program kullanılmıştır. Her bakteri türü için en uygun giderim kinetiği türü ortaya çıkarılmıştır.

2.5. Kompost Mikrobiyolojik Standartları

Standart kompostlama kalitesinin mikrobiyolojik indikatörleri olarak Salmonella ve *E. coli* en çok kullanılan iki önemli mikroorganizmadır. Avrupa Komisyonu Salmonella ve *E. coli* bakterisini ekolojik kaliteyi tanımlamada kullanmayı karara bağlamıştır. Yoğunluklarının sınırları sırasıyla $<10^3$ MPN/g ve 50 g olarak yokluk, olarak belirlenmiştir. Bir indikatör organizma olarak seçilen türlerin birkaç şartı yerine getirmesi gerekmektedir:

1. İlgili hammaddede yüksek oranda mevcut olması.
2. Ürünler yoluyla bulaşma bakımından epidemiyolojide bir faktör olmalı.
3. Biyoteknoloji işlemi kullanılıyorsa indikatör sürecin içinde yer almamalı.
4. İndikatör toprakta ve toprakla ilgili maddede bulunan organizmalar olmamalı.
5. İzolasyon ve tanımlama yöntemi, özellikle karmaşık mikrobiyolojik yapı gösteren kompost gibi malzemeler için basit, kesin ve güvenilir olmalıdır.

Fekal kirliliğinin bakteriyel göstergeleri arasında, *E. coli*'nin rolü göz önünde bulundurulur, çünkü bu bakteri aynı özelliklere sahip diğer enterik bakterilerin varlığı ile iyi bir korelasyona sahiptir. *E. coli* ile aynı gruba ait olan *Enterococci*'nin, fiziko-kimyasal işlemlere karşı daha yüksek bir dirence sahip olduğu ve geçerli fekal gösterge grubu olabilecek sıcakkanlı hayvanların son bağırsak yolu ile yakın bir bağlantısı olduğu bilinmektedir. *Salmonella spp*, tespiti kompost malzemenin stabilizasyonunda çok yararlıdır. Sağlık riskini sınırlandırmak için stabil kompost

hijyen kalitesini değerlendirmek için insan patojeni ile ilgilidir ve çok önemlidir. Yine *Clostridium perfringens* ekstrem çevre koşullarına dayanıklılığı nedeniyle arıtma çamuru kompost çalışmalasında sıklıkla indikatör olarak kullanılan bakterilerden birisidir.

Bu bilgilerin ışığı altında, bu çalışmada arıtma çamurlaından yapılmış kompostun indikatör mikroorganizma konsantrasyonu incelenmiş ve solarizasyon uygulaması ile ileri giderimleri araştırmış, giderim kinetikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOD

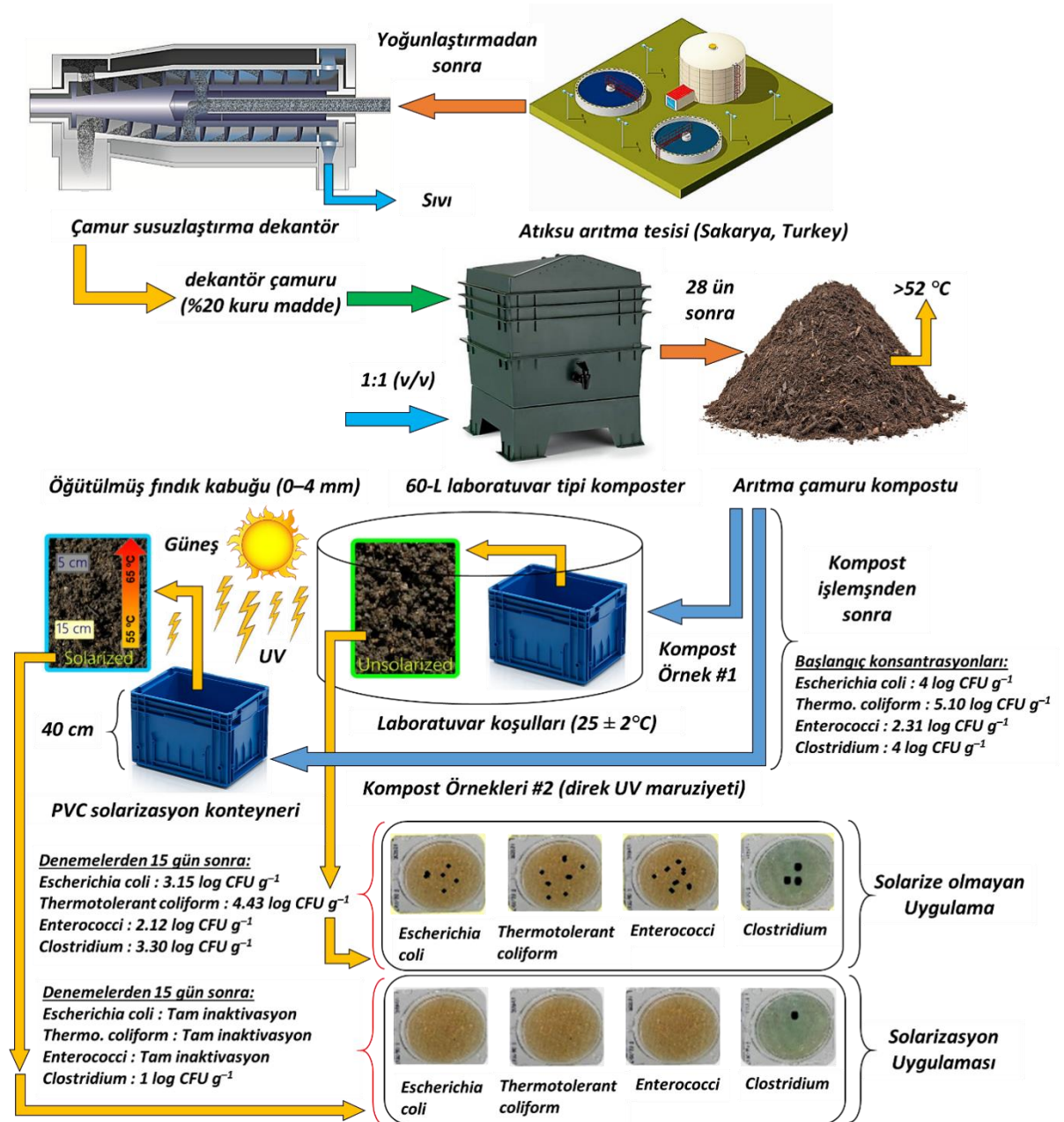
3.1. Materyal ve Metod

Deneysel çalışmada kullanılan atık su arıtma çamuru, evsel atıksuların arıtıldığı, Sakarya, Karaman Atıksu Arıtma Tesisinden alınmıştır (enlem 40° 50' N, boylam 30° 19' E ve deniz seviyesinden yükseklik 31m). Tesisin ortalama atık su debisi = 80.000 m³/gün⁻¹ 'dür. Arıtma tesisi uzun havalandırmalı biyolojik aktif çamur sistemi prensibine göre çalışmaktadır. Yoğunlaştırma işleminden sonra çamur, yaklaşık %20 kuru madde içeriğine kadar dekantör tarafından mekanik olarak susuzlaştırılmaktadır. Bu tesisten alınan dakantör susuzlaştırılmış çamur, ilk önce 1:1 (v/v) önceden öğütülerek küçük parçacıklar haline getirilmiş fındık dış kabuğu, züruf (partikül büyüklüğü 0-4 mm) maddesiyle karıştırılarak 60 L kapasiteli laboratuvar ölçekli bir komposter içinde kompostlanmıştır.

Kompostlama deneyi, aktif kompost fazını temsil eden 28 günlük bir süre boyunca gerçekleştirilmiştir. Kompost yığını her gün manuel olarak karıştırılmış ve havalandırılmıştır. Kompost yığınının sıcaklıkları, kompostlama deneyinin ilk 15 gününün 3 günü boyunca 52 °C sıcaklık eşiğinin üzerinde gerçekleşmiştir. Kompost karışımında seçilen bakteri indikatörlerin ilk konsantrasyonları gram kuru madde bazında *E. coli* için 4.0 log CFU/g, *termotolerant koliform* için 5.1 log CFU/g, Enterococci için 2.31 log CFU/g ve Clostridium için 4.0 log CFU/g olarak tespit edilmiştir.

Kompostlama işleminin aktif aşamasını takiben kompost numuneleri, solarizasyon deneylerinde kullanılmak üzere homojen olarak karıştırılmış bölümlere ayrılmıştır. Kompost numunesinin bir bölümü 40 cm yüksekliğinde ışık geçiren şeffaf PVC solarizasyon kabına doldurulmuştur. Solarizasyon uygulaması, yerel çevre

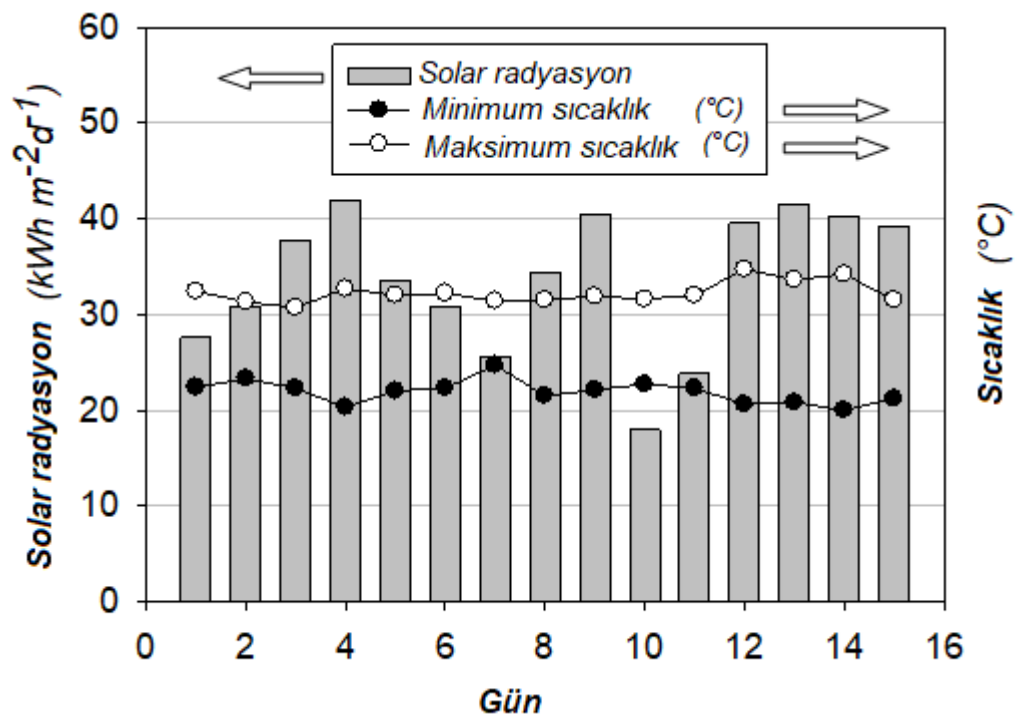
koşullarında güneşe ışınlarına mazruz bırakılmış ve compost sıcaklığının yükselmesi sağlanmıştır. Aynı miktarda diğer kompost numunesi kontrol uygulaması olarak, laboratuvar koşullarında, oda sıcaklığında (25 ± 2 °C) tutulmuştur. Deneysel çalışmanın yapılışı akım şeması şeklinde Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Mikrobiyal dezenfeksiyon için çamur kompostuna yapılan güneş enerjisi uygulamalarının şematik gösterimi.

3.2. Örnekleme Süresi ve Prosedürü

Solarizasyon deneyleri 1-15 Ağustos 2015 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Bu periyotta gerçekleşen meteorolojik veriler Adapazarı Meteoroloji İstasyonundan, Sakarya, Türkiye temin edilmiştir (Şekil 3.2.). İki haftalık örnekleme döneminde iki farklı derinlikteki kompost sıcaklıkları (0-10 cm ile 10-30 cm arası) günlük olarak (her gün 14:00) toprak termometresi (TF002, Agromak, Türkiye) kullanılarak ölçülmüştür. Her örnekleme gününde 5 ve 30 cm derinlikten kompost örnekleri alınmış ve karışımdan elde edilen homojen şekilde karıştırılmış alt numuneler mikrobiyal analiz için kullanılmıştır. Solarizasyonun mikrobiyal giderim üzerindeki etkileri, tüm deney periyodunun 15 gün içerisinde her 48 saatte bir numuneler (her işlem için 1 g) elde edilerek değerlendirilmiştir. Benzer şekilde kontrol uygulamasından da numuneler alınmıştır.



Şekil 3.2. Solarizasyon döneminde ölçülen maksimum ve minimum günlük sıcaklıklar ile solar radyasyon

3.3. İndikatör Mikroorganizmaları ve Mikrobiyal Prosedür

Arıtma çamuru kompostunun mikrobiyolojik kalitesinin ve mevcut güneş enerjisi uygulamasının giderim verimliliğinin nicel değerlendirmesi için, gösterge mikroorganizmalar olarak *Escherichia coli*, *termotolerant koliformlar*, Clostridium ve Enterococci seçilmiştir. Çalışmada *Escherichia coli* ve *termotolerant koliformlar*, ISO 9308-1'de [40] standardında belirtilen prosedüre dayanarak, membran filtrasyonunun ardından m-FC agar ortamında tanımlanmıştır. Enterokok, ISO 7899-2 [41] standardına uygun olarak yine membran filtrasyon ile izole edilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca Clostridium, ISO 9308-1 standardına göre sayılmıştır [42]. Kompost numunelerinin seri seyreltileri izotonik çözeltide yapılmış ve her numunenin 1 g' ı mikrobiyal analiz için bu çözeltilerin 9 mL' sinde on kat seyreltilmiştir. 10^{-1} ' den 10^{-5} ' e seyreltilen 1:10 dilüsyonlardan 100 μ L numune farklı mikrobiyolojik ortamlara üç tekerrürlü olarak ekilmiştir. Aşılana petri kapları, 37 °C' de 24 saat süreyle inkübe edilmiş, inkübasyondan sonra, her petrideki görünür olan mikrobiyel koloniler sayılmış ve her bir değer kaydedilmiştir [20].

3.4. Mikrobiyal İnaktivasyon Modeli

Çalışmada incelenen indikatör bakterilerin hayatta kalma eğrilerindeki düşüşün ölçülmesi için, aşağıdaki shoulder/tail inaktivasyon modelleri (yani, doğrusal yaklaşım, lojistik (veya Fermi) fonksiyonu ve denklemlerde ifade edilen artık popülasyon yoğunluğu bazlı inaktivasyon modeli), denklemleri (1), (2), (3) kullanılmıştır[7]:

$$\log N(t) = \begin{cases} \log N_0 & \text{when } 0 < T < T_L \\ \log N_0 - \left(\frac{1}{D}\right)(T - T_L) & \text{when } T > T_L \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\log\left(\frac{N}{N_0}\right) = \log\left[\frac{1 + (e^{-k_{\max} T_L})}{1 + (e^{k_{\max}(T - T_L)})}\right] \quad (3.2)$$

$$N = \left[(N_0 - N_{res}) \left(e^{-k_{max}T} \right) \frac{\left(e^{-k_{max}T_L} \right)}{1 + \left(e^{(-k_{max}T_L)-1} \right) \left(e^{-k_{max}T} \right)} + N_{res} \right] \quad (3.3)$$

buradaki N_0 , 0 zamanında başlangıçtaki mikrobiyal popülasyondur (CFU g^{-1}), N, T zamanında (inaktivasyon uygulamasından sonra) popülasyon sayısıdır (CFU g^{-1}), k_{max} , maksimum spesifik giderim veya inaktivasyon oranıdır (gün^{-1}), T_L , inaktivasyondan önceki zamandır (gecikme döneminde veya omuz bölgesinde); D , mikroorganizmaların ondalık azalması için D değeri veya zamandır; ve N_{res} , artık popülasyon (CFU g^{-1}) yoğunluğudur (tail bölgesi).

Bu çalışmada, seçilen indikatör mikroorganizmaların en uygun mikrobik inaktivasyon modellerini elde etmek için GInaFiT inaktivasyon modeli programı uygulanmıştır [8]. Analizler, Casper Excalibur (Intel® Core™ i7-7700HQ CPU, 2.81GHz'de çalışan Microsoft® Excel® 2016 (Microsoft Inc., Redmond, WA) paketi için ücretsiz bir eklenti olan GInaFiT sürüm 1.6 çerçevesinde gerçekleştirilmiştir (16GB RAM, 64 bit, Windows 10 PC platformu). Tüm hesaplamalarda, aynı işletim sistemi altında çalışan Microsoft® Excel® hesap tabloları açık veri tabanı bağlantı veri kaynağı olarak kullanılmıştır. İlk hesaplama analizine göre, en uygun modeller *E. coli*, *thermotolerant koliformlar* ve Enterococci ve Clostridium için sırasıyla log-lineer regresyon, log-lineer regresyon artı tail ve log-lineer regresyon artı shoulder artı tail olarak belirlenmiştir.

3.5. İstatistiksel Prosedür

Çalışmada, en uygun inaktivasyon modellerinin değerlendirmesinde, istatistiksel performans göstergesi olarak karekök ortalamaların karelerinin toplamı (RMSE) kullanılmıştır. İnaktivasyon hızı k_{max} (hayatta kalma eğrisinin üssel kısmının eğimi) ve T_{90} değerleri (popülasyonun% 90' ını inaktive etme süresi), GInaFiT yardımı ile elde edilen en uygun modeller kullanılarak hesaplanmıştır. Log10 ile transforme edilmiş bakteri sayıları, zamanın ve kompost derinliğinin patojen inaktivasyonu üzerindeki etkisini yorumlamak için iki yönlü varyans analizine

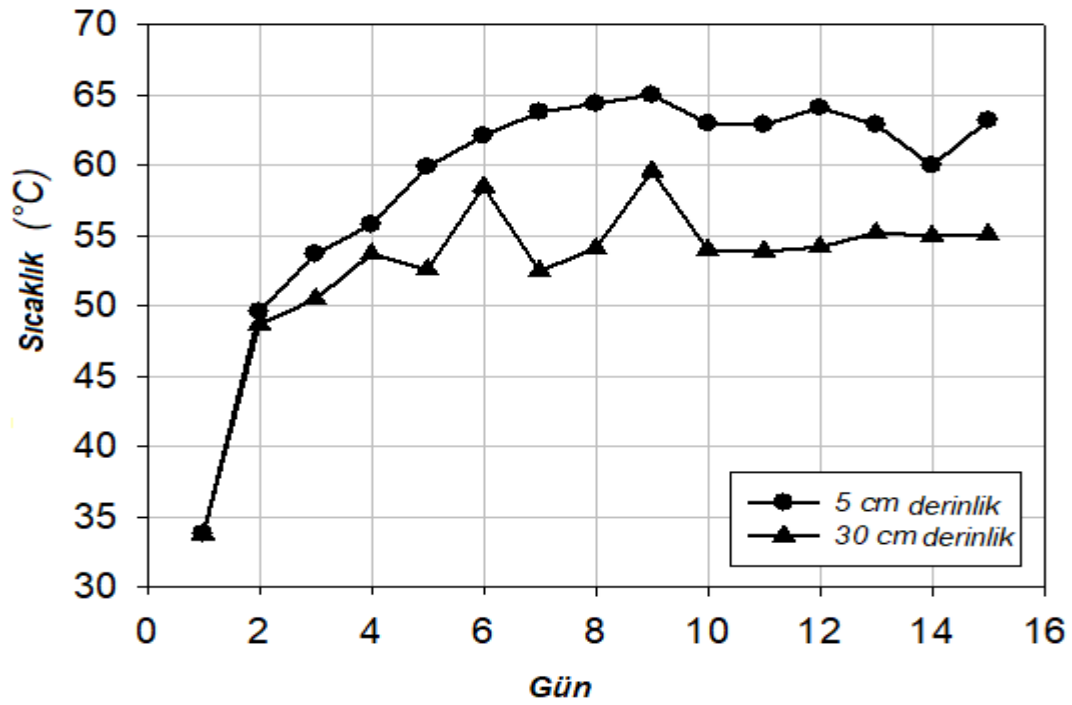
(ANOVA) tabii tutulmuştur. Hesaplamalı analizde, omuz/kuyruk tabanlı modellerin istatistiksel önemini değerlendirmek için alfa (α) seviyesinin 0,05 (veya % 95 güven) olduğu kabul edilmiştir.

İndikatör mikroorganizmalar için elde edilen solarize ve kontrol uygulamasının veri setleri, uygun parametrik (eşleştirilmemiş (veya iki örnekli) t testi ve F (varyans oranı) testi) veya parametrik olmayan testler (Mann-Whitney (T) ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir MW) U (veya Wilcoxon rütbe toplamı) testi veya Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner yöntemiyle Kruskal-Wallis (KW) testi). Bu testlerin uygulanmasından önce, Shapiro-Wilk *W* ve Levene testleri, alt grupların (gösterge mikroorganizmalar için solarize ve kontrol) normal veya normal olmayan bir dağılım ve varyans (standart sapmalara) sahip olup olmadıklarını test etmek için uygulanmıştır. Eşleştirilmiş grupların homojen olduğu belirlenmiştir. Veri setlerinin normal dağılmadığı durumlarda, parametrik test yerine parametrik olmayan bir test (MW veya KW) yapılmıştır. Test sonuçları, deney grupları arasındaki istatistiksel önemi göstermek için iki kuyruklu *p* değerleri ile değerlendirildi.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Solarizasyon İşlemiyle Sıcaklık Artışı

Solarizasyon deneylerinin yapıldığı periyotta, solarize edilmiş kompost uygulamasının 5 ve 30 cm' lik derinliklerde kaydedilen sıcaklıkların değişimi, Şekil 4.1.' de gösterilmektedir. Sıcaklık değişimi profillerden görüldüğü gibi, solarizasyon işleminin başında, her iki izlenen kompost derinliği için 3. günde sıcaklık hızla 50 °C' nin üzerine yükselmiştir. Güneş ışınlarının daha yüksek olduğu günlerde kompost sıcaklıkları 30 cm derinlikte 60 °C olarak termofilik sıcaklığın üzerinde kaydedilmiş ve hatta 5 cm kompost derinliğinde 65 °C' ye ulaşmıştır. Beklendiği gibi, bu kompost sıcaklıkları, solarize edilmeden laboratuvar koşullarında tutulan kompost uygulamasında ölçülen sıcaklıktan istatistiki olarak daha yüksektir ($p < 0.01$). Solarize edilmemiş deneydeki kompost sıcaklıkları, her bir örnekleme gününde 20-25 °C civarında değişen ortam sıcaklığına yakın ölçülmüştür. İki haftalık yaz dönemi için, PVC kabın içindeki kompostun solarizasyonu, kompost sıcaklığının arttırılmasında çok etkili bulunmuş (Şekil 4.1.) ve önceki çalışmalarda *E. coli*, *termotolerant koliformlar*, Enterococci ve Clostridium türleri için saptanan letal sıcaklık aralıkları arasında [12, 15] olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.1 Deneysel periyotta 5 ve 30 cm derinlikteki solarize işlemlerinde kaydedilen kompost sıcaklıkları.

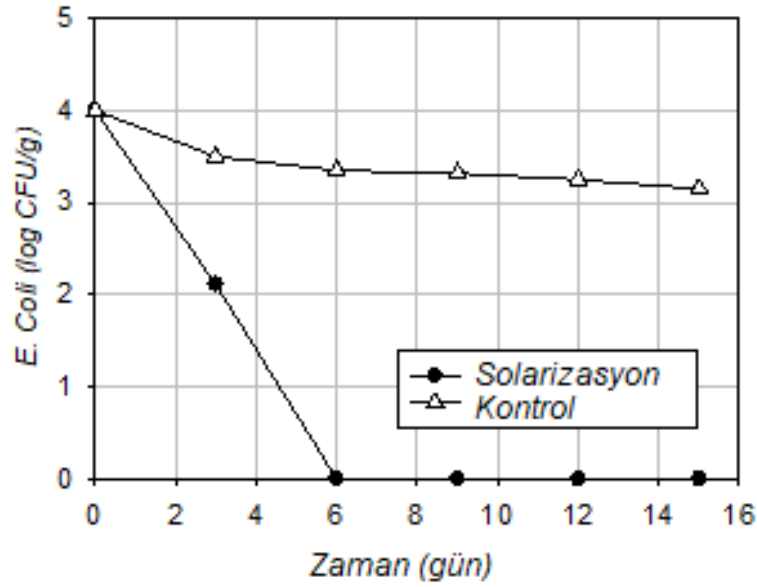
Solarizasyon uygulamalarında toprak sıcaklığını artırmak için solarizasyon boyunca toprağın rutubetli tutulması önerilmektedir[43]. Rutubet patojen inaktivasyonunda önemli olduğu gibi katı matriksinde ısı iletimi de sağlamakta ve toprak derinliğine doğru sıcaklık yükselmesine neden olmaktadır [44]. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru kompostunun rutubet kapsamı deney boyunca %60-65 civarında değişim göstermiş ve doğal toprağa kıyasla daha yüksek seviyelerde seyretmiştir. Dolayısı ile solarizasyon uygulanmış kompostta, toprakta yapılan solarizasyon uygulamalarına kıyasla 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 [45]. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru kompostunun organik madde miktarı %80 civarında ölçülmüştür. Toprağa kıyasla daha yüksek olan organik madde içeriği ve mineralizasyon sonucu ortaya çıkan CO₂ yine sıcaklık artışında etkili olan faktörlerden biri olmuştur.

Tablo 4.1. İndikatör bakteriler için, kinetik giderim modellerinin regresyon denklemi tahmin eğrilerinin maksimum giderim (k_{maks}), T_{90} ve RMSE değerleri.

Gösterge bakteri	Maksimum spesifik bozulma veya inaktivasyon oranı (k_{maks} : $gün^{-1}$)	Nüfusun% 90'ını inme zamanı (T_{90} : gün)	Kök ortalama kare hatası (RMSE)
<i>Escherichia coli</i>	1.04	2.91	0.156
Termoiletken koliformlar	3.22	3.35	0.953
Enterokoklar	3,27	10.1	0.530
Clostridium	1.61	7.90	0,299

4.2. *E. Coli* İnaktivasyonu

Sıcaklık uygulamalı sanitizasyon deneylerinde, bakteriyel inaktivasyonu sağlayan gücün zaman-sıcaklık kinetiği olduğu bilinir [46,15]. Laboratuvar ölçekli zaman-sıcaklık deneylerinde [36] , 70 ve 55 °C'de *E. coli* ve alt gruplarının (suşları) bakteriyel bozulmasını incelemiş ve sırasıyla 10 saniye ve 20 ila 60 dakika sonra tam inaktivasyonun gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, tam ölçekli gerçek çalışma koşullarında, termofilik sıcaklık aralıklarında tam inaktivasyon sürelerinin, saatlerin ötesine uzadığı rapor edilmiştir [46] . Bu çalışmada, *E. coli* popülasyonu solarizasyon uygulanan kompost örneklerinde hızlı bir şekilde azalmıştır. Redüksiyon oranı, solarize edilmiş kompost numuneleride, solarize edilmemiş kompost numunelerine kıyasla, daha yüksek bir indirgeme etkinliğine sahip birinci dereceden (lineer) bir giderim kinetiği göstermiştir (Şekil 4.2.). *E.coli* sayısı 0. gün 4 log CFU g^{-1} olarak tesbit edilmiştir ve zamanla bu değer solarizasyonun etkisi ile azalıp 6 gün sonra yapılan analiz sonuncu 0 log CFU g^{-1} olarak tesbit edilmiştir. Solarizasyona maruz kalmayan kompost örneklerinin *E. coli* sayısı da azalmış, ancak redüksiyon oranı 1 log'dan daha az gerçekleşmiştir. Sonuçlar genel olarak, solarize kompost numunelerindeki sıcaklık artışının *E. coli* için ölümcül sıcaklık sınırları aralığına kadar gerçekleştiğini gösterilmiştir.



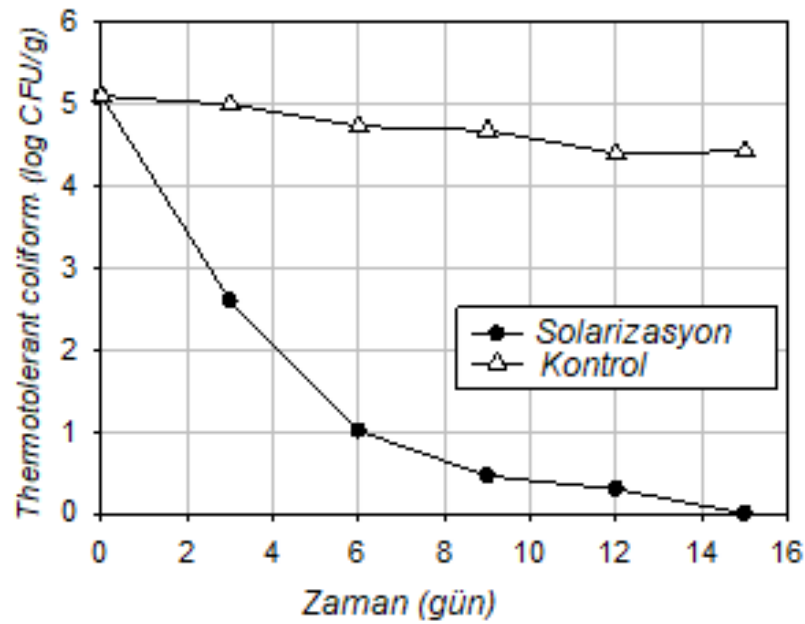
Şekil 4.2. Arıtma çamuru kompostunda indikatör mikroorganizma *E. coli* 'nin solarizasyon uygulaması ve solarize edilmeyen kontrol uygulamasında zamana bağlı olarak inaktivasyonu.

Önceki araştırmalarla tutarlı olarak, *E. coli*, yaz aylarında solar radyasyonun sağladığı sıcaklık yükselmesi ile gerçekleşen inaktivasyonuna [47] karşı oldukça duyarlı olduğu kanıtlanmıştır. Yükselen sıcaklığa bağlı olarak bu çalışmada elde edilen giderim kinetiği ($k_{max} = 1.04 \text{ gün}^{-1}$ ve $T_{90} = 2.91 \text{ gün}$), *E. coli* için arıtma çamurunda uygulanan benzer solarizasyon koşullarında gözlenenle (çamur derinliğine bağlı olarak $k_{max} = 0.65\text{--}0.85 \text{ gün}^{-1}$ ve $T_{90} = 2.47\text{--}4.60 \text{ gün}$) paralellik göstermiştir [16]. Mikroorganizma sayısındaki azalmalar zamanla pozitif korelasyon göstermiştir. Öte yandan, kompost sıcaklıkları daha yüksek ortam sıcaklığı ve günlük güneş ışınması seviyesi tarafından yükseltilmiştir. Bu nedenle, giderim hızları (k_{max}) kompost sıcaklık artışı ile artmış ve T_{90} değerleri düşmüştür (Tablo 4.1.). Sayısal sonuçlar, solarizasyonun *E. coli*'nin inaktivasyon hızı üzerindeki olumlu etkisini teyit etmiştir.

4.3. Termotolerant Koliform İnaktivasyonu

Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi, termotolerant koliform sayısı solarizasyon uygulamasında hızla azalmış ve deneyin başlamasından 6 gün sonra 1 log CFU g^{-1} ın altına inmiştir. Diğer yandan solarizasyon işlemi uygulanmayan kontrol örneklerinde bakteri popülasyonu sayısı deney süresince neredeyse değişmeden sabit kalmıştır. Başlangıçta $5.10 \text{ log CFU g}^{-1}$ olarak belirlenen termotolerant

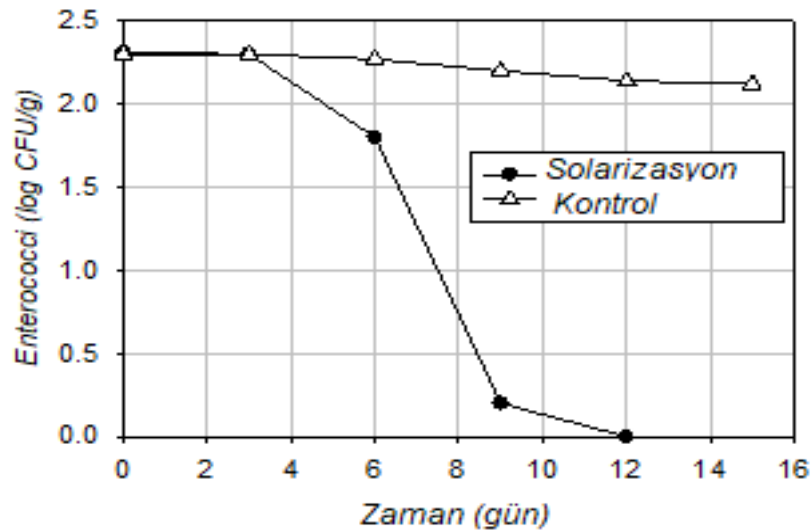
koliform sayısı sürecin ilk haftasında güneş ve sıcaklığın etkisi ile $1.01 \log \text{CFU g}^{-1}$ sayısına kadar azalmıştır. Bakteri konsantrasyonu $1,01 \log \text{CFU g}^{-1}$ sayısına geriledikten sonraki aşamada giderim oranının daha yavaş gerçekleştiği kaydedilmiştir. Bu durum, bakterilerin sıcaklığa dirençli fraksiyonunun, daha yüksek doz inaktivasyon faktörüne veya daha uzun süre maruz kalması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu bulgular, sırasıyla, 40 saniye ve 60 dakika içinde 70 ve 55°C 'de termotolerant suşların tamamen inaktivasyonunu rapor eden [36] bulguları ile uyumludur. Gerçek kompost uygulamalarını temsil eden bu çalışmadaki deneysel dönemin sonunda (15 gün) tespit edilen tam inaktivasyon kompost örneklerinde termotolerantların tam giderimi için 55 ve 60°C 'de 5 günden fazla süre rapor eden [44] bulguları ile uyum içindedir. Bu çalışmada incelenen *termotolerant koliformlar* için bakteriyel giderim kinetiği ve sıcaklık artışı arasında tespit edilen pozitif korelasyon ($p \leq 0.01$), solarizasyonla ile çamur kompostunda istenen dezenfeksiyon koşullarının sağlandığı anlamında yorumlanmıştır [20].



Şekil 4.3. Arıtma çamuru kompostunda indikatör mikroorganizma *Termotolerant koliform*'un solarizasyon uygulaması ve solarize edilmeyen kontrol uygulamasında zamana bağlı olarak inaktivasyonu.

4.4. Enterokok İnaktivasyonu

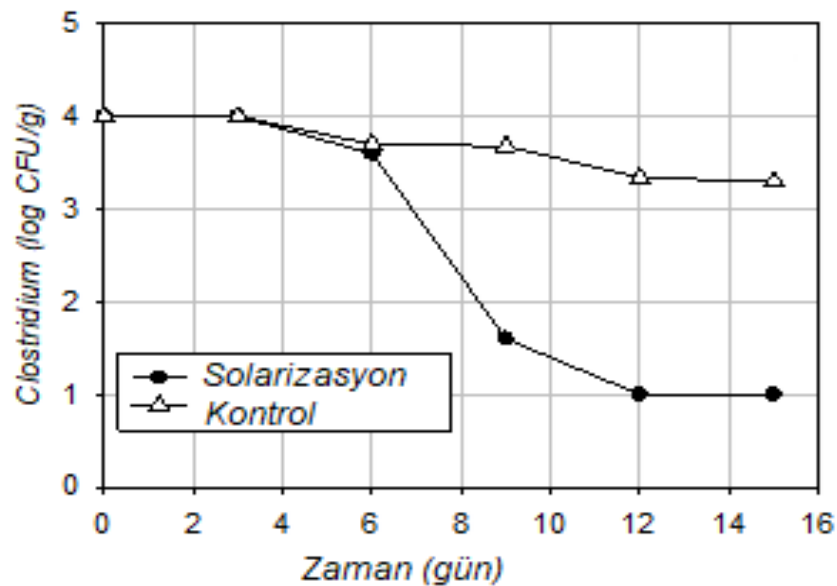
E. coli ve *termotolerant koliformların* aksine çamur kompostunda Enterokok bakteri sayısı deney periyodunun ilk 3 gününde, solarizasyon uygulamasındaki küçük dalgalanmalar ($2.31 - 2.30 \log \text{CFU g}^{-1}$) dışında hemen hemen sabit kalmıştır (Şekil 4.4). Giderim kinetiği başlangıçta omuz yapı göndermiş, ardından lineer giderim şeklinde devam etmiştir. Başlangıçtaki hafif sıcaklıklar ile kompostun substrat görevi görmesi, bu bakteri türlerinin canlı hücre sayısı için uygun koşullar oluşturmuş, giderim gerçekleştirmemiştir. Enterococci'nin canlı hücre sayıları solarizasyon uygulamasında $2.31 \log \text{CFU g}^{-1}$ iken $1.80 \log \text{CFU g}^{-1}$ aralığına 6 günde ulaşmış ve ardından tespit edilme sınırının altındaki konsantrasyonlara 12. günde ulaşmıştır. Bu indikatör bakteri türünün 12. günden itibaren tespit edilemeyen sayının altına inmesi, solarizasyon uygulamasından sonra başta sıcaklık artışı ve yanında bakteri giderimi sağlayan diğer çevresel koşullardaki farklılaşma ile açıklanabilir[16]. Bu bulguları destekleyici sonuçlar [48]'inin çalışmalarında da elde edilmiştir. Bu çalışmada $37 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de inkübasyona kıyasla ($k_{\text{maks}} = 0.05 \text{ gün}^{-1}$ ve $T_{90} = 46 \text{ gün}$), $60 \text{ }^\circ\text{C}$ uygulamasının Enterococci'nin inaktivasyonunu daha hızlı gerçekleştirmiştir ($k_{\text{maks}} = 1.2 \text{ gün}^{-1}$ ve $T_{90} = 2.1 \text{ gün}$).



Şekil 4.4. Arıtma çamuru kompostunda indikatör mikroorganizma Enterococci'nin solarizasyon uygulaması ve solarize edilmeyen kontrol uygulamasında zamana bağlı olarak inaktivasyonu.

4.5. Clostridium İnaktivasyonu

Uygulanan solarizasyon işleminin dirençli bakteri türlerinin arıtma çamuru kompostundan giderim kinetiğine etkisini belirlemek için Clostridium başka bir gösterge mikroorganizması olarak seçilmiştir. Solarizasyon süresince bakteri sayısındaki giderim oranı (Şekil 4.5.)’de gösterilmiştir. Clostridium giderim kinetiği solar uygulamada önce omuz yapı ardından lineer giderim ve sonunda kuyruk yapı göstermiştir. Bununla birlikte, solarizasyon uygulamasındaki canlı hücrede azalması, sıcaklık artışı ile pozitif korelasyon ($p = 0.01$) göstererek azalmıştır. Solarizasyon uygulaması Clostridium sayısında 3-log indirgeme sağlarken, solarize edilmemiş kontrol uygulamasında bakteri giderimi 0.7-log olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, inaktivasyon eğrilerine göre, T_{90} ve k_{max} değerleri (Tablo 4.1.), Clostridium’un solarizasyon ile sağlanan sıcaklık inaktivasyonuna incelenen diğer indikatör bakterilerden daha dirençli olduğu bulunmuştur. Bu mikroorganizmanın olumsuz çevre koşullarına direncini gösteren sigmoidal inaktivasyon eğrisi de başka araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir [49] , [6] . Diğer yandan, [50] , sıcaklığın 55, 60 ve 70 °C’ nin üzerinde yükseltildiği 5, 10 ve 30 günlük maruz kalma sürelerinin, çamurdaki Clostridium bakterisinin tamamen giderilmesini sağladığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.5. Arıtma çamuru kompostunda indikatör mikroorganizma Clostridium’un solarizasyon uygulaması ve solarize edilmeyen kontrol uygulamasında zamana bağlı olarak inaktivasyonu.

Canlı hücre sayımlarında önemli azalmalar sağlanmış olmasına rağmen, solar uygulaması, Clostridium popülasyonunu 2×10^1 CFU olarak tespit edilemeyen düzeylerinin altına indirememiştir (Şekil 4.5.). Olası neden, bu bakteri türünün, giderilmeden kalan kısımlarının adaptif özelliklerine, sıcaklık artışlarının daha hızlı olmadığı termofilik koşullara adaptasyonuna atfedilebilir. [51] , kademeli sıcaklık artışlarının, inaktivasyon eğrisinde kuyruğun varlığının gösterdiği gibi, adaptif mutasyonu uyardığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Salmonella türlerinde de sıcaklığa adapte olmuş bireylerin varlığı 30 günlük deney periyodunda 55 °C' de tutulan ahır gübresi kompostunda gözlenmiştir [52]. Bu çalışma, Clostridium sayılarındaki sıcaklık artışı ve 3-log azalma arasındaki pozitif korelasyon, solarizasyon işleminin çamur kompostu için uygun bir sanitasyon alternatifi olarak uygulanabileceğini göstermiştir.

4.6. Organik Atıkların Dezenfeksiyonu İçin Solarizasyonun Sürdürülebilir Avantajları

Belediye atıksu arıtma işlemleri, sistemli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken önemli miktarda çamur oluşturur [1] , [4]. Bu besin değeri açısından zengin çamur, bitki besin elementi ihtiyacını karşılamak ve toprağı organik maddece zenginleştirmek için kompostlamanın ardından tarımsal amaçlar için faydalı bir şekilde geri dönüşüm şeklide kullanılabilir [3]. Sanitize edilmiş arıtma çamuru kompostunun bitkisel üretime adapte edilmesi, geri dönüşüm şeklinde atık yönetimini ve arazi uygulamasını teşvik edilebilir [16], [2]. Bu bağlamda, atık bertarafı ve geniş çaplı geri dönüşüm alternatiflerinin kombine avantajları göz önüne alındığında, kompostlamanın çevre dostu solar dezenfeksiyon uygulamalarıyla entegrasyonu kapalı atık yönetimi stratejileri için çok uygun olabilir [4].

Solarizasyon, mikrobiyolojik olarak güvenli kompost üretimi için etkili bir sanitasyon seçeneğidir, ancak yöntemin, farklı patojenik mikroorganizmalar ve spor oluşturucu bakteriler gibi dirençli türleri için daha fazla test edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, sanitasyon sürecinin etkinliğinden bağımsız olarak, patojenik mikroorganizmaların neden olduğu yeniden kirlenmeyi en aza indirmek için atık

çamur gibi atık ürünler üzerinde çalışırken temel mikrobiyal ilkelerin bilinmesi de önemlidir.

Bu çalışmada, güneş enerjisini kullanan arıtma çamuru kompostu için yeni bir dezenfeksiyon alternatifi tanıtılmış ve ılıman bölgenin yaz döneminde farklı indikatör mikroorganizmalara odaklanarak performansı analiz edilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda, sistem performansını geliştirmek için, güneş radyasyon oranı, kompost nemi, CO₂, farklı çevresel koşullar bakımından analiz edilebilir. Daha yüksek performans elde edilmesini sağlayan teknik seçenekleri tanımlamak için, solarizasyon sistemindeki sıcaklık artışını ve ısı birikimini arttırmak amacıyla tasarımcılar tarafından daha ayrıntılı bir yapılandırma geliştirilebilir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, solarizasyon işleminin, *Escherichia coli*, *termotolerant koliformlar*, *Clostridium* ve *Enterococci* gibi patojenik mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerindeki etkinliği, arıtma çamuru kompostu için hijyen standartlarını karşılamak üzere araştırılmıştır. Deneysel bulgulara dayanarak, ana sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Mikrobiyolojik azalmalar, solarizasyon uygulamasının indikatör mikroorganizmaların etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlayabildiğini ve solarizasyon işlemi sırasında sıcaklık artışının mikrobiyal inaktivasyonu sağlayan ana faktör olduğunu göstermiştir.
2. Kompostlamanın ardından solarizasyon uygulaması ile *E. coli*, *termotolerant koliform* ve *Enterococci* bakterilerinin tam inaktivasyonu sağlanmış, *Clostridium* bakterisinin ise rezidüel canlı hücrelerin termofilik rejime adaptasyon özelliklerinden dolayı deney süresince tespit edilemeyen seviyeye indirilememiştir.
3. Deneysel sonuçlara ve yayınlanmış literatür bilgilerine dayanarak, solarizasyon işleminin kompostlama ile entegrasyonunun, tarımsal amaçlı kullanıma yönelik, A Sınıfı Biyokatılar için belirlenen yönetmeliklere uygun olarak, dezenfeksiyon verimliliğini ve çamur kompostunun mikrobiyolojik kalitesini arttırabileceği sonucuna varılmıştır [53].
4. Solarizasyon sisteminin uygulanması basittir, sadece güneş enerjisini plastik örtünün altında tutarak kompost materyalinin sanitizasyon aralığının üzerindeki

sıcaklıklarda ısıtmasını sağlamak ve bu sıcaklığı artışı birkaç gün ila hafta sürdürmesini içerir.

5. Yaz döneminde yüksek ortam sıcaklığı ve yoğun güneş radyasyonu, sistemin hidrotermal dezenfeksiyon performansını artırabilir ve iyileştirebilir. Bu nedenle, bu süreç, yaz mevsiminde yüksek güneş ışınımına ve yüksek sıcaklıklara sahip bölgelerde yaygın olarak uygulanabilir. Harici enerji tüketimine ihtiyaç duymaz ve bu nedenle düşük teknoloji ve çevre dostu bir sistem olarak kabul edilir.

KAYNAKLAR

- [1] Alvarenga P, Farto M, Mourinha C, Palma P (2016). Beneficial use of dewatered and composted sewage sludge as soil amendments: Behaviour of metals in soils and their uptake by plant. *Waste Biomass Valor* 7, 1189–1201.
- [2] Belloulid MO, Hamdi H, Mandi L, Ouazzani N (2017). Solar greenhouse drying of wastewater sludges under arid climate *Waste Biomass Valor* 8, 193–202.
- [3] Boudjabi S, Kribaa M, Chenchouni H (2017). Sewage sludge fertilization alleviates drought stress and improves physiological adaptation and yield performances in Durum Wheat (*Triticum durum*): A double-edged sword. *J King Saud Univ.-Sci.* In press. Doi: 10.1016/j.jksus.2017.12.012.
- [4] Davis SC, Kauneckis D, Kruse NA, Miller KE, Zimmer M, Dabelko GD (2016). Closing the loop: integrative systems management of waste in food, energy, and water systems. *J Environ Stud Sci* 6, 11–24.
- [5] Dede OH, Ozdemir S (2015). Comparison of composted biosolid substrate for containerized turfgrass production. *Environ Technol* 36, 1651–1656.
- [6] Fisher K, Phillips C (2009). The ecology, epidemiology and virulence of *Enterococcus*. *J App Microbiol* 155, 1749–1757.
- [7] Geeraerd AH, Herremans CH, Van Impe JF (2000). Structural model requirements to describe microbial inactivation during a mild heat treatment. *Int J Food Microbiol* 59, 185–209.
- [8] Geeraerd AH, Valdramidis VP, Van Impe JF (2005). GInaFiT, a freeware tool to assess non-log-linear microbial survivor curves. *Int J Food Microbiol* 102, 95–105.
- [9] Salihoglu NK, Pinarli V, Salihoglu G (2007). Solar drying in sludge management in Turkey. *Renew Energy* 32, 1661–1675.

- [10] Wolna-Maruwka A (2008). Estimation of microbiological sewage sludge subject to composting process in controlled conditions. *Pol J Environ Stud* 18, 279–288.
- [11] Oropeza MR, Cabirol N, Ortega S, Ortiz LPC, Noyola A (2001) 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.
- [12] Romdhana MH, Lecomte D, Ladevie B, Sablayrolles C (2009) Monitoring of pathogenic microorganisms contamination during heat drying process of sewage sludge. *Process Saf Environ* 87, 377–386.
- [13] Weil JD, Cutter CN, Beelman RB, LaBorde LF (2013). Inactivation of human pathogens during phase II composting of manure-based mushroom growth substrate. *J Food Protect* 76, 1393–1400.
- [14] Wu S, Nishihara M, Kawasaki Y, Yokoyama A, Matsuura K, Koga T, Ueno D, Inoue K, Someya T (2009). Inactivation of *Escherichia coli* in soil by solarization. *Soil Sci Plant Nutr* 55, 258–263.
- [15] Sossou SK, Sou M, Hijikata N, Maiga AH, Funamizu N (2016). Inactivation kinetics of indicator microorganisms during solar heat treatment for sanitizing compost from composting toilet. *J Water Environ Technol* 14, 37–46.
- [16] Ozdemir S, Aslan T, Celebi A, Dede G, Dede OH (2013). Effect of solarization on the removal of indicator microorganisms from municipal sewage sludge. *Environ Technol* 34, 1497–1502.
- [17] Al-Gheethi, A. A., Efaq, A. N., Bala, J. D., Norli, I., Abdel-Monem, M. O., Kadir, M. A. (2018). Removal of pathogenic bacteria from sewage-treated effluent and biosolids for agricultural purposes. *Applied water science*, 8(2), 74.
- [18] Yin, Z., Hoffmann, M., Jiang, S. (2018). Sludge disinfection using electrical thermal treatment: The role of ohmic heating. *Science of the Total Environment*, 615, 262–271.
- [19] Dede, G., Ozdemir, S., Dede, O. H., Altundag, H., Dundar, M. S., & Kiziloglu, F. T. (2015). Effects of sewage sludge on nutrient availability for kiwi fruits under high pH soil conditions. *Fresenius Environ Bull*, 24(5A), 1762–1766.
- [20] Ogleni N, Ozdemir S (2010). Pathogen reduction effects of solar drying and soil application in sewage sludge. *Turk J Agric For* 34, 509–515.

- [21] Koivunen, J., Siitonen, A., & Heinonen-Tanski, H. (2003). Elimination of enteric bacteria in biological–chemical wastewater treatment and tertiary filtration units. *Water research*, 37(3), 690-698.
- [22] Wichuk, K. M., & McCartney, D. (2007). A review of the effectiveness of current time–temperature regulations on pathogen inactivation during composting. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(5), 573-586.
- [23] Gea, T., Barrena, R., Artola, A., Sánchez, A. (2007). Optimal bulking agent particle size and usage for heat retention and disinfection in domestic wastewater sludge composting. *Waste Management*, 27(9), 1108-1116.
- [24] Ceustermans, A., De Clercq, D., Aertsen, A., Michiels, C., Coosemans, J., & Ryckeboer, J. (2007). Inactivation of Salmonella Senftenberg strain W 775 during composting of biowastes and garden wastes. *Journal of applied Microbiology*, 103(1), 53-64.
- [25] Elving, J., Vinnerås, B., Albiñ, A., & Ottoson, J. R. (2014). Thermal treatment for pathogen inactivation as a risk mitigation strategy for safe recycling of organic waste in agriculture. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 49(9), 679-689.
- [26] Piceno, Y. M., Pecora-Black, G., Kramer, S., Roy, M., Reid, F. C., Dubinsky, E. A., & Andersen, G. L. (2017). Bacterial community structure transformed after thermophilically composting human waste in Haiti. *PloS one*, 12(6), e0177626.
- [27] Ivanov, V. N., Wang, J. Y., Stabnikova, O. V., Tay, S. L., & Tay, J. H. (2004). Microbiological monitoring in the biodegradation of sewage sludge and food waste. *Journal of applied microbiology*, 96(4), 641-647.
- [28] Chukwudi O. Onwosi, Victor C. Igbokwe, Joyce N. Odimba, Ifeanyichukwu E. Eke, Mary O. Nwankwoala, Ikemdinachi N. Iroh, Lewis I. Ezeogu(2016). Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Management*, 190 (2017) 140.
- [29] Odey, E. A., Li, Z., Zhou, X., & Yan, Y. (2018). Locally produced lactic acid bacteria for pathogen inactivation and odor control in fecal sludge. *Journal of cleaner production*, 184, 798-805.
- [30] JunyaZhang, MeixueChen, QianwenSui, JuanTong, ChaoJiang, XuetingLu, YuxiuZhang (2016). Impacts of addition of natural zeolite or a nitrification inhibitor on antibiotic resistance genes during sludge composting. *Water Research*, Pages 339-349.

- [31] I. Marín, P. Goñib, A.M. Lasherasc, M.P. Ormada (2015). Efficiency of a Spanish wastewater treatment plant for removal potentially pathogens: Characterization of bacteria and protozoa along water and sludge treatment lines. *Ecological Engineering*, Pages 28-32.
- [32] Mc Carthy G, Lawlor PG, Coffey L, Nolan T, Gutierrez M, Gardiner GE (2011) An assessment of pathogen removal during composting of the separated solid fraction of pig manure. *Bioresource Technology*. Pages 9059-9067.
- [33] Barbour, E. K., Hussein, S. A., Farran, M. T., Itani, D. A., Houalla, R. H., & Hamadeh, S. K. (2002). Soil solarization: a sustainable agriculture approach to reduce microorganisms in chicken manure-treated soil. *Journal of Sustainable Agriculture*, 19(4), 95-104.
- [34] Berry, E. D., & Wells, J. E. (2012). Soil solarization reduces *Escherichia coli* O157: H7 and total *Escherichia coli* on cattle feedlot pen surfaces. *Journal of food protection*, 75(1), 7-13.
- [35] Vazquez-Vazquez, C., Gallegos-Robles, M. A., Salazar-Sosa, E., Orona-Castillo, I., Garcia-Hernandez, J. L., Trejo-Escareño, H. I., & Mendoza-Retana, S. S. (2015). Manure Solarization from Cattle, Goat and Poultry and its Effect on Survival of Salmonella spp. *Journal Of Pure And Applied Microbiology*, 9(1), 151-158.
- [36] Lang, N. L., Smith, S. R. (2008). Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. *Water research*, 42(8-9), 2229-2241.
- [37] Fogolari, O., Reis, C. Z. D., Philippi, L. S. (2012). Determining kinetic parameters for thermal inactivation of *Escherichia coli* in sewage sludge. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 17(3), 255-262.
- [38] Fogolari, O., Magri, M. E., Philippi, L. S. (2018). Sanitisation of sewage sludge in a solar heated reactor: inactivation of total coliforms and *Escherichia coli*. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(1), 91-100.
- [39] Thomas, C., Idler, C., Ammon, C., Herrmann, C., & Amon, T. (2019). Inactivation of ESBL-/AmpC-producing *Escherichia coli* during mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of chicken manure. *Waste Management*, 84, 74-82.
- [40] ISO (2014). 9308/1 Water quality- enumeration of. *Escherichia coli* Membrane filtration method. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.

- [41] ISO (2000). 7899-2 Water quality-Detection and enumeration of intestinal enterococci. Part 2: Membrane filtration method. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- [42] ISO (2014). 9308/1 Water quality- enumeration of *Clostridium perfringens* and coliform bacteria. Part 1: Membrane filtration method. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- [43] McKellar RC, Lu X (Eds) (2003). Modeling microbial responses in food. CRC Series in Contemporary Food Science, Boca Raton, FL, USA.
- [44] Sant'Ana AS (Eds) (2016). Quantitative Microbiology in Food Processing: Modeling the Microbial Ecology, John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK.
- [45] Al-Karaghoul, A. A. and Al-Kayssi, A. W. 2001. Influence of soil moisture content on soil solarization efficiency. *Renew. Energy*, 24: 131–144.
- [46] Singh R, Kim J, Shepherd M.W, Luo, F, Jiang, X (2011). Determining thermal inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 in fresh compost by simulating early phases of the composting process. *Appl Environ Microbiol* 77, 4126–4135.
- [47] Watcharasukarn M, Kaparaju P, Steyer JP, Krogfelt KA, Angelidaki I (2009). Screening *Escheria coli*, *Enterococcus faecalis*, and *Clostridium perfringens* as indicator organism in evaluating pathogen reducing capacity in biogas plants. *Environ Microbiol* 58, 221–2230.
- [48] Klein M, Brown L, Ashbolt NJ, Stuetz RM, Roser DJ (2011). Inactivation of indicators and pathogens in cattle feedlot manures and compost as determined by molecular and culture assays. *Fems Microbiol Ecol* 77, 200–210.
- [49] Viau E, Peccia J (2009). Evaluation of the enterococci indicator in biosolids using culture-based and quantitative PCR assays. *Water Res* 43, 4878–4887.
- [50] Usui M, Kawakura M, Yoshizawa N, San LL, Nakajima C, Suzuki Y, Tamura Y (2017). Survival and prevalence of *Clostridium difficile* in manure compost derived from pigs. *Anaerobe* 43, 15–20.
- [51] Miller FA, Gil MM, Brandao TRS, Teixeira P, Silva CLM (2009). Sigmoidal thermal inactivation kinetics of *Listeria innocua* in broth: influence of strain and growth phase. *Food Control* 20, 1151–1157.

- [52] Shepherd Jr MW, Singh R, Kim J, Jiang X (2010). Effect of heat-shock treatment on the survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* Typhimurium in dairy manure co-composted with vegetable wastes under field conditions. *Bioresour Technol* 101, 5407–5413.
- [53] Sanin FD, Clarkson WW, Vesilind PA (2011). *Sludge engineering: the treatment and disposal of wastewater sludges*. Lancaster, PA, USA. DEStech Publications, Inc.

ÖZGEÇMİŞ

Müşerref SAZAK 01.05.1984 yılında Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2002 yılında Yetmişbeşinci Yıl Sağlık Meslek Lisesinden Anestezi Teknisyenliği bölümünden mezun oldu. 2002 yılında Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde başladığı üniversite eğitimine 2004 yılında Anestezi teknisyeni olarak Çorum, Osmancık ilçesine atandığı için ara vermek durumunda kaldı. 2013 yılında tekrar Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde eğitim hayatına kaldığı yerden devam etmiştir. 2016 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2016 yılında, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Enstitü Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.