



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL BİYOTEKNOLOJİ
ANABİLİM DALI



**ZEYTİNYAĞI BAZLI AYVA ÇEKİRDEĞİ VE
ALOE VERA HİDROJELİ İÇEREN
NANOEMÜLJELİN MISIR SİLAJI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

SENA GÜLTEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2026



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL BİYOTEKNOLOJİ
ANABİLİM DALI



**ZEYTİNYAĞI BAZLI AYVA ÇEKİRDEĞİ VE
ALOE VERA HİDROJELİ İÇEREN
NANOEMÜLJELİN MISIR SİLAJI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

SENA GÜLTEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Gökhan FİLİK

KIRŞEHİR

2026

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.../.../2026
Sena GÜLTEKİN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ	I
TEŞEKKÜR	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TABLolar DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
3. MATERYAL VE METOT	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Ayva çekirdeği	17
3.1.2. Aloe vera	17
3.1.3. Zeytinyağı	18
3.1.4. Silaj materyali	18
3.1.5. Materyallerin hazırlanması	19
3.1.5.1. Ayva çekirdeği müsilajının hazırlanması	19
3.1.5.2. Aloe vera jelinin hazırlanması	20
3.1.5.3. Zeytinyağı	20
3.1.5.4. Nanoemülsiyon çözeltinin hazırlanması	20
3.1.5.5. Silaj yapım aşaması	21
3.2. Metot	21
3.2.1. Nanoemülsiyon Analizleri	21
3.2.1.1. Nanoemülsiyon çözeltinin pH analizi	21
3.2.1.2. Nanoemülsiyon çözeltinin antioksidan aktivite tayini	22
3.2.1.3. Nanoemülsiyon çözeltinin renk analizi	23
3.2.1.4. Nanoemülsiyon çözeltinin yoğunluk analizi	23
3.2.1.5. Nanoemülsiyon çözeltinin partikül boyutu analizi	23
3.2.1.6. Nanoemülsiyon çözeltinin zeta potansiyel analizi	24
3.2.2. Silaj Analizleri	24
3.2.2.1. Silaj Kimyasal Analizleri	24
3.2.2.1.1. Kuru madde	24
3.2.2.1.2. Ham kül	25
3.2.2.1.3. Ham yağ	25
3.2.2.1.4. Ham protein	25
3.2.2.1.5. ADF, NDF, Ham Selüloz	26
3.2.2.1.6. Toplam çözünebilir maddeler	29
3.2.2.1.7. Aerobik stabilite	29
3.2.2.2. Silaj Hesaplama Analizleri	29
3.2.2.2.1. Hesaplama ile belirlenen parametreler	29
3.2.2.2.2. Metabolize edilebilir enerji ve protein değeri hesaplamaları	30
3.2.2.2.3. Nispi yem değeri ve nispi yem kalitesi hesaplamaları	30
3.2.2.3. Silaj Fiziksel Analizleri	31
3.2.2.3.1. Sıcaklık analizi	31
3.2.2.3.2. Renk analizi	31
3.2.2.3.3. pH analizi	31
3.2.2.4. Silaj Mikrobiyolojik Analizleri	32

3.2.2.4.1. <i>LAB sayımı</i>	32
3.2.2.4.2. <i>Maya sayımı</i>	32
3.2.3. İstatistiksel Analizler	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Nanoemülsiyon çözeltisine ait bulgular ve tartışma	33
4.2. Silaja ait Bulgular ve Tartışma	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
5.1. Sonuç	51
5.2. Öneriler	51
6. KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	61

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca gösterdiği sakinliği, sabrı ve duruşuyla bana her zaman örnek olan, bir bilim insanının nasıl çalışması gerektiğini hem sözleriyle hem de davranışlarıyla bana öğreterek ilham kaynağım olan değerli danışmanım Doç. Dr. Gökhan FİLİK'e, elini hiçbir zaman üzerimden çekmeyen bilgileriyle hem lisans hem de yüksek lisans sürecimde destek olan Doç. Dr. Ayşe Gül FİLİK'e ve analiz süreçlerim boyunca bilgilerini ve tecrübelerini eksik etmeyip destek olan Doç. Dr. Şefik TEKLE'ye ve Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ÇAYAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, destekleri, emekleri ve inançlarıyla bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan kıymetli babam Harun KARAKUŞ'a, kıymetli annem Fatma Emel KARAKUŞ'a, sevgili eşim Ziraat Mühendisi Kürşat GÜLTEKİN'e, yol arkadaşım Gıda Mühendisi Esra ŞİŞMAN'a, Uzman Biyolog Mikail YENİÇERİ'ye, Yüksek Ziraat Mühendisi Can ASLAN'a, Nurgül NURAL'a, Emre BADAR'a ve yüksek lisans tezimin araştırma ve yazım aşamalarındaki tüm zorluklara rağmen motivasyonunu kaybetmeyen, bu tezin ortaya çıkmasında en büyük pay sahibi olan kendime teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından ZRT.A4.24.011 proje numarası kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca silaj çalışmalarındaki maddi desteklerinden dolayı Filik Nanobioagrotech Ar-Ge ve Teknoloji A.Ş.'ye ve son olarak yüksek lisans tezime katkı sağlayan ve görüşlerini paylaşan değerli jüri üyelerine teşekkür ederim.

Nisan, 2026

Sena GÜLTEKİN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEYTİNYAĞI BAZLI AYVA ÇEKİRDEĞİ VE ALOE VERA HİDROJELİ İÇEREN NANOEMÜLJELİN MISIR SİLAJİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ Sena GÜLTEKİN

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ TARIMSAL BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Gökhan FİLİK
Yıl: 2026 Sayfa: 63
Jüri: Doç. Dr. Gökhan FİLİK
Prof. Dr. Mehmet Ali BAL
Dr. Öğr. Üyesi Emre UĞURLUTEPE

Bu tez çalışmasında, zeytinyağı bazlı ayva çekirdeği müsilağı ve aloe vera hidrojelini kullanarak hazırlanan nanoemülsiyonların fizikokimyasal özellikleri (pH, renk, yoğunluk, partikül boyutu, zeta potansiyeli) ve antioksidan aktiviteleri belirlenmiş en etkili formülasyon olan zeytinyağı bazlı ayva çekirdeği müsilağı ve aloe vera hidrojelinden üretilen nanoemüljin (AZA) farklı dozlarda mısır silajına püskürtülerek silajının fermentasyon kalitesi, besin değeri, aerobik stabilitesi ve mikrobiyolojik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma grupları MK+: musluk suyu+mısır silajı (kontrol), MK-: susuz kontrol (yalnız mısır), M0,5: 0,5 ml AZA+mısır, M1: 1 ml AZA+mısır, M2: 2 ml AZA+mısır, M4: 4 ml AZA+mısır şeklinde oluşturulmuştur. Araştırma grupları 6 grup, 8 tekerrür olmak üzere toplam 48 adet silaj ile oluşturulmuştur. Hazırlanan silajlar laboratuvar ortamında 20±5°C'de karanlık bir ortamda 90 gün sürecek olan fermentasyon sürecine bırakılmıştır. Silolama döneminin sonunda açılan silajlara kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik analizler uygulanmıştır. Açım işlemleri tamamlanan silajlar 5 günlük aerobik stabilite testine tabi tutulmuştur. Araştırma sonucunda elde edilen bulgular incelendiğinde, özellikle 1 ml/kg ve 2 ml/kg dozlarında kullanılan AZA ham protein içeriğini önemli ölçüde artırmış, ham selüloz, ADF ve NDF değerlerini düşürmüş, sindirilebilir ham protein (SHP), toplam sindirilebilir besin maddeleri (TSM) ve net enerji değerlerini (NE_L, NE_M, NE_G) kontrol gruplarına göre belirgin şekilde yükseltmiştir. AZA nanoemülsiyonu uygulanan gruplarda aerobik stabilite sonrası kuru madde kaybı azalmış ve pH değerleri daha düşük seviyelerde kalmıştır. Mikrobiyolojik analizlerde laktik asit bakterisi, maya ve küf sayıları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir olumsuz etki gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoemülsiyon, Ayva çekirdeği, Aloe vera, Silaj fermentasyonu, mısır, silaj

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

EFFECTS OF OLIVE OIL-BASED NANOEMULGEL CONTAINING QUINCE SEED AND ALOE VERA HYDROGEL ON CORN SILAGE **Sena GÜLTEKİN**

**KIRŞEHİR AHI EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökhan FİLİK
Year: 2026 **Pages:** 63
Juries: Assoc. Prof. Dr. Gökhan FİLİK
Prof. Dr. Mehmet Ali BAL
Asst. Prof. Dr. Emre UĞURLUTEPE

In this study, the physicochemical properties (pH, color, density, particle size, zeta potential) and antioxidant activities of nanoemulsions prepared from olive oil-based quince seed mucilage and aloe vera hydrogel were determined. A nanoemulsion produced from olive oil-based quince seed mucilage and aloe vera hydrogel (AZA) was sprayed onto corn silage at different doses to test the fermentation quality, nutritional value, aerobic stability, and microbiological properties of corn silage. The experimental groups were as follows: MK+: tap water + corn silage (control), MK-: dry control (corn only), M0.5: 0.5 mL AZA + corn, M1: 1 mL AZA + corn, M2: 2 mL AZA + corn, and M4: 4 mL AZA + corn. The experimental groups were established with a total of 48 silage samples, comprising 6 groups and 8 replicates. The prepared silages were subjected to a 90-day fermentation process in a laboratory environment at 20±5°C in a dark setting. At the end of the fermentation period; chemical, physical, and microbiological analyses were performed on the opened silage samples. The silage samples were subjected to a 5-day aerobic stability test after the opening process. It was observed that 1 ml/kg and 2 m/kg doses increased crude protein content but reduced crude cellulose, ADF, and NDF contents significantly, meanwhile increased digestible crude protein (DCP), total digestible nutrients (TDN), and net energy values (NE_L, NE_M, NE_G) compared to control group. The groups treated with AZA nanoemulsion reduced dry matter loss and kept pH levels at lower values. Microbiological analyses revealed no statistically significant adverse effect on the counts of lactic acid bacteria, yeast, and mold.

Keywords: Nanoemulsion, Quince seeds, Aloe vera, Silage fermentation, corn, silage

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Organik tarım alanlarının toplam tarım alanları içerisindeki oranı	2
Tablo 4.1. AZA nanoemülsiyon çözeltinin fizikokimsayal ve antioksidan analizi	33
Tablo 4.2. Açım sonrası silajlara ait kimyasal analiz sonuçları	39
Tablo 4.3. Silajların SHP ve enerji içerikleri	44
Tablo 4.4. Silajların yem kalite özellikleri	44
Tablo 4.5. Silajlara ait fiziksel analiz sonuçları	46
Tablo 4.6. Silajların açım zamanındaki mikroorganizma sayım sonuçları	46
Tablo 4.7. Silajlara aerobik stabilite sonrası pH ₂ , CO ₂ ve mikroorganizma sayım sonuçları ...	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Ayva çekirdeklerinin laboratuvara getirilmesi	17
Şekil 3.2. Aloe vera jelinin çıkarılması	18
Şekil 3.3. Silajların hasat edilme aşaması.....	19
Şekil 3.4. Ayva çekirdeği müsilağı aşaması.....	19
Şekil 4.1. AZA nanoemülsiyon çözeltinin partikül boyutu değerleri	36
Şekil 4.2. AZA nanoemülsiyon çözeltinin zeta potansiyel değeri	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
<i>DPPH</i>	: 2,2-difenil 1-pikri hidrazil
<i>g</i>	: Gram
<i>mg</i>	: Miligram
<i>ml</i>	: Mililitre
<i>rpm</i>	: Revolutions per minute (Dakika başına devir)
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
%	: Yüzde
Kısaltmalar	Açıklama
$\text{NH}_3\text{-N}$	: Amonyak Azotu
ADF	: Asit Deterjanda Çözünemeyen Lif
BM	: Birleşmiş Milletler
HCl	: Hidroklorik Asit
AK	: Kontrol (antioksidan içermeyen) örneğin absorbansı
LOK	: Lif Olmayan Karbonhidrat
mV	: Milivolt
ppm	: Milyonda bir
nm	: Nanometre
Nano-Se	: NanoSelenyum
NE_L	: Net Enerji Laktasyon
NE_M	: Net Enerji Yaşama Payı
NE_G	: Net Enerji Verim Payı
NYD	: Nispi Yem Değeri
NYK	: Nispi Yem Kalitesi
NFE	: Nitrogen Free Extract (Nitrojen İçermeyen Ekstrakt)
NDF	: Nötr Deterjanda Çözünemeyen Lif
OM	: Organik Madde
AÖ	: Örneğin (antioksidan içeren) absorbansı
SHP	: Sindirilebilir Enerji
SKM	: Sindirilebilir Kuru Madde
H_2SO_4	: Sülfürik Asit
TK	: Toplam Karbonhidrat
TSM	: Toplam Sindirilebilir Madde

1. GİRİŞ

Tarım sektörü, insanlığın en temel geçim kaynaklarından biri olarak başlamış ve zaman içinde önemli değişikliklere uğramıştır. Geleneksel tarım yöntemleri insan ve hayvan gücüyle şekillenirken, Sanayi Devrimi tarımsal üretime yaygın bir mekanizasyon getirmiş ve verimlilik ve üretim kapasitesinde önemli artışlara yol açmıştır. Günümüzde bu süreç, veriye dayalı yönetimi ifade eden Tarım 4.0'ın ötesine geçerek, teknolojik optimizasyon ve çevresel sürdürülebilirliğe odaklanan Tarım 5.0'a doğru kaymaktadır. Bu geçişle birlikte, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir üretim kavramı, teknoloji kadar tarımsal üretimde de önem kazanmıştır. Bu bağlamda, kimyasal girdileri ortadan kaldırma ve biyolojik çeşitliliği koruma ilkeleriyle organik tarım, Tarım 5.0'ın “insan ve çevre odaklı” vizyonuyla tamamen uyumludur (Canton, 2021).

Akıllı sensör teknolojileri, nesnelerin interneti ve yapay zekâ algoritmaları, organik tarım süreçlerini daha şeffaf, kontrol edilebilir ve yüksek standartlarda kalite yönetimine tâbi hâle getirmektedir. Öğütülmüş örneklerden yaklaşık 0,5 g alınarak özel analiz torbalarına yerleştirilmiş ve torbalar kapatıldıktan sonra analiz cihazına aktarılmıştır. Hekzan kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon sonucunda, işlem öncesi ve sonrası tartım farkı dikkate alınarak ham yağ oranı belirlenmiştir. Öğütülmüş örneklerden yaklaşık 0,5 g alınarak özel analiz torbalarına yerleştirilmiş ve torbalar kapatıldıktan sonra analiz cihazına aktarılmıştır. Hekzan kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon sonucunda, işlem öncesi ve sonrası tartım farkı dikkate alınarak ham yağ oranı belirlenmiştir. Bununla birlikte, dijital dönüşüm, organik üretimi marjinal bir alternatif olmaktan çıkarıp geleceğin ana akım sürdürülebilir tarım modeli haline getirmektedir. Bu hem üreticiler hem de tüketiciler için güvenilir gıda zincirleri oluştururken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de desteklemektedir. Bu gelişmenin bir göstergesi olarak, mevcut veriler organik tarımın dünya çapında 138 ülkede, 700.000'den fazla işletmede ve 30,4 milyon hektarlık arazide uygulandığını göstermektedir (Yussefi-Menzler ve ark., 2010). Avrupa kıtası, organik tarım alanları, işletme sayısı, ürün çeşitliliği ve pazar payı açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Ancak Türkiye organik tarım üretim faaliyetleri açısından Avrupa ülkeleriyle karşılaştırıldığında henüz istenen düzeyde değildir. Avrupa ülkelerinde bu oran %4 iken, Türkiye'de %1,6'dır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Bu durum, ekonomisi büyük ölçüde tarıma bağımlı olan Türkiye için önemli bir sorundur. Hızla büyüyen

organik ürün pazarından daha büyük bir pay elde etmek için, organik tarım alanlarımız ve ürün çeşitliliğimiz artırılmalı, küçük ölçekli işletmeler yerine büyük işletmeler kurulmalı ve organik ürünlerin ihracatında mevcut sorunlar çözülmelidir. Bu noktada, pazara giren ürün sayısının yetersizliği sorunu ele alınmalıdır.

Tablo 1.1. Organik tarım alanlarının toplam tarım alanları içerisindeki oranı (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023)

Yıllar	Oranlar (%)
2010	1.58
2011	1.81
2012	2.20
2013	1.95
2014	2.06
2015	2.03
2016	2.00
2017	2.32
2018	2.70
2019	2.20
2020	1.60
2021	1.60
2022	1.50

Tarım 4.0'ın temelini oluşturan dijital teknolojiler, biyoteknoloji ve nanoteknoloji ile birleştiğinde, tarımsal üretimde hem verimliliği artıran hem de çevresel etkileri azaltan yenilikçi uygulamaların önünü açmıştır. Günümüzde biyoteknoloji, canlı sistemlerden yararlanarak tarım, sağlık ve üretim alanlarında önemli katkılar sağlayan disiplinlerden biri hâline gelmiştir. Özellikle bitkisel üretimde hastalık, kuraklık ve zararlı etkenlere karşı dayanıklılığın artırılması, verim kayıplarının azaltılmasında etkili olmaktadır. Bunun yanında biyoteknolojik uygulamalar, sürdürülebilir üretim anlayışının gelişmesine ve genetik kaynakların korunmasına destek vermektedir.

Teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte mikroskobik düzeyde daha küçük yapıların incelenebilmesi mümkün olmuş ve bu durum nanoteknoloji çalışmalarına ivme kazandırmıştır. Nanoteknoloji, nano ölçekteki materyallerin üretilmesi ve farklı alanlarda kullanılmasını amaçlayan bir bilim dalıdır. Nano boyuttaki maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişiklik göstermesi, bu alanı bilimsel açıdan önemli hâle getirmektedir (TÜSİAD, 2008). Biyoteknoloji ile nanoteknolojinin ortak çalışma alanı olarak ortaya çıkan nanobiyoteknoloji ise son yıllarda hızlı gelişim gösteren disiplinler arası araştırma alanlarından biri olmuştur.

Nanobiyoteknoloji, insanların yaşam kalitesini artırmak amacıyla biyolojik olayları moleküler düzeyde inceler.

Nanoteknoloji, tarımsal üretimde verim artışını desteklemenin yanı sıra çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunan önemli bir teknoloji alanıdır. Özellikle nanoteknoloji gübre ve pestisitlerin kontrollü salınımını sağlayarak kimyasal girdilerin kullanımını azaltmakta, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesinin önüne geçmektedir. Bu teknolojilerin atık yönetimi ve döngüsel tarım uygulamalarıyla bütünleştirilmesi sonucunda tarımsal sistemlerde kapalı döngü bir yapı oluşturulmakta, kaynak kullanım etkinliği artırılmaktadır. Tarımsal atıkların biyoteknolojik yöntemlerle değerlendirilmesi, organik gübre ve biyogaz üretimi yoluyla hem enerji verimliliğinin artırılmasına hem de çevresel kirliliğin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşım, tarımsal artıkların yalnızca bertaraf edilmesi yerine katma değerli ürünlere dönüştürülmesini mümkün kılmaktadır. Tarım 4.0 kapsamında biyoteknoloji, nanoteknoloji ve akıllı atık yönetimi sistemlerinin entegrasyonu ise tarımsal üretim süreçlerini dijitalleşmenin ötesine taşıyarak çevresel sürdürülebilirliği önceleyen bütüncül bir yapıya dönüştürmektedir (Klerkx ve ark., 2019). Hayvancılık sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli unsurlardan biri, kaynakların etkin kullanımına katkı sağlayan silo yemleridir. Özellikle gelişmiş ülkelerde et ve süt sığırları başta olmak üzere geviş getiren hayvanların dengeli, yeterli ve ekonomik biçimde beslenmesinde silaj, temel kaba yem kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir (Kung Jr ve ark., 2018). Türkiye’de üretilen toplam silaj miktarının büyük bölümünü, %80’den fazla pay ile mısır silajı oluşturmaktadır (Konca ve ark., 2005). Ülkemizde üretilen silo yemlerinin önemli bir kısmı süt ineklerinin beslenmesinde kullanılırken, çok az bir kısmı ise sığır besisinde kullanılmaktadır (Konca ve ark., 2005). Mısır silajı; yüksek enerji içeriğine sahip olması ve hayvanlar tarafından iştahla tüketilmesi nedeniyle silajlık yem bitkileri arasında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca üretim maliyetleri bakımından değerlendirildiğinde, bir ton mısır silajı kuru maddesinin diğer birçok yem bitkisine kıyasla daha ekonomik şekilde elde edilebildiği belirtilmektedir. Bununla birlikte, yalnızca verim artışına odaklanılmaması, kaliteli silaj üretiminin de dikkate alınması gerekmektedir. Ancak, mısır silajı üretiminde, miktarın artırılması ile kaliteli mısır silajı elde edilmesine de özen göstermek gerekmektedir. Ayrıca, silaj yapımı sırasında ve silolamadan sonra uyulması gereken kurallara dikkat edilmediğinde besin madde kayıplarının %50’nin üzerine çıkabildiği bildirilmektedir (Konca ve ark., 2005). Nitekim, mısır silajına katılan formik asidin maya popülasyonunu azaltarak aerobik stabiliteyi artırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, organik asit bazlı katkı maddelerinin silaj fermentasyonu üzerinde

önemli bir olumsuz etkiye sahip olmadığı, aksine silajın aerobik stabilitesini artırdığı bildirilmiştir (Erten ve ark., 2022; Filya ve Sucu, 2005). Bununla birlikte, bazı çalışmalar katkı maddelerinin aerobik stabilite üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu da göstermektedir (Altınçekiç ve Filya, 2018).

Silaj kalitesinin korunmasında katkı maddelerinin önemi açık olmakla birlikte, son yıllarda bu alanda daha yenilikçi taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesine de odaklanılmaktadır. Bu bağlamda, nanoemülsiyon teknolojisi dikkat çekmektedir. Nanoemülsiyon sistemleri, geleneksel emülsiyonlara göre daha kararlı bir yapı göstermekte ve daha fazla aktif madde taşıyabilme özelliği sayesinde bileşenlerin kontrollü ve etkili biçimde iletilmesine katkı sağlamaktadır. Nitekim tarımsal alanda nanoemülsiyon temelli yeni teknolojik ürünlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar giderek artmaktadır (Güngör ve ark., 2013).

Bu teknolojik yaklaşımların hayvan besleme alanındaki potansiyeli de çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Shi ve ark. (2011) tarafından yürütülen çalışmada, tekelerin rasyonuna 0.3 ppm düzeyinde nanoselenyum (nano-Se) eklenmesinin serum glutatyon peroksidaz (GSHPx), süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz enzim aktivitelerinde artış sağladığı; bunun yanı sıra tam kan, serum ve bazı dokulardaki selenyum birikiminin daha yüksek seviyelere ulaştığı belirtilmiştir. Bu bulgular, nano boyuttaki uygulamaların biyoyararlanım ve etkinlik açısından önemli avantajlar sağlayabileceğini göstermektedir.

Araştırmacılar, yem katkı maddesi olarak kullanılan elementel nano-Se'un, inorganik ve organik selenyum kaynaklarına kıyasla teke yetiştiriciliğinde daha etkin sonuçlar sağlayabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Shi ve ark. (2011), koyun rasyonlarına 3 ppm düzeyinde nano-Se ilavesinin rumen pH'sı, amonyak N düzeyi ve toplam uçucu yağ asitleri konsantrasyonunda azalmaya neden olduğunu; buna karşılık propiyonat konsantrasyonunda ise önemli düzeyde artış meydana geldiğini ($P<0.01$) bildirmiştir. Son yıllarda, silaj üretiminde nanoteknolojinin uygulanmasına yönelik araştırmalarda artış görülmektedir. Özellikle çalışmalar nanopartiküllerin silaj fermentasyonu ve mikrobiyal bileşim üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Zhang ve ark., (2025) çalışmalarında çinko oksit nanopartiküllerinin mısır silajındaki zararlı mikroorganizmaları bastırdığını ve mikrobiyal kaliteyi iyileştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, nano-gümüş içeren ambalaj malzemelerinin silaj kalitesini koruduğu ve fermentasyon üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu bulgular,

nanoteknolojik yaklaşımların silaj kalitesini artırmak için potansiyel bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Nanoteknolojik uygulamaların sunduğu avantajlar örneğin geniş yüzey alanı, kontrollü salım ve artan biyoyararlanım bu sistemler aracılığıyla doğal kaynaklı biyoaktif bileşiklerin kullanılmasına olan ilgiyi artırmıştır. Bu bağlamda, ayva çekirdeği, bitki kaynaklı malzemeler arasında dikkate değer doğal kaynaklardan biridir. Ayva çekirdeği özellikle müsilaaj yapısı içinde polisakkaritler, fenolik bileşikler ve çeşitli biyoaktif bileşenler içerir. Ayva çekirdeğinin müsilaaj yapısı, yüksek su tutma kapasitesine sahiptir ve hidrojel benzeri özellikler sergiler. Bunula birlikte farmasötik ve gıda uygulamaları için değerlendirilmektedir. Çeşitli çalışmalarda, ayva çekirdeği özlerinin antioksidan aktiviteye sahip olduğu ve serbest radikal temizleyici etkiler sergilediği bildirilmiştir. Ayrıca, bazı çalışmalar, içerdikleri biyoaktif bileşenler nedeniyle, ayva çekirdeklerinin anti-inflamatuar ve yara iyileştirici potansiyele sahip olduğunu öne sürmektedir (Al-Snafi, 2016; Altuntaş, 2023).

Çekirdeklerden elde edilen ekstraktlarda yüksek fenolik asit, izoflavonoid, kateşin, antosiyanidin, fitoaleksin ve tanen içeriğinden kaynaklanan antioksidan özellikler bildirilmiştir. Antioksidan içeriği sayesinde polifenoller yardımıyla vücudu serbest radikallere karşı koruyarak oluşabilecek bu riskleri azaltır. Bu antioksidanlar, metabolik stres ve inflamasyonu azaltmaya yardımcıdır. Anti-inflamatuar özelliği sayesinde eklem ağrılarını hafifletmeye ve iltihaplı durumları azaltmaya yardımcı olur (Troszyńska ve ark., 1997).

Yağ ve jel fazlarını birlikte içeren sistemlerde, sıvı-sıvı temelli nanoemülsiyon teknolojilerinin kullanım potansiyelinin daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Bu özelliklere sahip doğal materyallerden biri olan Aloe vera, tarihsel süreç boyunca farklı kültürlerde yaygın biçimde kullanılan önemli bir fitoterapötik bitki olarak öne çıkmaktadır. Zengin biyoaktif bileşen içeriği sayesinde günümüzde farmasötik, kozmetik ve gıda alanlarında geniş bir araştırma konusu haline gelmiş ve doğal bileşikler içerisinde dikkat çeken bitkiler arasında yer almıştır (Radha ve Laxmipriya, 2015; Yaghobi ve ark., 2021). Aloe vera, dünya genelinde kullanım alanı giderek genişleyen ve endüstriyel açıdan önem kazanan bitkiler arasında yer almaktadır. Ticari olarak jel ve toz formunda üretilebilen bu bitki; sağlık alanının yanı sıra kozmetik ve gıda endüstrisinde de yaygın biçimde kullanılmaktadır (Eshun ve He, 2004; Añibarro-Ortega ve ark., 2019). Aloe vera'nın yapraklarda bulunan müsilaajlı jel, başta polisakkaritler olmak üzere çeşitli bileşikler açısından zengindir. Daha önce yapılan

çeşitli çalışmalarda Aloe vera'nın antitümöral, antibakteriyel, antidiyabetik, antifungal, antiviral ve antiseptik özellikler gösterdiği; ayrıca immün sistemi düzenleyici, laksatif etki sağlayıcı ve doku yenilenmesini destekleyici nitelikleriyle çeşitli fizyolojik sistemler üzerinde olumlu etkiler ortaya koyduğu bildirilmektedir (Reuter ve ark., 2008; Sahu ve ark., 2013). Bu gereklilik, aktif bileşenlerin hedef dokuya uygun şekilde taşınmasını ve kontrollü salınımını sağlayabilen gelişmiş taşıyıcı sistemlere olan ilgiyi artırmıştır. Nitekim, son yıllarda nanoemülsiyon sistemleri, biyoyararlanımı artırma ve aktif bileşenleri stabilize etme potansiyelleri nedeniyle yara iyileşmesi alanında dikkat çekmiştir. Nanoemülsiyon yönteminde, iki fazdan biri genellikle hem taşıyıcı rolünü hem de biyolojik aktiviteye katkıda bulunan rolü oynayan yağ fazıdır.

Bitkisel yağlar arasında zeytinyağı (Olive oil), ülkemizdeki yüksek üretim potansiyeli ve zengin biyoaktif bileşik içeriği nedeniyle özellikle öne çıkmaktadır. Zengin fenolik bileşimi sayesinde zeytinyağı güçlü antioksidan özellikler sergiler ve oksidatif stresi azaltmaya yardımcı olarak hücrel hasarı önlemede ve yara iyileşme sürecini desteklemede önemli bir rol oynar. Bu özellikler, zeytinyağını hem beslenme hem de farmasötik uygulamalar için değerli bir bileşen haline getirir (Gorzynik-Debicka ve ark., 2018; Servili ve ark., 2004).

Zeytinyağının sağlık üzerindeki olumlu etkileri, büyük ölçüde tekli doymamış yağ asitleri, özellikle oleik asit, E vitamini ve fenolik bileşikler içeriğine atfedilir. Akdeniz diyetinin temel bir bileşeni olan zeytinyağı, bu bileşenler sayesinde kardiyovasküler hastalık riskini azaltma ve anti-inflamatuar etkileri destekleme ile ilişkilendirilir. Kimyasal bileşimi incelendiğinde, zeytinyağının esas olarak trigliseritlerden (doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri) ve daha az ölçüde trigliserit olmayan bileşenlerden (fenolikler, tokoferoller, steroller ve pigmentler) oluştuğu görülmektedir (Boskou, 2015; Covas ve ark., 2006).

İnsan ve hayvanlarda görülen hastalıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılan antibiyotiklerin zamanla direnç gelişimine yol açması, yeni antimikrobiyal ajanların geliştirilmesi ve alternatif çözümlerin araştırılmasını gerekli hâle getirmiştir. Bununla birlikte antibiyotikler uzun yıllar boyunca hayvan beslemede büyümeyi destekleyici yem katkısı olarak kullanılmış, ancak bakteriyel direnç oluşumu ve hayvansal ürünlerde kalıntı riski nedeniyle 2006 yılından itibaren Avrupa Birliği ülkelerinde ve Türkiye'de kullanımları yasaklanmıştır (Union, 2003). Bu gelişme, antibiyotiklere alternatif olarak doğal ve güvenli yem katkı maddelerine yönelik araştırmaların artmasına yol açmıştır.

Bu bağlamda, bitkisel kaynaklı doğal biyoaktif bileşikler ile bitkisel yan ürünlerden elde edilen antimikrobiyal özellikli fenolik maddelere olan ilgi giderek yükselmiştir (Basmacıoğlu ve ark., 2010). Antioksidanlar ise gıdalarda temel bileşen olan lipidlerin oksidatif bozulmasını önleyerek ürün kalitesinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Sadece gıda sektöründe değil, yem endüstrisi ve hayvan besleme alanında da antioksidan kullanımı yaygındır. Yemlerde yağ oksidasyonunu önlemek veya geciktirmek amacıyla kullanılan bu bileşikler, hayvanlarda oksidatif stresin olumsuz etkilerini azaltmanın yanı sıra et ve yumurta gibi hayvansal ürünlerin lipid stabilitesini artırarak raf ömrünü uzatmakta ve günümüzde “fonksiyonel gıda” üretimine katkı sağlamak amacıyla rasyonlara ilave edilmektedir. Uzun yıllar boyunca BHA (butil hidroksianisol), BHT (butil hidroksitoluen), propil gallat (PG) ve tersiyer bütül hidrokinon (TBHQ) gibi sentetik antioksidanların yanı sıra α - tokoferol asetat, β -karoten ve askorbik asit (C vitamini) gibi doğal antioksidanlar da gıda ve yem sektöründe yaygın olarak kullanılmıştır (Basmacıoğlu ve ark., 2010).

Bu doğrultuda, yapılan fizikokimyasal ve antioksidan analizler sonucunda en uygun özelliklere sahip nanoemülsiyon formülasyonu belirlenmiş ve bu formülasyon esas alınarak silaj uygulamalarında kullanılacak katkı oranları optimize edilmiştir. Belirlenen farklı konsantrasyonlardaki nanoemülsiyon uygulamalarının mısır silajının fermentasyon özellikleri, pH değişimi, aerobik stabilitesi, CO₂ üretimi ve mikrobiyal gelişimi üzerindeki etkileri sistematik bir yaklaşımla incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, nanoemülsiyon katkısının silaj kalitesi, antioksidan kapasite ve fermentasyon dinamikleri üzerindeki rolü kapsamlı olarak ortaya konmuş; böylece hem literatüre katkı sağlanması hem de silaj teknolojilerinde yenilikçi uygulamalara bilimsel bir temel oluşturulması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Modern teknolojiadaki ilerlemelere paralel olarak günümüzde silaj üretiminde kullanılabilecek katkı maddelerinin çeşitliliği de artış göstermiştir. Silaj katkı maddeleri farklı şekillerde sınıflandırılabilmeyle birlikte, ticari olarak üretilenler genel olarak bakteriyel inokulantlar, enzimler, protein olmayan azotlu bileşikler, şeker kaynakları, asitler ve asit tuzları şeklinde gruplandırılmaktadır (Muck, 1993).

Bu tez kapsamında, konuya ilişkin yurt içi ve yurt dışında geçmişten günümüze yapılmış çalışmalar incelenmiş, elde edilen bulgular araştırma konusu çerçevesinde yeniden değerlendirilmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Giray (2020), yürüttüğü çalışmada karvakrol esansiyel yağı kullanılarak nanoemülsiyon formu geliştirmiş ve hem saf karvakrol hem de nanoemülsiyon formunun *Botrytis cinerea* küfü üzerindeki antimikrobiyal etkilerini karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda, 300 µl/L düzeyindeki karvakrol ile 1500 µl/L karvakrol nanoemülsiyonunun *B. cinerea* gelişimini tamamen engellediği belirlenmiştir. Depolama süreci boyunca örneklerde pH değerlerinde düşüş, titrasyon asitliğinde ise artış meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca kaplama uygulamasının örneklerdeki ağırlık kaybını azalttığı tespit edilmiştir. Antimikrobiyal etkinlik analizlerinde depolama sonunda en düşük *B. cinerea* düzeyi 2.56 ± 0.07 log kob/g ile karvakrol uygulanan grupta saptanmıştır. 14. gün sonunda ise hem karvakrol hem de nanoemülsiyon içeren gruplarda küf gelişiminin tamamen inhibe edildiği bildirilmiştir.

Singh ve ark. (2020), çalışmalarında hasat sonrası depolama sürecinde mısır tanelerinde yaygın olarak görülen ve ekonomik kayıplara yol açan fumonisin yükünün azaltılmasına yönelik geliştirilen yenilikçi yaklaşımların, esansiyel yağ nanoemülsiyonlarının yüksek antifungal potansiyelini ortaya koymuşlardır. Çalışmada, 103 nm boyut aralığında üretilen karanfil yağı nanoemülsiyonunun, *Fusarium proliferatum* türünün gelişimini etkili bir şekilde inhibe ettiğini ve fumonisin B1 ile B2 yükünü Avrupa Birliği tarafından belirlenen maksimum limitlerin altına düşürdüğünü saptamışlardır. Çalışmada ayrıca, nanoemülsiyonun stabilitesini ve uygulama etkinliğini artırmak amacıyla elektro-püskürtme (*electrospraying*) yöntemini kullanarak denatüre peynir altı suyu proteini duvar malzemesi ile kaplandığını ve %96,25 gibi yüksek bir kapsülleme verimliliğinin elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu bulgularla, çekirdek-kabuk matrisli nanoformülasyonların mısır tanelerinde mikotoksin oluşumuna karşı koruyucu

bir bariyer oluşturabildiğini ve endüstriyel ölçekte önleyici bir önlem olarak kullanılma potansiyeli taşıdığını tespit etmişlerdir.

Antaal (2022), çalışmasında filizlenmiş tohumlar gibi yüksek nem ve uygun sıcaklık nedeniyle gıda kaynaklı salgın riskinin yüksek olduğu ürünlerde, doğal koruyucu stratejileri üzerine yapılan araştırmasında, kekik yağı nanoemülsiyonlarının (*Oregano Oil*) patojenler üzerindeki yüksek etkinliğini ortaya koymuştur. Gıda sınıfı bir emülgatör olan Tween 80 ve sonikasyon yöntemi kullanılarak hazırladığı %5'lik kekik yağı nanoemülsiyonlarının fizikokimyasal stabilitesini Dinamik Işık Saçılması (DLS) yöntemiyle karakterize etmiştir. *Salmonella* spp. üzerindeki en düşük inhibitör konsantrasyonu (MIC) ve en düşük bakterisid konsantrasyonu (MBC) %0,078 (v/v) olarak belirlenen bu nanoformülasyonun tohumlar üzerinde %1'lik konsantrasyonda 3,25 log'luk bir azalma sağladığını saptamıştır. Hem filizlenme sürecinde hem de hasat sonrası depolamada sergilenen bu antifungal ve antibakteriyel başarı, esansiyel yağ nanoemülsiyonlarının gıda güvenliğini sağlamada etkili, doğal ve güvenli bir antimikrobiyal ajan olarak kullanılma potansiyeli olduğunu kanıtlamıştır.

Mandić ve ark. (2022), yüksek nemli mısır tanesi silajında fermentasyon kalitesini ve kimyasal kompozisyonu iyileştirmek amacıyla laktik asit bakterileri (LAB) ve enzim karışımlarından oluşan ticari inokulantların etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, bu katkı maddelerinin silaj kalitesini maksimize ettiğini göstermişlerdir. Farklı mısır hibritleri (Zenit ve ZP 735) üzerinde yürütülen çalışmalarında, inokulant kullanımının kontrol grubuna kıyasla pH değerini, amonyak azotu ve asetik asit içeriğini önemli ölçüde düşürdüğünü; buna karşın kuru madde, ham protein, ham yağ ve laktik asit konsantrasyonlarını artırdığını ortaya koymuşlardır. Araştırma bulguları, LAB ve enzim karışımlarının sinerjik etkisiyle silajda daha hızlı bir asitlenme sağlandığını ve besinsel kayıpların minimize edildiğini kanıtlamışlardır. Bu durum, yüksek kaliteli kaba yem üretiminde biyolojik inokulantların kullanımının, silajın besleyici değerini korumak adına kritik bir uygulama olduğunu ortaya koymaktadır.

Valizadeh ve ark. (2022), çalışmalarında eritromisin içeren Aloe vera bazlı yeni bir nanoemülsiyon jel geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında Aloe vera yağının analiz etmişlerdir ve nanoemülsiyon partiküllerinin boyutunu belirlemişlerdir. Stabilité testleri, Aloe Vera nanoemülsiyon jelinin 300 günden fazla stabil olduğunu ortaya koymuştur. Erkek Wistar sıçanlarda yapılan deneylerde, Aloe vera nanoemülsiyon jeli ile tedavi edilen gruplarda bakteriyel enfeksiyonun önemli ölçüde azaldığını ve yara iyileşme sürecinin daha hızlı olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, tedavi edilen grupların

enflamatuvar hücre sayısının azaldığını ve en yüksek kolajen sentezine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Aloe vera bazlı nanoemülsiyon jel (AVNE) uzun süreli fiziksel stabilite göstermiş ve yara iyileşmesini hızlandırdığı saptanmıştır. Aloe vera bazlı nanoemülsiyon jelin yara iyileştirici etkisini pazar ilaçlarından olan SSD ile karşılaştırmışlardır. Özellikle enfekte yaralarda AVNE'nin yara iyileşmesini hızlandırdığı görülmüştür. Sonuçlar, AVNE'nin güçlü bir yara iyileştirici etkisi olduğunu ve moleküler mekanizmalarının daha ileri çalışmalarla araştırılmasının gerektiğini belirtmişlerdir.

Chen ve ark. (2023), bitkisel uçucu yağların sahip olduğu biyoaktif bileşenlerin güçlü bakteriyostatik ve fungistatik etkileri nedeniyle hayvancılıkta antibiyotiklere alternatif doğal koruyucular arasında stratejik bir potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir. Güncel literatür, bu yağların yalnızca patojen mikroorganizmaların kontrolünde değil, aynı zamanda silaj fermantasyon kalitesinin iyileştirilmesinde de etkili rol oynadığını ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmalar, uçucu yağların etki mekanizmalarının mikroorganizmaların hücre zarı bütünlüğünü bozması ve çeşitli enzim aktivitelerini baskılaması yoluyla gerçekleştiğini ve bu sayede silajda istenmeyen fermantasyon ürünlerinin oluşumunun sınırlandığını göstermektedir. Bu doğrultuda bitkisel uçucu yağların silaj katkı maddesi olarak kullanımı ve geliştirilmesi hem mikrobiyolojik güvenliğin artırılması hem de besin değerinin daha uzun süre korunması açısından modern tarım uygulamalarında önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Sousa ve ark. (2023), çalışmalarında silaj fermantasyonu sürecinde istenmeyen mikroorganizmaların substrat için laktik asit bakterileriyle rekabete girmesini, besin değeri kayıplarına ve ürünün aerobik stabilitesinin bozulmasına neden olan temel bir problemi ele almışlardır. Literatürde bu soruna yönelik geliştirilen güncel yaklaşımlar, sorgum (*Sorghum bicolor*) ve Paiaguás otu (*Urochloa brizantha*) karışımı silajlarda nanoteknolojik katkı maddelerinin etkinliğini ortaya koymuşlardır. Yaptıkları araştırmalarda; kontrol, nanoformüle "Alecrim Pimenta" uçucu yağı (OEN), %62 nanoformüle timol ve %100 saf nanoformüle timol uygulamaları, farklı açılış süreleriyle (15, 30 ve 45 gün) kombine edilerek incelemişlerdir. Elde edilen bulgular, özellikle nanoformüle timol ilavesinin *Clostridium* ve *Lactobacillus* popülasyonlarını etkili bir şekilde kontrol altına alabildiğini ve silajın aerobik stabilitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermişlerdir. Çalışmalarında, %100 nanoformüle timol kullanımının kuru madde ve gaz kayıpları üzerinde etkili olduğunu, buna karşın OEN kullanımının

bu kayıpları minimize ederek fermantasyon verimliliğini desteklediği saptanmışlardır. Sonuç olarak, uçucu yağların nanoformülasyon teknolojisi ile sisteme dahil edilmesi, silajın mikrobiyolojik güvenliğini artırmak ve stabilizasyon süresini optimize etmek adına geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkin bir katkı maddesi stratejisi sunduğunu ortaya koyduğu sonucuna varmışlardır.

Günaydın ve ark. (2023), yonca silajında farklı laktik asit bakteri türlerinin silaj kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiş ve çalışma kapsamında *Lactobacillus bifermans*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus brevis*, *Pediococcus citreum*, *Lactobacillus buchneri* ve *Leuconostoc citreum* suşlarını inokulant olarak kullanmışlardır. Uygulama belirli bir mikrobiyal yoğunluk standardında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kontrol grubu ile *Lactobacillus brevis* uygulanan grup karşılaştırıldığında kuru madde değerleri sırasıyla 24.01 ve 27.43 ($P<0.01$), ham protein değerleri 18.56 ve 20.55 ($p<0.05$), pH değerleri ise 4.87 ve 4.57 ($p<0.05$) olarak belirlenmiştir. Laktik asit bakteri sayıları 5.19 ve 5.43 ($P>0.05$) düzeyinde bulunurken, maya miktarının 5.45'ten 3.47'ye düştüğü ($P<0.01$) rapor edilmiştir. İncelenen örneklerde maya ve küf gelişimine rastlanmamıştır. Çalışma bulguları, özellikle *Lactobacillus brevis* ve *Leuconostoc citreum* uygulamalarının istenmeyen maya gelişimini baskıladığını, *Lactobacillus brevis*'in ham protein içeriği üzerinde olumlu etki gösterdiğini ve silaj stabilitesinin artırılmasında daha etkili sonuçlar sağladığını ortaya koymuştur.

Khalaf (2023), macar fiğ ve çavdar karışım silajlarında *Lactobacillus plantarum* (LP) uygulamasının fermantasyon özellikleri, aerobik stabilite ve mikrobiyal gelişim üzerindeki etkilerini değerlendirdiği çalışmada, ev yapımı turşulardan izole edilen probiyotik özellikli *L. plantarum* MF098786 suşunu kullanmıştır. Deneme düzeni beş farklı grup ve beşer tekerrür olacak şekilde; Macar fiğ kontrol (MF), çavdar kontrol (Ç), Macar fiğ + çavdar + LP (MFÇLAB), Macar fiğ + LP (MFLAB) ve çavdar + LP (ÇLAB) şeklinde oluşturulmuştur. Bitkiler dane olum döneminde hasat edilerek 3–5 cm boyutlarında parçalanmış, hazırlanan silaj materyallerine enjektör yardımıyla her paket için 1 ml olacak şekilde ve 1×10^9 düzeyinde LP inokulasyonu yapılmıştır. Daha sonra materyal 2 kg'lık plastik torbalara yerleştirilip vakumlanmış ve 90 gün boyunca laboratuvar koşullarında fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon sürecinin ardından açılan silajlarda fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, laktik asit bakteri ilavesinin özellikle MFÇLAB grubunda besin madde içeriklerini artırdığını, tüm uygulama gruplarında ise kontrol gruplarına kıyasla sıcaklık değerlerinin düştüğünü göstermiştir. Aerobik stabilite analizleri, LP uygulamasının

maya popülasyonunu belirgin şekilde azalttığını ortaya koymuştur. Çalışma sonuçları doğrultusunda, söz konusu bakterinin farklı doz ve kombinasyonlarda bitkisel materyaller üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı araştırılmasına ihtiyaç olduğu ifade edilmiştir.

Liu ve ark. (2024), çalışmalarında tarımsal-endüstriyel atıkların katma değerli ürünlere dönüştürülmesi stratejileri kapsamında, kekik esansiyel yağı ekstraksiyon kalıntılarının (ORES) mısır silajının fermentasyon kalitesi ve mikrobiyolojik güvenliği üzerindeki potansiyelini ortaya koymuşlardır. Mantar enfeksiyonu (FI) bulunan mısırların %20 oranında ORES ile silajlanmasının, enfeksiyondan kaynaklanan *Paenibacillus* ve *Clostridium* gibi istenmeyen bakteri kontaminasyon risklerini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir. ORES ilavesinin başlangıçtaki laktik asit fermentasyonunu bir miktar geciktirmesine rağmen, etanol içeriğini düşürdüğü ve mantar biyoçeşitliliğini (Chao1 ve Shannon indeksleri) artırarak stabiliteye katkı sağladığını saptamışlardır. Bu bulgularla, esansiyel yağ bileşenlerini içeren bitkisel kalıntıların silajda kullanılmasının hem zararlı mikroorganizma baskılanmasında hem de atık yönetiminde umut vadeden bir strateji olduğunu kanıtlamışlardır.

Yan ve ark. (2025), yüksek nemli yonca (*Medicago sativa* L.) silajında fermentasyon kalitesini artırmak ve besin kayıplarını önlemek amacıyla geleneksel katkı maddelerinin yanı sıra yenilikçi biyolojik ajanların kullanımı üzerine yapılan araştırmalarıyla, mikrobiyal topluluk yapısı ile sindirilebilirlik arasındaki doğrudan ilişkiyi ortaya koymaktadır. Kontrol grubuna kıyasla tarçın esansiyel yağı (CEO), odun sirkesi (WV) ve *Lactobacillus plantarum* (LP) uygulamalarının silajın pH değerini hızla düşürdüğünü, laktik asit üretimini teşvik ettiğini ve ham protein ile kuru madde korunumu sağladığını belirlemişlerdir. Mikrobiyolojik açıdan yapılan metagenomik analizler, CEO ve WV gibi katkı maddelerinin kontrol grubunda baskın olan *Pantoea* gibi zararlı mikroorganizmaları inhibe ederek ortamı *Lactobacillus*, *Pediococcus* ve *Weissella* gibi fonksiyonel laktik asit bakterileri lehine zenginleştirdiğini kanıtlamışlardır. Ayrıca, bu tür esansiyel yağ bazlı uygulamaların bakteriyle birlikte bulunma ağ yapısını sadeleştirerek potansiyel patojenik unsurları azalttığını, ADF ve NDF seviyelerini düşürerek *in vitro* kuru madde ve ham protein sindirilebilirliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini saptamışlardır. Sonuç olarak, tarçın esansiyel yağı gibi doğal inhibitörlerin nanoölçekli veya emülsiyon formundaki uygulamalarının yüksek nemli kaba yemlerin silaj kalitesini ve güvenliğini artırmada sürdürülebilir bir strateji olarak öne çıktığını belirtmişlerdir.

Gürsoy ve ark. (2026), çalışmalarında halofitik bitki *F. hirsute* L.'nin çeşitli oranlarda (%1, %3 ve %5) katkı maddesi olarak kullanılmasının, düşük kuru madde içeriğine sahip mısır silajının fermentasyon kalitesi, besin içeriği ve mikrobiyal popülasyonu üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla çalışmalarda bulunulmuştur. Belirtilen oranlarda hazırlanan silaj karışımları, polietilen vakumlu torbalarda 60 gün boyunca fermentasyona tabi tutmuşlardır. Fermentasyonun ardından silajların kimyasal bileşimi, organik asit içeriği, pH değerleri ve mikrobiyal sayıları belirlenmiştir. Araştırma bulgularına göre, tüylü deniz rezene ilavesi silajın kuru madde içeriğini artırmıştır ($p<0,05$). Ham protein içeriği, kontrol grubuna kıyasla %3 ve %5 katkı maddesi gruplarında azalmıştır ($p<0,01$). Katkı maddesi ile işlenen tüm gruplarda, nötr deterjan lifi (NDF) kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde azalmıştır ($p<0,01$). Organik asit seviyeleri açısından, %1 tüylü deniz yosunu uygulaması, kontrol grubuna kıyasla laktik asit içeriğini önemli ölçüde artırmıştır ($p<0,05$); ancak, hiçbir işlem grubunda butirik asit tespit edilmemiştir. Tüylü deniz yosunu ile takviye edilen mısır silajının pH değeri, %1 ve %3 gruplarında artarken, %5 grubu kontrol seviyesine kıyasla azalma eğilimi göstermiştir. Mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre, tüylü deniz yosunu ilavesinin enterobakteri, küf ve maya büyümesini tamamen engellediği belirlenmiştir. Sonuç olarak, tüylü deniz yosununun, özellikle %1'lik bir konsantrasyonda, kuru madde içeriği düşük mısır silajının kalitesini iyileştirmek için umut vaat eden bir doğal katkı maddesi olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Bu durum, söz konusu bitkinin laktik asit üretimini teşvik etme, istenmeyen mikroorganizmaları baskılama ve NDF içeriğini azaltarak sindirilebilirliği artırma yeteneğinden kaynaklanmış olabileceğini belirtmişlerdir.

Keskin ve Hüseyinbaş (2026), Ağrı'nın ekolojik koşulları altında 15 farklı silajlık mısır çeşidinin verim ve kalite özelliklerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, 2022 ve 2023 yıllarında üç tekerrürlü tesadüf blokları deneme desenini kullanmışlardır. Hamur olgunluğu aşamasında hasat edilen çeşitler için kuru madde verimi, ham protein içeriği ve verimi, NDF, ADF, kuru madde alımı, göreceli yem değeri, sindirilebilir ve metabolik enerji ile kuru madde sindirilebilirliğini incelemişlerdir. Sonuçlar, incelenen mısır çeşitleri arasında hem verim hem de yem kalitesi parametreleri bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunduğunu göstermiştir. İki yıllık ortalamalara göre kuru madde veriminin 1.191–3.295 kg/ha, ham protein oranının %5.07–%9.15 ve ham protein veriminin ise 145.1–309.3 kg/ha aralığında değiştiği belirlenmiştir. NDF ve ADF seviyelerinin sırasıyla %40.8–58.7 ve

%19.9–33.9 arasında deęiřtięi belirlenmiř olup, en dūřuk deęerler P0937 eřidinde gözlemlenmiřtir.

Genel deęerlendirmede, dūřuk lif (NDF, ADF) içerięi ile birlikte yüksek ham protein, sindirilebilirlik ve enerji deęerleri dikkate alındıęında, Tuono, P0900 ve P0937 eřitlerinin dięer çeřitlere kıyasla üstün yem kalitesi özelliklerine sahip olduęunu belirlemiřlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Ayva çekirdeği

Ayva çekirdekleri kahverengi renkli olup yaklaşık 7 mm uzunluğa ve 5 mm genişliğe sahip oval bir yapıda bulunmaktadır. Su ile temas ettiklerinde kısa sürede jelimsi, yapışkan ve tatsız bir sıvı oluşturdıkları bilinmektedir. Ayva meyvesi ve özellikle kabuk ile tohum gibi yan ürünleri; fenolik bileşikler, flavonoidler ve antioksidanlar bakımından zengin kaynaklar arasında yer almaktadır (Oliveira, 2007). Bu çalışmada ise ayva çekirdekleri temel hammadde olarak kullanılmıştır. Ayva çekirdekleri 36° 38' 45'' kuzey, 33° 26' 15'' doğu konumunda olan Mersin ilinin Mut ilçesine bağlı ayva bahçesinden temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Ayva çekirdeklerinin laboratuvara getirilmesi

3.1.2. Aloe vera

Aloe veranın botanik adı *Aloe barbadensis* Miller'dır. Bitkinin kenarları tırtıklı, üçgen, etli yaprakları, sarı boru şeklinde çiçekleri ve çok sayıda tohum içeren meyveleri vardır. Aloe vera jeli genellikle yapraklarının ortasında bulunan, parankima hücreler tarafından üretilen müsilaj maddeyi belirtir. Oluşan jelin büyük oranda sudan (%99) meydana geldiği, kuru madde içeriğinin ise yaklaşık %25'lik kısmının mono ve polisakkaritlerden oluştuğu belirlenmiştir (Eshun ve He, 2004). Aloe vera 36° 16' 26'' kuzey ve 32° 18' 51'' doğu koordinatlarında bulunan Antalya ilinin Gazipaşa ilçesindeki ticari üretim yapan bir seradan temin edilmiştir. Çalışmamızda *Aloe barbadensis* Miller Stockton Aloe vera, 3-4 kök halinde kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Aloe Vera jelinin çıkarılması

3.1.3. Zeytinyağı

Zeytin (*Olea europaea* L.), Akdeniz iklim kuşağına özgü, meyvesi tüketilebilen ve kültürel olarak uzun bir geçmişe sahip olan bir ağaç türüdür. Zeytinden yağ elde edilmesine dayanan zeytinyağı üretim geleneği binlerce yıldır sürdürülmektedir. Geleneksel üretim yöntemlerinden biri olan soğuk sıkım tekniğinde, zeytinler düşük sıcaklık koşullarında preslenerek yağ elde edilmekte ve bu süreçte herhangi bir kimyasal işlem uygulanmadan tüketilebilir nitelikte zeytinyağı üretilmektedir. Bu işlem genellikle 27 °C veya daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Soğuk sıkım yöntemi, zeytinlerin doğal lezzet, aroma ve besin değerlerini korur, bu nedenle genellikle daha kaliteli ve sağlıklı bir yağ elde edilir. Zeytinyağı serin ve kuru bir yerde oda sıcaklığında saklanabilir, ancak ışık ve ısıya maruz kalmamasına dikkat edilmelidir. Optimal sıcaklık ortalama bir oda sıcaklığıdır. Aşırı sıcak veya soğuk ortamlar, yağın kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Zeytinyağı 38° 28'57" kuzey ile 28° 8'51" doğu koordinatlı Manisa ilinin Salihli ilçesinden soğuk sıkım olarak temin edilerek çalışmamızda kullanılmıştır.

3.1.4. Silaj materyali

Çalışmada kullanılan ana bitki materyali olan silajlık mısır 39.26° kuzey enlemi ve 34.22° doğu boylam koordinatlarında bulunan Kırşehir ilinin Sıdklı köyü olan bölgeden hasat edilmiştir. Hasat sonrası numuneler uygun depolama koşullarında nakledilmiştir. Silaj malzemelerinin teknik hazırlık süreçleri, silajlama süreçleri ve çalışmanın tüm aşamalarını kapsayan analizler, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Biyoteknolojisi Bölümü bünyesindeki Hayvan Biyoteknolojisi Laboratuvarı ve Enzim ve Mikrobiyal Biyoteknoloji Laboratuvarı'nın teknik altyapısı

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz süreçlerinde standardizasyonu sağlamak için tüm laboratuvar çalışmaları kontrollü çevre koşulları altında ve ileri biyoteknolojik ekipmanlarla tamamlanmıştır.



Şekil 3.3. Silajların hasat edilme aşaması

3.1.5. Materyallerin hazırlanması

3.1.5.1. Ayva çekirdeği müsilağının hazırlanması

Ayva çekirdeği müsilağının ekstraksiyonu sırasında, bitkinin hidrasyon kapasitesi kullanarak klasik bir ekstraksiyon prosedürü izlenmiştir. Bu doğrultuda, elde edilen ayva çekirdekleri, 100 ml saf su başına 10 çekirdek gibi hassas bir oranda 100 ml'lik cam şişelere aktarılmıştır. Cam şişelerin ağzları, karışımı dış ortamdaki kirleticilerden korumak, hava ile teması önlemek ve buharlaşma nedeniyle hacim kaybını önlemek için hava geçirmez şekilde kapatılmıştır. Hazırlanan numuneler, tohumların dış yüzeyindeki müsilağ tabakasının çözücüye geçmesi için 24 saat boyunca oda sıcaklığında maserasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu sürenin sonunda, çekirdeklerin yapısındaki polisakkaritlerin su ile etkileşimi sonucunda karakteristik, viskoz ve jelatinimsi bir yapı elde edilmiştir (Yılmaz,2020).



Şekil 3.4. Ayva çekirdeği müsilağı aşaması

3.1.5.2. Aloe vera jelinin hazırlanması

Çalışmada kullanılan aloe vera jel ekstraksiyonu, bitkinin biyoaktif bileşenlerini korumak ve standart bir numune elde etmek için belirli bir protokole göre gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, 3-4 kökte elde edilen bitki yapraklarının uçlarındaki kararmış ve deforme olmuş dokular steril bir kesici ile çıkarılmıştır. Yapraklar, bitkinin lateks tabakasında bulunan ve ikincil bir metabolit olan antrakinin türevi olan sarı sıvının (aloin) drenajını sağlamak için kesik yüzeyleri aşağı bakacak şekilde yaklaşık 20-30 dakika dik olarak bekletilmiştir. Akışın tamamlanmasının ardından yapraklar damıtılmış su ile yıkanıp yan kenarlardaki dikenli kenarlar uzunlamasına kesilerek dış epidermisten ayrılmıştır. Üstteki yeşil kabuk dikkatlice soyularak elde edilen şeffaf, müsilaajlı parankima dokusu (saf jel), Ultra-Turrax kullanılarak steril bir ortamda 15.000 rpm’de homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Elde edilen homojenleştirilmiş jel örnekleri, biyokimyasal stabilitelerini korumak ve oksidasyonu önlemek için +4 °C’de muhafaza edilmiştir. (Güler, 2020).

3.1.5.3. Zeytinyağı

Çalışmada kullanılan bitkisel yağ malzemesi, Manisa/Salihli bölgesine özgü ve kendine has duyuşsal ve kimyasal özelliklere sahip olan ‘Edremit’ (Ayvalık) çeşidi zeytinlerden elde edilmiştir. Üretimi sırasında, zeytinlerdeki biyoaktif bileşenlerin ve uçucu aromatik bileşiklerin termal bozulmasını önlemek için ‘soğuk pres’ tekniği tercih edilmiştir. Sürekli sistem zeytinyağı makinesindeki işleme sıcaklığı maksimum 24 °C ile sınırlandırılmıştır. Temin edilen sızma zeytinyağının kalite kriterlerini belirleyen serbest yağ asidi değeri, oleik asit açısından %0,4 olarak belirtilmiştir. Üretilen ve analiz aşamasına kadar saklanan yağ numuneleri, oksidatif bozulmayı ve hidrolitik reaksiyonları en aza indirmek için, güneş ışığından uzak karanlık, serin ve kuru bir ortamda, oda sıcaklığında stabilize cam kaplarda saklanmıştır.

3.1.5.4. Nanoemülsiyon çözeltinin hazırlanması

Araştırma kapsamında, biyopolimerik özellikler gösteren ayva tohumu müsilaajı ve Aloe vera jeli ile zeytinyağı kullanılarak nanometrik düzeyde stabil bir sistem oluşturmak için yüksek enerjili emülsifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Nanoemülsiyon formülasyonlarının hazırlanmasında, lipofilik faz (yağ fazı) zeytinyağından, hidrofilik faz (su fazı) ise saf sudan oluşmaktadır. Sistemin termodinamik stabilitesini sağlamak ve yüzey gerilimini düşürerek damlacık boyutunu nano ölçeğe indirmek için, noniyonik bir yüzey aktif madde olan Tween 80 emülgatör olarak sisteme dâhil edilmiştir. Hazırlık aşamasında laboratuvarında farklı parametreler üzerinde denemeler yapılmıştır. Bu

denemeler içerisinde %100'lük konsantrasyonlar arasında ayva çekirdeği jeli (%20), Aloe vera jeli (%20), zeytinyağı (%15), Tween 80 (%10) ve saf su (%35) oranlarında belirtilen konsantrasyonda stabilite sağlanmıştır. Stabil bir yapı elde etmek ve bileşenlerin kaba karışımını sağlamak amacıyla karışım, oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı kullanılarak homojen bir görünüm oluşuncaya kadar karıştırılmıştır. Ardından emülsiyonun parçacık boyutunu azaltmak ve daha homojen bir dağılım sağlamak için yüksek hızlı homojenizatör (Ultra Turrax T18, IKA Labortechnik, Almanya) ile işlem uygulanmıştır. Karışım, stabil nanoemülsiyon çözeltileri sentezlemek için 18.000 rpm hızında 20 dakika boyunca mekanik kesme kuvvetlerine maruz bırakılmıştır. İşlem sırasında sürtünmeden kaynaklanan ısının biyoaktif bileşenler üzerinde olumsuz etkilerini önlemek için numune kapları buz banyosunda sabit tutulmuştur.

3.1.5.5. Silaj Yapım Aşaması

Dane dolum aşamasında hasat edilen mısır bitkisi, hasat sonrası 3.0-5.0 cm boyutlarında parçalanmıştır. Hazırlanan materyalden 1000'er gramlık örnekler alınarak 2 kg kapasiteli polietilen torbalara yerleştirilmiş ve üzerlerine farklı konsantrasyonlarda (0,5; 1; 2 ve 4 ml) zeytinyağı bazlı ayva çekirdeği müsilağı ve aloe vera hidrojelinden üretilen (AZA) nanoemülsiyonu püskürtme yöntemiyle randomize şekilde uygulanmıştır. Paketler, hava geçirmezlik sağlanması amacıyla vakum cihazı (Packtech PT-VKM-CPRO) kullanılarak sızdırmaz şekilde kapatılmıştır. Toplam 6 gruptan oluşan [mısır + musluk suyu (K+), sadece mısır (K-), mısır + 0.5 ml AZA (M0.5), mısır + 1 ml AZA (M1), mısır + 2 ml AZA (M2), mısır + 4 ml AZA (M4)] ve her grubun 8 tekrarla temsil edildiği toplam 48 adet silaj örneği, 20-25 °C sıcaklıktaki laboratuvar koşullarında, karanlık bir ortamda oksidatif stresin ortaya çıkması ve dayanıklılık süresinin tespiti için 90 gün fermentasyon bırakılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Nanoemülsiyon Analizleri

3.2.1.1. Nanoemülsiyon çözeltinin pH Analizi

pH değerleri Eutech Instruments pH 700 (Nijkerk, Netherlands) ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Tüm örneklerin pH'sı 3'er tekrarla olarak hesaplanmıştır. Cihaz ölçümden önce kalibre edilmiş olup, cihazın probu örnek nanoemülsiyon çözeltisinin içine tamamen daldırılmış ve 4-5 dakika boyunca bekletilerek pH değerleri sabitlenmiştir (Kozlu ve Elmacı, 2020).

3.2.1.2. Nanoemülsiyon çözeltinin antioksidan aktivite tayini

DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) serbest radikal giderme aktivitesi, literatürde bildirilen yönteme göre bazı modifikasyonlar yapılarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, 7.88 mg DPPH tartılarak %99.9 saflıktaki metanol içerisinde çözölmüş ve hacim 100 mL'ye tamamlanarak DPPH stok çözeltisi hazırlanmıştır.

Analizlerde farklı konsantrasyonlarda numune çözeltileri hazırlanmıştır. Kontrol grubuna numune yerine saf su konulmuştur. İlk aşamada, numuneden 0,1 mL alınarak üzerine 1 mL saf su ilave edilmiştir ve 5–10 saniye vortekslenmiştir. Elde edilen çözeltiden tekrar 0,1 mL alınarak 3,9 mL DPPH çözeltisi ile karıştırılmış ve yeniden vortekslenmiştir. Bu işlem sonucunda yaklaşık %10'luk numune konsantrasyonu elde edilmiştir. İkinci aşamada, farklı seyreltilerde analizler gerçekleştirilmiş olup, 0,1 mL numune üzerine 2 mL DPPH çözeltisi eklenerek %5; 0,1 mL numune üzerine 4 mL DPPH çözeltisi eklenerek ise %2,5 konsantrasyonlar hazırlanmıştır. Kontrol grubunda numune yerine yalnızca DPPH çözeltisi kullanılmıştır. Üçüncü aşamada ise farklı numune hacimlerinin etkisini değerlendirmek amacıyla 0.2 mL, 0.3 mL, 0.5 mL ve 0.7 mL numune alınarak sırasıyla 3.8 mL, 3.7 mL, 3.5 mL ve 3.3 mL DPPH çözeltisi ile karıştırılmıştır. Tüm karışımlar 5–10 saniye süreyle vortekslenmiş ve ışığa duyarlı olan DPPH radikalinin bozunmasını önlemek amacıyla oda sıcaklığında karanlık ortamda 20 dakika inkübasyona bırakılmıştır (Tekle, 2022).

İnkübasyon süresinin tamamlanmasının ardından örneklerin absorbans değerleri 517 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçölmüştür. Absorbans değerinin düşük olması, serbest radikal giderme aktivitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Analizler Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Faköltesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. DPPH radikal giderme aktivitesi (%) ise aşağıda verilen formöl kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\% \text{ İnhibasyon} = \frac{(AK - AÖ)}{AK} \times 100$$

AK: Kontrol (antioksidan içermeyen) örneğın absorbansı

AÖ: Örneğın (antioksidan içeren) absorbansı

3.2.1.3. Nanoemülsiyon çözeltinin renk analizi

Belirlenen nanoemülsiyon çözelti grubunun renk analizi Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü Hayvansal Biyoteknoloji Laboratuvarı'nda L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerleri Konica Minolta CR-410 renk ölçüm cihazı kullanılarak CIELAB renk değeri 3 defa ölçülerek belirlenmiştir. L* (açıklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerlerinin ortalamaları üzerinden Chroma, E, hue, doygunluk ve H° indeksleri hesaplanmıştır. Windows 10 Professional Paint 3D'de kullanılarak renk değerleri görünür şekilde oluşturulmuş ve mevcut nanoemülsiyon çözelti renkleri karşılaştırılıp çözelti rengi belirlenmiştir (Filik ve ark., 2018).

3.2.1.4. Nanoemülsiyon çözeltinin yoğunluk analizi

Nanoemülsiyon örneklerinin yoğunluk tayini piknometre yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde piknometre temizlenip kurutulmuş ve hassas terazide darası belirlenmiştir. Daha sonra piknometre saf su ile doldurularak tartılıp, cihazın hacmi referans alınmıştır. Ardından piknometre kurutularak analiz edilecek AZA nanoemülsiyon örneği ile hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurulmuş, kapak kapatıldıktan sonra dış yüzeyi kurularak tekrar tartım yapılmıştır. Elde edilen tartım değerleri kullanılarak numunenin yoğunluğu, belirli hacimdeki kütle farkına dayalı olarak hesaplanmıştır. Piknometre yöntemi, sabit hacimli kap içerisinde sıvının kütlelerinin belirlenmesine dayanmakta olup, yoğunluk değeri kütlenin hacme oranı (g/cm³) şeklinde ifade edilmektedir. Analizler, sıcaklığın ölçüm sonuçları üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak sabit sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (CUTAM) Laboratuvarı'nda hizmet alımı kapsamında yapılmıştır (Aguar ve ark., 2026).

3.2.1.5. Nanoemülsiyon çözeltinin partikül boyutu analizi

Parçacık boyutu analizi, Malvern Zetasizer Nano ZSP cihazı kullanılarak dinamik ışık saçılımı (DLS) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Numune homojenleştirildikten sonra, 200 µL'lik bir miktar alınıp, uygun bir çözücü ile toplam hacim 10 mL olacak şekilde seyreltilip, pH ile iyonik güç hedef değerlere ayarlanmıştır. Seyreltilmiş çözelti, numune yapısının bozulmasını önlemek için 0.22 µm (tercihen) veya 0.45 µm'lik bir şırınga filtresinden süzdürülmüştür. DTS1070 ölçüm hücresi ultra saf su ile durulanıp, dış yüzeyi temizlenip kabarcık oluşmadan bir şırınga ile doldurulmuştur. Bu çözeltiden 1 mL hücreye yüklenip cihaza yerleştirilmiştir.

Ölçümler, 25 °C'de dengeye geldikten sonra en az üç ölçüm olacak şekilde tekrarlanmıştır. Analiz, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM) ile yapılan bir hizmet alımı kapsamında gerçekleştirilmiştir (Berne ve Pecora, 2000; Malvern Panalytical, 2020).

3.2.1.6. Nanoemülsiyon çözeltinin zeta potansiyel analizi

Zeta potansiyeli analizi, 25 °C'de bir DTS1070 katlanabilir kapiler hücreye sahip Malvern Zetasizer Nano ZSP cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numune homojenleştirildikten sonra, 200 µL'lik bir miktar alınıp uygun bir çözücü ile toplam hacim 10 mL olacak şekilde seyreltilip; pH ve iyonik güç, hedef koşullara göre ayarlanmıştır. Seyreltilmiş çözelti, 0.22 µm (tercihen) veya 0.45 µm şırınga filtresinden süzdürülmüştür. DTS1070 hücresi saf su ile durulandıktan sonra dış yüzeyi temizlenmiştir. Bu çözeltiden 1 mililitre bir şırıngaya çekilip kabarcık oluşturmada dikkatlice hücreye enjekte edilmiştir, ardından cihaza yerleştirilmiştir. Ölçümler, 25°C'de dengeye geldikten sonra en az üç kez tekrarlanmıştır. Analiz, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM) ile yapılan bir hizmet alımı kapsamında gerçekleştirilmiştir (Berne ve Pecora, 2000; Malvern Panalytical, 2020).

3.2.2. Silaj Analizleri

3.2.2.1. Silaj Kimyasal Analizleri

3.2.2.1.1. Kuru madde

Silaj paketlerinden alınan örnekler, darası önceden belirlenmiş alüminyum kaplara yerleştirilerek etüvde 105 °C'de 3,5 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından örnekler etüvden çıkarılarak desikatör içerisinde oda sıcaklığına ulaşmaya kadar soğutulmuştur. Soğutma sonrasında yapılan tartımlarla kap ve kuru örnek ağırlıkları belirlenmiş ve kuru madde oranı hesaplanmıştır (AOAC, 1998).

Hesaplama:

$$\% \text{ Kuru Madde} = [(C-A) * 100] / (B-A)$$

A= Alüminyum kap darası

B= Alüminyum kap + örnek ağırlığı

C= Kurutma işlemi sonrası alüminyum kap + yem örneği ağırlığı

3.2.2.1.2. *Ham kül*

Kurutulup öğütülen örneklerden yaklaşık 5 g alınarak, önceden kül fırınında yakılmış ve desikatörde soğutulmuş porselen krozelere aktarılmıştır. Numuneler 550 °C’de 4,5–5 saat süreyle yakılarak açık gri-beyaz renk oluşuncaya kadar işlem sürdürülmüştür. Yakma süresince kömürleşmenin oluşmamasına dikkat edilmiştir. İşlem sonrası krozeler soğutularak tartılmış ve ham kül oranı hesaplanmıştır (AOAC, 1998).

Hesaplama: % Ham Kül=(C-A/B-A) * 100

A= Porselen Kroze Darası

B= Porselen Kroze Darası + Örnek Ağırlığı

C= Yakma İşlemi Sonrası Porselen Kroze Darası + Kül Ağırlığı

3.2.2.1.3. *Ham yağ*

Öğütülmüş örnekten 0,5 g alınarak TX4 Ankom yağ torbalarına konulmuş, torbaların ağzı sealer cihazı ile kapatıldıktan sonra Ankom yağ analiz cihazına yerleştirilmiştir. Hekzan kullanılarak örnek içerisindeki yağın uzaklaştırılması esasına dayalı işlem sonucunda, başlangıç ve son tartım arasındaki fark dikkate alınarak % ham yağ oranı belirlenmiştir (AOAC, 1998).

Hesaplama: % Ham Yağ =100 * (W2-W3) / W1

W1= Örnek Ağırlığı

W2= Ekstraksiyondan işleminden önce kurutma sonrası örnek ve torba ağırlığı

W3= Ekstraksiyondan işleminden sonra kurutma sonrası örnek ve torba ağırlığı

3.2.2.1.4. *Ham protein*

Silaj örnekleri öncelikle 1 mm göz açıklığına sahip elekten geçirilerek öğütülmüş, ardından yaklaşık 1 g örnek Kjeldahl tüpüne alınmıştır. Sindirimi hızlandırmak amacıyla tüpe iki adet katalizör tableti eklenmiş ve üzerine 12,5 ml derişik H₂SO₄ (sülfürik asit) disperser yardımıyla ilave edilmiştir. Tüp duvarlarına yapışan materyalin asit ile alt kısma taşınması için tüp hafif eğimli konumda yavaşça döndürülmüştür. Analiz sürecini kontrol etmek amacıyla bir tüpe örnek eklenmeden yalnızca kimyasallar konularak kör deneme yapılmıştır. Köpürme ve taşma riskini

önlemek için tüpler 200 °C’de 15–20 dakika ön yakmaya tabi tutulmuş, ardından 380 °C’de 45–60 dakika yaş yakma işlemi gerçekleştirilmiştir (Velp DK8 Yakma Ünitesi). Yakma işlemi tamamlandıktan sonra tüpler soğumaya bırakılmıştır. 300 ml’lik geniş ağızlı erlene 50 ml %2 borik asit ve 3–4 damla indikatör eklenerek distilasyon ünitesine yerleştirilmiştir (Velp UDK 149 Kjeldahl Azot Protein Tayin Cihazı). Kjeldahl tüpüne sırasıyla 50 ml saf su ve 75 ml %40 NaOH çözeltisi ilave edilerek distilasyon işlemi başlatılmıştır. Açığa çıkan amonyak, borik asitle reaksiyona girerek amonyum borat kompleksini oluşturmuş ve indikatör renginin bordodan yeşile dönüşmesine neden olmuştur. Yaklaşık 150–200 ml distilat toplanıncaya kadar işleme devam edilmiştir. Distilasyon tamamlandıktan sonra erlenler alınarak 0.1 N HCl ile titrasyon yapılmış ve yeşil renk açık pembe renge dönene kadar işlem sürdürülmüştür. Titrasyonda kullanılan HCl miktarı kaydedilerek % ham protein (HP) içeriği AOAC (1998) esaslarına göre hesaplanmıştır.

$$\text{Hesaplama: \% HP} = [K * V * N * f_{\text{HCl}}] * [100 / M * 1000 * f_p]$$

K= 14.007 (Azotun atom ağırlığı)

V= Kullanılan HCl (ml)

N= HCl'nin normalitesi (0,1)

f_{HCl}= 0.1 N HCl'nin faktörü

f_p= Proteine çevirme faktörü (6.25)

M= Tartılan örnek miktarı

3.2.2.1.5. ADF, NDF, Ham Selüloz

Kuru madde analizleri tamamlanan örneklerden 0,5 g alınarak F57 Ankom lif torbalarına aktarılmış, torbaların ağızı sealer cihazı ile kapatıldıktan sonra Ankom ham selüloz analiz sistemi içerisine yerleştirilmiştir. Örnek torbalarının uygun çözeltiler ile yıkanması esasına dayalı işlem sonunda, başlangıç ve son tartım farkı dikkate alınarak %ADF ve %NDF değerleri Van Soest ve ark. (1991)’e göre hesaplanmıştır. ADF analizinde kullanılacak F57 Ankom lif torbaları asitlere dayanıklı kalem ile numaralandırılmış ve her birine yaklaşık 0,5 g örnek konulmuştur. Hazırlanan örnekli torbalar ile kör analiz için kullanılan boş torbaların ağızları sealer cihazı ile kapatılarak ANKOM Fiber Analyzer A2001 cihazının katlı raflarına yerleştirilmiştir. Ardından sülfürik asit içinde FAD20C kimyasalının çözündürülmesiyle hazırlanan çözelti cihaza

eklenmiş ve 60 dakika süreyle analiz gerçekleştirilmiştir. Süre sonunda çözelti boşaltılmış, ardından cihaz içerisine 80–90 °C sıcaklıkta su eklenerek 5 dakika boyunca yalnızca “agitate” modunda çalıştırılmıştır. Bu yıkama işlemi iki kez tekrarlanmış, sonrasında torbaların alınmasını kolaylaştırmak için aynı seviyede musluk suyu ilave edilmiştir. Torbalar dikkatlice çıkarılarak hafif sıkma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra 250 ml’lik beher içerisine alınan torbaların üzerini örtecek şekilde aseton eklenmiş ve 3 dakika bekletilmiştir. Aseton işleminin ardından torbalar etüvde 105 °C’de 2–4 saat kurutulmuş, daha sonra desikatöre alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Son tartımlar yapılarak veriler kaydedilmiş ve analizler Van Soest ve ark. (1991) yöntemine göre değerlendirilmiştir.

$$\text{Hesaplama: ADF (\%, Kuru madde bazında)} = [W3 - (W1 \times C1) \times 100] / W2 \times KM$$

W1= F57 Ankom lif torba darası, g

W2= Örnek ağırlığı

W3= “Örnek + torba” nın kurutma işlemi sonrası ağırlığı, g

C1= Kör ağırlığı (boş torbanın kurutma işlemi sonrası ağırlığı), g

NDF analizinde kullanılan örnekler, ADF analizinde olduğu gibi Ankom cihazında değerlendirilmek üzere hazırlanmıştır. Bu amaçla örnekler cihaza yerleştirildikten sonra saf su içerisinde FND20C çözündürülmüş, ardından trietilen glikol, sodyum sülfat ve alfa amilaz ilavesiyle hazırlanan çözelti sisteme eklenmiştir. Örnekler ve çözelti cihaza alındıktan sonra analiz 75 dakika süreyle yürütülmüştür. Süre sonunda çözelti boşaltılmış, ardından cihaz içerisine 80–90 °C sıcaklıkta su ilave edilerek katlı raf torbalarının seviyesini geçecek şekilde doldurulmuştur. Daha sonra cihaz yalnızca “agitate” modunda 5 dakika çalıştırılmış ve bu yıkama işlemi iki kez tekrarlanmıştır. Sonrasında torbaların kolayca alınabilmesi için aynı seviyeye musluk suyu eklenmiş, torbalar dikkatlice çıkarılarak hafif sıkma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra 250 ml’lik beher içerisine alınan torbaların üzerini kaplayacak şekilde aseton eklenmiş ve 3 dakika bekletilmiştir. Aseton işlemini takiben torbalar 105 °C’de etüvde 2–4 saat kurutulmuş, ardından desikatöre alınarak oda sıcaklığına gelmeleri sağlanmıştır. Son tartımlar yapılarak kayıt altına alınmış ve NDF analiz sonuçları Van Soest ve ark. (1991) yöntemine göre değerlendirilmiştir.

$$\text{Hesaplama: NDF (\%, Kuru madde bazında)} = [W3 - (W1 \times C1) \times 100] / W2 \times KM$$

W1= F57 Ankom lif torba darası, g

W2= Örnek ağırlığı 17

W3= “Örnek + torba” nın kurutma işlemi sonrası ağırlığı, g

C1= Kör ağırlığı (boş torbanın kurutma işlemi sonrası ağırlığı), g

Ham selüloz analizi kapsamında F57 Ankom lif torbaları asitlere dayanıklı kalem ile numaralandırılmış, darası alındıktan sonra her birine yaklaşık 0,5 g örnek eklenmiştir. Örnek içeren torbalar ile kör deneme için kullanılan boş torbaların ağızları sealer cihazı ile kapatılmıştır. Daha sonra örnekler katlı raf sistemine yerleştirilerek cihaz içerisine alınmış ve üzerine 0.255 ± 0.005 normal sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi eklenerek sistem kapatılmıştır. Cihaz 40 dakika çalıştırılmış, sürenin sonunda çözelti tahliye edilmiştir. Tahliye sonrası cihaz içerisine $80-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su, torbaların seviyesini geçecek şekilde eklenmiş ve yalnızca “agitate” fonksiyonunda 5 dakika çalıştırılmıştır. Aynı yıkama işlemi, bu kez 0.313 ± 0.005 normal sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullanılarak tekrarlanmıştır. İşlem tamamlandıktan sonra torbalar dikkatlice çıkarılarak hafif sıkma işlemi uygulanmıştır. Ardından 250 ml’lik behere alınan torbaların üzerini kaplayacak şekilde aseton eklenmiş ve 3 dakika bekletilmiştir. Daha sonra örnekler önceden darası alınmış krozelere aktarılmış ve $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de etüvde 2–4 saat kurutulmuştur. Kurutma sonrası krozeler desikatöre alınarak oda sıcaklığına gelmeleri sağlanmış ve tartımlar yapılarak veriler kaydedilmiştir (A1: torba + lif + kroze). Son aşamada krozeler içerisindeki torbalar $600 \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de kül fırınında 2 saat yakılmış, ardından desikatöre alınarak soğutulmuştur. Oda sıcaklığına ulaşan örnekler tekrar tartılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Boş torbaya ait organik madde değeri ayrıca hesaplanarak W3 olarak ifade edilmiştir (Van Soest ve ark., 1991).

Hesaplama: Ham selüloz (%) = $100 \times [W3 - (W1 \times C1)] / W2$

W1= F57 Ankom lif torba darası, g

W2= Örnek ağırlığı

W3= Organik madde ağırlığı, g

C1= Boş torba faktörü düzeltilmiş kül

3.2.2.1.6. Toplam çözünebilir maddeler

Oda sıcaklığında, 0,2 °Brix hassasiyetine sahip dijital sakaroz refraktometresi (HI 96801, Hanna Instruments Deutschland GmbH, Vöhringen, Almanya) kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla sarımsak ezeceği yardımıyla elde edilen silaj suyundan birkaç damla cihazın cam prizma yüzeyine damlatılmıştır. Elde edilen değerler %Bx olarak kaydedilmiştir (Singh ve ark., 2020; Filik ve Filik, 2021).

3.2.2.1.7. Aerobik stabilite

Fermentasyon süresi tamamlanan silaj örnekleri, 5 gün süreyle aerobik stabilite testine tabi tutulmuştur (Ashbell ve ark., 1991). Test sonunda örneklerde pH değişimi, CO₂ üretimi ile maya ve küf gelişimi değerlendirilmiştir. Aerobik stabilite analizi için 1,5 L hacimli polietilen şişelere 250 g silaj materyali yerleştirilmiş, hava sirkülasyonunu sağlamak amacıyla şişelerin kapak ve taban kısımlarına 1 cm çapında delikler açılmıştır. Hazırlanan şişeler, kapak kısmı aşağı gelecek şekilde, içerisinde 100 ml %25'lik potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi bulunan cam beherlerin içine dik olarak yerleştirilmiş ve sistem 5 gün boyunca laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Deneme sonunda oluşan CO₂ gazının KOH çözeltisinde tutulması esasına dayanarak, beherden alınan 10 ml örnek 1 N HCl ile dijital büret kullanılarak titre edilmiştir. Titrasyon sırasında pH değeri önce 8.1'e, ardından 3.6'ya düşürülmüş ve bu aralıkta tüketilen HCl miktarı kaydedilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak silajların CO₂ üretim miktarları hesaplanmıştır.

$$\text{Hesaplama: CO}_2 = 0.044 * T * V / [A * TM * KM]$$

T= titrasyon işleminde harcanan 1 N HCl asit miktarı (ml)

V= %25 KOH çözeltisinin toplam hacmi (ml)

A= behere ilave edilen KOH miktarı (ml)

TM= silaj örneğinin ağırlığı (kg)

KM= silaj örneğinin kuru madde miktarı (g/kg)

3.2.2.2. Silaj Hesaplama Analizleri

3.2.2.2.1. Hesaplama ile belirlenen parametreler

Söz konusu hesaplamalar Filik (2020)'in bildirdiğine göre gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Toplam Karbonhidrat (TK, g/kg KM)} = 100 - [\text{HP} + \text{HY} + \text{HK}]$$

$$\text{Hemiselüloz} = [\text{NDF}\% - \text{ADF}\%]$$

$$\text{Nitrojen İçermeyen Ekstrakt (NFE, g/kg)} = [\text{KM} - (\text{HP} + \text{HK} + \text{HY} + \text{HS})]$$

$$\text{Lif Olmayan Karbonhidratlar (LOK, g/kg)} = 100 - [\text{NDF} + \text{HP} + \text{HY} + \text{HK}]$$

3.2.2.2.2. Metabolize edilebilir enerji ve protein değeri hesaplamaları

Metabolize edilebilir enerji ve protein değerleri Filik (2020)'in bildirdiğine göre hesaplanmıştır.

$$\text{SHP (Sindirilebilir Ham Protein, \%)} = \text{HP} \cdot 0.908 - 3.77$$

$$\text{TSM (Toplam Sindirilebilir Besin Maddeleri, \%)} = 50.41 + 1.04 \text{ HP} - 0.07 \text{ HS}$$

$$\text{SE (Sindirilebilir Enerji, Mcal/kg)} = 0.04409 \cdot \text{TSM}\%$$

$$\text{ME (Metabolik Enerji, Mcal/kg)} = 0.82 \cdot \text{SE} \quad (50\% \text{ TSM: } 6.40 \text{ MJ/kg Kuru Maddedeki ME})$$

$$\text{NE}_L \text{ (Net Enerji Laktasyon, Mcal/kg)} = [0.0245 \cdot \text{TSM} (\%) - 0.12]$$

$$\text{NE}_M \text{ (Net enerji Yaşama Payı, Mcal/kg)} = 1.37 \text{ ME} - 0.138 \text{ ME}^2 + 0.0105 \text{ ME}^3 - 1.12$$

$$\text{NE}_G \text{ (Net Enerji Verim Payı, Mcal/kg)} = 1.42 \text{ ME} - 0.174 \text{ ME}^2 + 0.0122 \text{ ME}^3 - 1.65$$

3.2.2.2.3. Nispi yem değeri ve nispi yem kalitesi hesaplamaları

Nispi yem değeri ve nispi yem kalitesi parametreleri Kılıç ve Abdiwali (2016) ve Filik (2020)'in bildirdiğine göre hesaplanmıştır.

$$\text{SKM (Sindirilebilir Kuru Madde, \%)} = 88.9 - [0.799 \cdot \text{ADF}\%]$$

$$\text{KMT (Kuru Madde Tüketimi, \%)} = 120 / [\text{NDF}\%]$$

$$\text{NYD (Nispi yem değeri)} = [\text{SKM} \cdot \text{KMT}] / 1.29$$

$$\text{NYK (Nispi yem kalitesi)} = [\text{KMT} \cdot \text{TSM}] / 1.23$$

Kaba yem kalitesinin değerlendirilmesinde, “The Hay Marketing Task Force of the American Forage and Grassland Council” tarafından oluşturulan sınıflandırmaya göre Nispi Yem Değeri (NYD) açısından “5” (151) değeri en yüksek kaliteyi ifade etmektedir (Kılıç ve Abdiwali, 2016). Süt sığırlarında kaba yem kalitesinin belirlenmesinde kullanılan Nispi Yem Kalitesi (NYK) kriterine göre ise; “140–160” aralığındaki yemler inekler ve ilk 3 aylık buzağılar için uygun kabul edilirken, “125–150” aralığındaki yemlerin ineklerin laktasyonunun son 200 günü ile 3–12 aylık besi sığırlarında kullanılabileceği belirtilmektedir. “115–130” aralığı düveler ve 12–18 aylık besi danası ya da buzağılar için uygun olurken, “100–120” aralığındaki yemlerin ise 18–24 aylık düveler ile kurudaki ineklerin beslenmesinde değerlendirilebileceği ifade edilmektedir (Filik, 2020).

3.2.2.3. Silaj Fiziksel Analizleri

Araştırmada silajların renk, dış görünüş, pH değeri gibi fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla aşağıdaki analizler yapılmıştır.

3.2.2.3.1. Sıcaklık analizi

Açılan silajların 4 farklı noktasından dijital termometre ölçer yardımıyla silaj paketlerinin farklı katmanlardaki sıcaklık değerleri elde edilmiştir (Filik ve Filik, 2021).

3.2.2.3.2. Renk analizi

Silaj numuneleri açıldıktan sonra renk ölçümleri Konica-Minolta CR-410 renk ölçer cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler silajın dört farklı noktasından alınmış ve L*, a* ile b* renk parametreleri kaydedilmiştir. Bu sistemde L* değeri parlaklığı (0 siyah, 100 beyaz), a* değeri kırmızı-yeşil eksenini (+a kırmızı, -a yeşil) ve b* değeri ise sarı-mavi eksenini (+b sarı, -b mavi) temsil etmektedir. Elde edilen a* ve b* değerleri kullanılarak aşağıdaki formüller yardımıyla Chroma (C*, doygunluk indeksi) ve hue açısı (h°) değerleri hesaplanmıştır. Kroma $[(C^*, \text{doygunluk indeksi}) = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$. Ton açısı $[(h^\circ) = h^\circ_{ab} = \arctan(b^*/a^*)]$ (AMSA, 2012; Çayiroğlu ve ark., 2020; Filik ve Filik, 2021).

3.2.2.3.3. pH analizi

Silaj örneklerinin pH değerleri, kalibrasyonu yapılmış elektronik pH metre (Eutech Instruments pH 700, Nijkerk, Netherlands) kullanılarak belirlenmiş ve ölçüm sonuçları kayıt altına alınmıştır.

3.2.2.4. Silaj Mikrobiyolojik Analizleri

3.2.2.4.1. LAB sayımı

Silajlar açıldıktan sonra her paketten 10 g örnek alınmıştır. Devamında örnekler otoklavlanıp erlene aktarılmıştır. Her erlen içerisine 90 ml izotonik su ilave edilmiştir. Dilüsyon işlemi 10^4 , 10^5 ve 10^6 oranlarına kadar gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan dilüsyonlardan 1 ml steril petri kutularına alınarak ve 45 °C'ye kadar soğutulularak MRS Agar'dan 15 ml Petri kutusuna dökülmüştür. Anaerobik şartlar altında 30 °C'de 3 gün süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda gelişen koloniler sayılarak, LAB spp. sayısı bulunmuştur (Seale ve ark., 1990).

3.2.2.4.2. Maya sayımı

Silajlar açıldıktan sonra her paketten 10 g örnek alınarak sterilize edilmiş erlenlere aktarılmıştır. Her erlene 90 ml izotonik su ilave edilerek homojen karışım sağlanmış ve örnekler 10^4 , 10^5 ve 10^6 dilüsyon seviyelerine kadar seyreltilmiştir. Hazırlanan dilüsyonlardan 1 ml alınarak steril Petri kaplarına aktarılmış, ardından 45 °C'ye kadar soğutulmuş Malt Extract Agar ortamından yaklaşık 15 ml eklenmiştir. 30 °C'de 2-4 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra gelişen koloniler toplam maya olarak sayılmıştır (Seale ve ark., 1990).

3.2.3. İstatistiksel Analizler

Çalışmadan elde edilen verilerin istatistiksel analizi SAS (2001) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneme düzenine uygun olarak tesadüf parselleri deneme planı çerçevesinde veriler General Linear Model (PROC GLM) prosedürü ile varyans analizine tabi tutulmuştur. Deneme grupları arasındaki doğrusal ilişkiler ise aynı programda ortogonal polinom kontrast analizi kullanılarak belirlenmiştir.

Gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde çoklu karşılaştırma testlerinden Duncan testi uygulanmıştır (Genç ve Soysal, 2018).

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Nanoemülsiyon çözeltisine ait bulgular ve tartışma

Zeytinyağı bazlı ayva çekirdeği ve aloe veradan elde edilen nanoemülsiyon çözeltisinin en iyi fizikokimyasal ve antioksidan değerleri gösteren gruplarının belirlenmesi amacıyla yapılan analiz sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Zeytinyağı bazlı ayva çekirdeği ve aloe veradan elde edilen (AZA)nanoemülsiyon çözeltinin fizikokimyasal ve antioksidan analizi

Grup	AZA
pH	7.19±0.04
%İnhibisyon Değeri	8.83 ± 0.01
L*	94.67±0.18
a*	-5.18±0.15
b*	12.64±0.73
Yoğunluk	0.9930±0.001

AZA nanoemülsiyon numunesinin pH değeri 7.19±0.04 sabit değeri olarak belirlenmiştir. Bu değer nanoemülsiyon çözeltisinin genel olarak nötr bir pH aralığında yer aldığını göstermektedir. Benzer şekilde, McClements (2015), çalışmasında bildirildiği üzere, gıda bazlı nanoemülsiyonların pH değerleri tipik olarak 6.0 ile 7.5 arasında değişmektedir ve bu değerlerin sistemde kullanılan sulu faza ve emülgatör türüne bağlı olduğunu belirtmiştir. Bu açıdan bakıldığında, elde edilen pH sonucu literatürle tutarlı olup, uçucu yağlar içeren nanoemülsiyon sistemleri üzerine yapılan bir çalışmada ise pH değerlerinin 4.5 ile 6.5 arasında değiştiği ve bunun formülasyondaki aktif bileşenlerin kimyasal yapısına bağlı olduğu belirtilmiştir (Donsi ve Ferrari, 2016).

pH'nin nanoemülsiyon stabilitesi üzerindeki etkisi de literatürde vurgulanmaktadır. Tadros ve ark. (2004), pH'nin 3–10 aralığında nanoemülsiyon sistemlerinde stabiliteyi koruyabileceğini, ancak nötr pH'ya yakın sistemlerin daha stabil olduğunu belirtmişlerdir.

Sonuç olarak, elde edilen pH değeri nanoemülsiyon sistemleri için literatürde bildirilenlerle tutarlı olup, formülasyon bileşenlerine bağlı olarak hafif bir değişkenlik göstermektedir. Özellikle nötr pH aralığına yakın değerlerde hazırlanan nanoemülsiyonların hem fiziksel stabilite hem de potansiyel biyolojik uygulamalar açısından uygun özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Kontrol grubunun absorbansı 2.231 olarak ölçülmüştür ve inhibisyon yüzdesi bu referans değere göre hesaplanmıştır. Analiz sonuçları nanoemülsiyon grubunun en

yüksek DPPH inhibisyon değerinin %8,830 olduğunu göstermiştir. Ölçüm üç kez tekrarlanmış ve düşük standart sapma sonucu güvenilirliğini desteklemiştir.

Formülasyon oranı incelendiğinde, AZA grubunun (20 mL ayva çekirdeği, 15 mL zeytinyağı, 20 mL aloe vera, 10 mL Tween 80 ve 35 mL saf su) yüksek zeytinyağı içeriği ve ayva çekirdeği ile aloe vera arasındaki dengesi sayesinde öne çıktığı açıktır. Bu durum zeytinyağındaki hidroksitirosol ve diğer fenolik bileşiklerin DPPH radikallerini etkili bir şekilde temizlediğini belirten literatürle uyumludur. Liu ve ark. (2022) limon esansiyel yağı nanoemülsiyonlarındaki DPPH inhibisyonunun saf yağa kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğunu (%8,74) bildirmiş ve bunu küçük damlacık boyutuna ve geniş yüzey alanına bağlamıştır. Da Silva ve ark. (2023), kekik yağı, karvakrol ve timol nanoemülsiyonlarındaki DPPH inhibisyonunun %45'in üzerine çıktığını belirtmiş ve nanoemülsiyon formunun serbest radikallerle teması artırdığını vurgulamıştır. Sravani ve ark. (2024), aloe vera jeli ile hazırlanan nanoemülsiyonlardaki antioksidan aktivitenin jel-yağ oranına bağlı olarak arttığını ve en iyi formülasyonun homojen damlacık dağılımı ile yüksek DPPH kapasitesi sağladığını bildirmiştir. Bu çalışmalar, mevcut çalışmadaki AZA formülasyonunun yüksek inhibisyon değerini açıklamaktadır. Nanoemülsiyonun küçük partikül boyutu ve Tween 80 emülgatörü sayesinde biyoaktif bileşenlerin stabilitesi ve biyoyararlanımı artmıştır (McClements, 2012; Solans ve Solé, 2012).

Literatürde, DPPH yönteminin lipofilik bileşiklerin antioksidan kapasitesini tam olarak yansıtmayabileceği de belirtilmektedir (Prior ve ark., 2005). Donsi ve Ferrari (2016), uçucu yağ bazlı nanoemülsiyonlardaki antioksidan aktivitenin formülasyon bileşimine (yağ/su oranı, emülgatör türü) bağlı olarak değiştiğini ve bazı sistemlerde düşük sonuçlar elde edilebileceğini bildirmiştir. Nanoemülsiyonların antioksidan performansı sadece konsantrasyona değil, aynı zamanda damlacık boyutuna, zeta potansiyeline ve emülgatör türüne de bağlıdır (Solans ve Solé, 2012). Sonuç olarak, bulgular nanoemülsiyon formülasyonunun ayva çekirdeği-aloe vera hidrojelinin antioksidan bileşenlerini stabilize ederek DPPH radikal temizleme kapasitesini artırdığını göstermektedir. Genel antioksidan kapasitesi literatürde bildirilen bazı bitkisel yağ nanoemülsiyonlarından daha düşük olsa da, üç katlı tekrar ve düşük standart sapma sonucun güvenilirliğini teyit etmektedir.

L* değeri nanoemülsiyon grubunda 94.67 ± 0.18 değerinde hesaplanmıştır. Bu sonuç formülasyonun daha açık, parlak ve saydam bir yapıya sahip olduğunu

göstermektedir. Bu durum nanoemülsiyon damlacıklarının küçük ve homojen dağılım göstermesi sonucu ışık saçılımının azalmasıyla ilişkilendirilebilir.

Nanoemülsiyon çözelti grubunun a^* değerinin negatif olması, sistemin yeşil tonlara eğilimli bir renk karakteri sergilediğini ortaya koymuştur. a^* değeri -5.18 ± 0.15 olarak ölçülmüştür. Bu durum, aloe vera jelinin doğal yeşilimsi bileşenleri ve ayva çekirdeği müsilaajının renksiz ya da yarı saydam yapısının kırmızı tonları baskılamasıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca, nanoemülsiyon damlacıklarının yüzeyinde yer alan hidrofilik bileşenlerin ışığı seçici olarak yansıtması da bu renk eğilimine katkı sağlamış olabilir.

b^* değerlerinin sonucunun pozitif olması nanoemülsiyon çözeltisinin genel olarak sarı tonlara eğilimli olduğunu göstermektedir. Bu durum zeytinyağında bulunan karotenoidlerin ve fenolik bileşiklerin renk üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Sarılık değerindeki artış yağ fazının nano ölçekte etkin bir şekilde dağılmasıyla birlikte lipofilik pigmentlerin sistem genelinde daha homojen dağılmasına bağlanabilir.

Nanoemülsiyon sisteminde yüksek L^* ve b^* değerlerinin birlikte gözlemlenmesi genellikle yüksek fizikokimyasal stabilite ve iyi emülsiyon homojenliği ile ilişkilendirilmektedir.

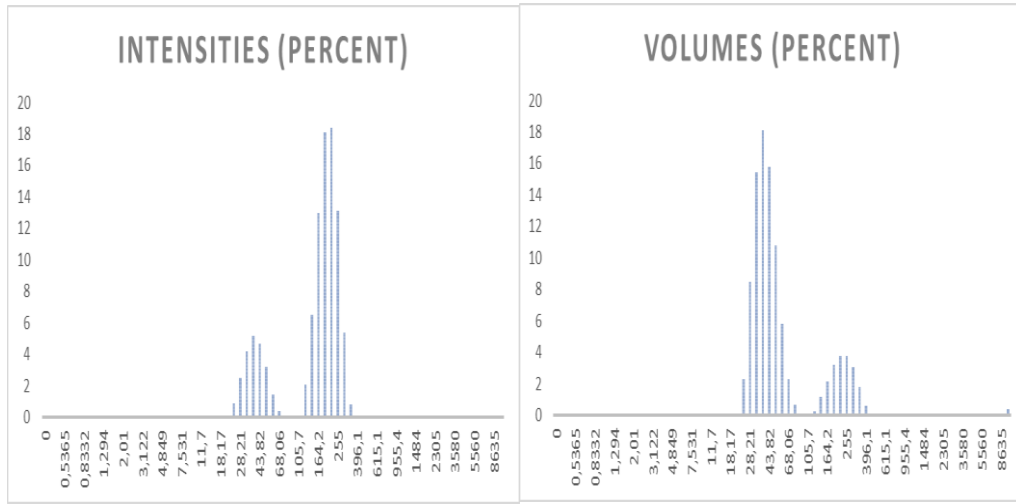
Silaj katkı maddelerinde renk yapısının açık ve homojen olması, uygulama sürecinde görsel kaliteyi artırmasının yanı sıra tüketici algısı ve ürün standardizasyonu açısından da avantaj sağlamaktadır. Bu doğrultuda, daha yüksek L^* değerine sahip nanoemülsiyon uygulamalarının silaj kullanımında daha uygun bir özellik gösterdiği değerlendirilmektedir.

Nanoemülsiyonun yoğunluğu 0.9930 ± 0.001 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Bu değer, suyun yoğunluğuna oldukça yakın olup, sistemin büyük oranda sulu faz içerdiğini göstermektedir. Nanoemülsiyon sistemlerinde yoğunluk, bileşim, faz oranı ve kullanılan bileşenlerin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişir. Literatürde nanoemülsiyonların yoğunluklarının genellikle 0.95–1.05 g/cm³ aralığında olduğu ve bu değerlerin sistemdeki su-y yağ oranına bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir (McClements, 2015). Tadros ve ark. (2004), çalışmalarında yağ faz oranındaki bir artışın yoğunlukta bir azalmaya yol açabileceğini, suda çözünen bileşenlerdeki bir artışın ise yoğunlukta bir artışa neden olabileceğini belirtmişlerdir.

Nanoemülsiyonun yoğunluk değeri sistemin kararlılığı hakkında dolaylı bilgiler de sağlar. Suyun yoğunluğuna yakın bir değer faz ayrışması riskinin düşük olduğunu gösterir ve sistemin kinetik olarak daha kararlı olabileceğini düşündürür (Solans ve

Solé, 2012). Bu çalışmada elde edilen değerin 1 g/cm³ civarında olması nanoemülsiyonun homojen ve kararlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Sonuç olarak, nanoemülsiyon çözeltisinin yoğunluk değerinin literatürde belirtilen aralıkta olduğu ve suya yakın değerler sergilediği belirlenmiştir. Nanoemülsiyon yoğunluğu, partikül dağılımı, stabilite ve viskozite ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek yoğunluk değerleri, nanoemülsiyonların daha kompakt ve kararlı olduğunu gösterirken, düşük yoğunluklar hafif, akışkan ve daha az yoğun sistemler ile ilişkilidir. Silaj katkı maddelerinde yoğunluk uygulama ve dağılım kolaylığı açısından önemli bir parametredir. Çok yoğun nanoemülsiyonlar uygulanırken viskozite yüksek olacağından homojen dağılım zorlaşabilir, çok düşük yoğunluk ise faz ayrışmasına yatkın olabilir.

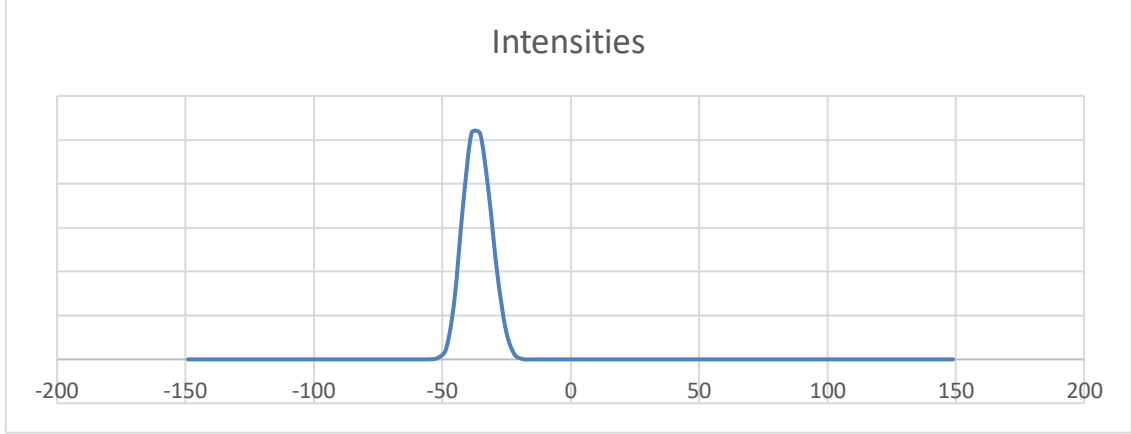


Şekil 4.1. AZA nanoemülsiyon çözelti grubuna ait partikül boyutu değerleri

Yapılan ölçümler neticesinde örnekte ortalama partikül boyutu (Z-average) 487.6 nm olarak belirlenmiştir. Dinamik ışık saçılımı (DLS) sonuçlarına göre AZA nanoemülsiyon çözeltisinin yoğunluk (intensities) ve hacim (volumes) bazlı dağılım grafikleri incelendiğinde, sistemin bimodal bir karakter sergilediği gözlemlenmektedir. Yoğunluk grafiğinde 40 nm ve 200 nm civarında iki farklı popülasyon gözlemlenirken, hacim grafiği 40 nm civarındaki küçük damlacıkların sistemin baskın fazını oluşturduğunu göstermektedir.

Literatürde nanoemülsiyonların tipik olarak 20–500 nm aralığında olduğu belirtilmektedir (McClements, 2011). AZA nanoemülsiyon çözeltisinin 487.6 nm'lik ortalama boyutu bu aralığın üst sınırına yakın olsa da hacim bazlı grafikte küçük damlacıkların baskınlığı, formülasyonun nano ölçekte başarılı olduğunu

desteklemektedir. Benzer bir çalışmada, bitkisel yağlar ve doğal yüzey aktif maddeler kullanılarak hazırlanan emülsiyonlarda gözlemlenen bimodal dağılımın yağ fazındaki çeşitli bileşenlerin (kuşburnu tohumu yağı ve zeytinyağı karışımı gibi) emülsifiye olma hızlarındaki farklılıklara atfedilebileceği bildirilmiştir (Silva ve ark., 2012).



Şekil 4.2. AZA nanoemülsiyon çözelti grubuna ait zeta potansiyel değeri

Sistemin fiziksel stabilitesinin en önemli göstergesi olan zeta potansiyeli, AZA nanoemülsiyon çözeltisinde -38.6 mV olarak ölçülmüştür. Bu değer parçacık yüzeyindeki elektrik yükünün oldukça güçlü olduğunu ve damlacıklar arasında yeterli elektrostatik itme kuvvetleri oluşturduğunu göstermektedir. Genel olarak, mutlak değeri 30 mV'den büyük (± 30 mV) zeta potansiyeli değerinin koloidal sistemlerin uzun süreli depolama sırasında agregasyona (topaklanmaya) dirençli olduğunu gösterdiği kabul edilmektedir (Honary ve Zahir, 2013). Elde edilen -38,6 mV değeri formülasyonda kullanılan Aloe vera ve bitki yağı içeriğindeki anyonik grupların (serbest yağ asitleri ve polisakkaritler) yüzeyde negatif bir yük tabakası oluşturduğunu göstermektedir. He ve ark. (2010), tarafından yürütülen bir çalışmada doğal bitki özleri içeren nanoemülsiyonlarda -35 mV civarındaki değerlerin damlacıkların birbirine yaklaşmasını önleyerek faz ayrışmasını (krema oluşumu veya birleşme) en aza indirdiği belirtilmiştir.

Sonuç olarak, AZA nanoemülsiyon çözeltisinin yüksek zeta potansiyeli, her ne kadar ortalama partikül boyutu yüksek olsa da, sistemin fiziksel olarak stabil kalacağını ve silaj kalitesini artırmada homojen bir dağılım sergileyeceğini ortaya koymaktadır.

Formülasyon bileşiminin analizi ayva çekirdeği jeli, aloe vera jeli ve zeytinyağı arasındaki dengenin emülsiyonun stabilitesini ve işlevsel özelliklerini belirlemede kilit bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, Tween 80'in varlığının sistem içinde homojen damlacık dağılımını teşvik ederek stabiliteyi artırdığı açıktır. Ön testlere dayanarak farklı oranlar arasında en uygun stabiliteyi sağlayan formülasyonun %20

ayva çekirdeği jeli, %20 aloe vera jeli, %15 zeytinyağı, %10 Tween 80 ve %35 damıtılmış su içeren AZA nanoemülsiyon çözeltisi olduğu belirlenmiştir.

4.2. Silaja ait Bulgular ve Tartışma

Fizikokimyasal stabilite, homojen yapı ve antioksidan aktivite birlikte değerlendirildiğinde, AZA nanoemülsiyon çözeltisinin tarımsal uygulamalarda katkı maddesi olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu gösterilmektedir. Antioksidan özelliklerin silaj fermentasyon süreci sırasında oksidatif bozulmayı sınırlamak ve yem kalitesini korumak için özellikle önemli olduğu iyi bilinmektedir. Bu nedenle en uygun özellikleri sergileyen AZA nanoemülsiyon çözeltisi mısır silajı uygulamalarında kullanılmak üzere seçilmiştir ve çalışmanın bir sonraki aşaması silaj kalite parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek üzere devam etmiştir.

Tablo 4.2. Açım sonrası silajlara ait kimyasal analiz sonuçları

Grup ^{1,2}	MK+	MK-	M0.5	M1	M2	M4	P
KM	938.55±0.45 ^b	936.75±0.55 ^c	939.70±0.20 ^b	941.55±0.25 ^a	939.75±0.25 ^b	939.65 ±0.25 ^b	0.0010
OM	91.77±0.01 ^b	91.98±0.05 ^a	90.82±0.02 ^d	91.02±0.03 ^c	90.67±0.02 ^e	90.68±0.02 ^e	<.0001
HK	8.23±0.01 ^d	8.02±0.05 ^e	9.19±0.03 ^b	8.98±0.03 ^c	9.33±0.02 ^a	9.33±0.02 ^a	<.0001
HP	10.83±0.04 ^e	12.59±0.14 ^d	16.42±0.03 ^b	16.17±0.02 ^c	16.77±0.04 ^a	16.65±0.03 ^a	<.0001
HY	3.86±0.09 ^c	4.10±0.02 ^{ab}	3.87±0.03 ^c	3.95±0.01 ^{bc}	4.21±0.03 ^a	3.90±0.04 ^c	0.0063
HS	27.37±0.08 ^a	26.44±0.12 ^b	24.20±0.04 ^e	24.99±0.04 ^c	24.32±0.03 ^e	24.54±0.04 ^d	<.0001
ADF	38.60±0.22 ^a	37.15±0.14 ^b	30.68±0.03 ^e	31.58±0.02 ^c	31.42±0.02 ^d	31.11±0.04 ^d	<.0001
ADFom	30.37±0.23 ^a	29.13±0.09 ^b	21.50±0.01 ^e	22.60±0.05 ^c	22.09±0.04 ^d	21.78±0.06 ^e	<.0001
NDF	57.63±0.11 ^a	51.71±1.08 ^b	51.86±0.01 ^b	51.23±0.04 ^b	52.06±0.04 ^b	52.43±0.01 ^b	0.0004
NDFom	49.40±0.10 ^a	43.69±1.03 ^b	42.67±0.01 ^b	42.25±0.01 ^b	42.73±0.02 ^b	43.11±0.02 ^b	0.0001
TK	77.08±0.05 ^a	75.31±0.07 ^b	70.54±0.02 ^d	70.91±0.03 ^c	69.70±0.02 ^f	70.13±0.02 ^e	<.0001
LOK	19.45±0.16 ^b	23.60±1.02 ^a	18.68±0.04 ^{ab}	19.68±0.06 ^b	17.64±0.06 ^c	17.70±0.03 ^c	0.0005
NFE	49.71±0.14 ^a	48.87±0.05 ^b	46.34±0.01 ^c	45.92±0.06 ^d	45.39±0.05 ^e	45.60±0.02 ^e	<.0001

¹KM: Kuru madde (%), OM: Organik madde (%), HK: Ham kül (%), HP: Ham protein (%), HY: Ham yağ (%), HS: Ham selüloz (%), ADF: Asit deterjanda çözünmeyen lif (%), NDF: Nötr deterjanda çözünmeyen lif (%), TK: Toplam karbonhidrat (g/kg), LOK: Lif olmayan karbonhidratlar (g/kg), NFE: Nitrogen free extract (Nitrojen içermeyen ekstrakt) (g/kg), MK+: musluk suyu+mısır silajı (kontrol), MK-: susuz kontrol (yalnız mısır), M0.5: 0.5 ml AZA+ mısır, M1: 1 ml AZA+mısır, M2: 2 ml AZA+mısır, M4: 4 ml AZA+mısır, ¹ADFom = ADF – Kül, NDFom=NDF – Kül

² a. b. c. d Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Bu bölümde mısır bitkisine kontrol gruplarında mısır + musluk suyu (K+), sadece mısır (K-), mısır + 0.5 ml AZA (M0.5), mısır + 1 ml AZA (M1), mısır + 2 ml AZA (M2), mısır + 4 ml AZA (M4) olacak şekilde Silajlar hazırlanarak 90 günlük silolama sürecine bırakılmış, sürenin tamamlanmasının ardından açılan çalışma gruplarında silaj kalite parametreleri ile fermantasyon özellikleri, aerobik stabilite ve mikroorganizma gelişimine ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Tablo 4.2’de ise silolama sürecinin tamamlanmasının ardından açılan silaj örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları sunulmaktadır. Silaj örneklerine ait kimyasal analiz verileri incelendiğinde, farklı katkı düzeylerinin birçok parametre üzerinde istatistiksel olarak anlamlı değişimlere neden olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Elde edilen bulgular, silaj katkı maddelerinin fermantasyon sürecini yönlendirme ve besin maddesi kayıplarını sınırlama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Kuru madde (%KM) içerikleri sırasıyla 938.55, 936.75, 939.70, 941.55, 939.75 ve 939.65 g/kg şeklindedir. En yüksek kuru madde (KM) içeriği M1 941.55 g/kg ile M2 grubunda bulunmuş ve en düşük ise AZA nanoemülsiyon çözeltisi uygulanan gruplar arasında 936.75 g/kg, yani M0.5 grubunda bulunmuştur. Bu durum katkı maddelerinin fermantasyon sırasında meydana gelen kayıpları azaltarak kuru maddeyi korumaya yardımcı olduğunu göstermektedir. Literatürde ayrıca silaj katkı maddelerinin fermantasyon sürecini optimize ederek kuru madde kayıplarını en aza indirebileceği ve ürünün stabilitesini artırabileceği belirtilmektedir (McDonald ve ark., 1991; Kung ve Shaver, 2001). Organik madde (OM) içeriklerinde katkı düzeyine bağlı olarak görülen azalma, fermantasyon süreci sırasında organik bileşenleri enerji kaynağı olarak kullanan mikroorganizmalara bağlanabilir. Bu bulgu laktik asit bakterileri tarafından çözünür karbonhidratların metabolizmasının organik madde bileşiminde değişikliklere yol açtığını bildiren çalışmalarla tutarlıdır (Weinberg ve Muck, 1996).

Ham kül (HK) ve ham protein (HP) değerleri MK+, MK-, M0.5, M1, M2 ve M4 sırasıyla 8.23, 8.02, 9.19, 8.98, 9.33, 9.33 ve 10.83, 12.59, 16.42, 16.17, 16.77 ve 16.65 olarak belirlenmiştir. En yüksek HK içeriği M2 ve M4 grubunda, en düşük HP içeriği ise MK+ ve MK- grubunda bulunup, gruplar arasında istatistiksel olarak farklılıklar belirlenmiştir. Silajların ham protein (HP) içerikleri incelendiğinde, kontrol gruplarına kıyasla artış olduğu tespit edilmiştir ($P<0.001$). Ham kül incelendiğinde kontrol gruplarına göre artış gösterdiği belirlenmiştir. Kung ve ark. (2003), çalışmalarında katkı uygulamalarının silajın inorganik fraksiyonunu artırabileceğini

literatürde de ifade etmektedir. McDonald ve ark. (1991) ise çalışmalarında uygun fermantasyon koşullarında protein parçalanmasının yavaşlatıldığı ve bu sayede protein içeriğinin daha iyi korunduğu bildirmişlerdir.

Silajların ham yağ (%HY) içeriklerinin eklenen AZA nanoemülsiyon çözeltisinden etkilenecek değişkenlik gösterdiği ve en yüksek %HY içeriğinin M2 grubunda olduğu belirlenmiştir. Ham selüloz (%HS) içerikleri MK+, MK-, M0.5, M1, M2 ve M4 sırasıyla %27.37, 26.44, 24.20, 24.99, 24.32 ve 24.54 olarak bulunmuştur. %HS değerlerinin muamele gruplarında kontrollerine göre düştüğü belirlenmiş olup, en yüksek %HS değeri 27.37 ile MK+ grubunda, en düşük ise 24.20 ile M0.5 gruplarında bulunmuş ve aralarındaki farklılıklar önemli bulunmuştur ($P<0.001$). Van Soest (1994) çalışmasında, lipit fraksiyonunun fermantasyon sürecinden diğer besin bileşenlerine kıyasla daha az etkilenmesiyle silaj fermantasyonu sırasında yağ bileşenlerinin nispeten stabil kaldığını bildiren çalışmasıyla örtüşmektedir. Silajların ADF değerlerine bakıldığında, MK+, MK-, M0.5, M1, M2 ve M4 sırasıyla 38.60, 37.15, 30.68, 31.58, 31.42 ve 31.11 olarak belirlenmiş olup, gruplar arasındaki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. AZA nanoemülsiyon çözeltisinin püskürtüldüğü gruplarda gözlemlenen ham selüloz (HS), ADF ve NDF değerlerindeki azalma, silaj kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemli bir bulgudur. Lif fraksiyonlarındaki bu azalma, hücre duvarı bileşenlerinin parçalanması ve daha sindirilebilir formda bileşiklerin oluşmasıyla açıklanabilir. Van Soest (1994), çalışmasında daha düşük ADF ve NDF değerlerinin yemin sindirilebilirliğinin arttığını gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca, Muck (2010), çalışmasında katkı maddelerinin lif yapısını kısmen parçaladığını ve böylece rumen mikroorganizmaları için daha erişilebilir hale getirdiğini bildirmiştir. Grupların NDF değerleri incelendiğinde ise MK+, MK-, M0.5, M1, M2 ve M4 sırasıyla 57.63, 51.71, 51.86, 51.23, 52.06 ve 52.43 şeklinde bulunmuştur. Verilerden de anlaşılaacağı üzere, AZA nanoemülsiyon çözelti ilavesi tüm muamele gruplarında ADF değerlerini düşürmüş ve NDF içeriklerinde ise MK- grubuna göre M0.5, M2 ve M4 gruplarında artırmış, M1 grubu ise azalmıştır.

Tüm uygulama gruplarında toplam karbonhidrat (TK) değerlerinin kontrol gruplarına kıyasla azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde lif olmayan karbonhidrat (LOK) içerikleri de kontrol gruplarına göre düşüş göstermiştir. Nitrojensiz öz madde (NFE) değerlerinde ise tüm muamele gruplarında kontrole göre azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Takviye verilen gruplarda toplam karbonhidrat (TK) ve azotsuz

ekstrakt (NFE) değerlerinde gözlemlenen düşüş, fermantasyon sırasında mikroorganizmaların enerji kaynağı olarak kolayca çözünen karbonhidratları kullanmasına bağlanmaktadır. Bu bulgu, Weinberg ve Muck (1996), tarafından bildirilen fermantasyon dinamikleriyle tutarlıdır. LOK değerlerindeki düşüş de benzer şekilde, yapısal olmayan karbonhidratların tüketilmesine bağlanabilir. Genel olarak, katkı maddelerinin uygulanmasının silajın kimyasal bileşimi üzerinde, özellikle sindirilebilirliği artırmak için lif fraksiyonlarını azaltarak ve ham protein içeriğini koruyarak önemli yararlı etkiler sağladığı belirlenmiştir. Bu bulgular, literatürde bildirilen sonuçlarla büyük ölçüde uyumludur ve katkı maddesinin özellikle M1 ve M2 seviyelerinde daha etkili sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Açım sonrası silaj örneklerine ait sindirilebilirlik ve enerjiye ilişkin parametreler (SHP, TSM, SE, ME, NE_L, NE_M ve NE_G) incelendiğinde, katkı düzeylerinin tüm parametreler üzerinde istatistiksel olarak önemli etkiler oluşturduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Elde edilen bulgular, katkı maddelerinin silajın besleme değerini artırıcı yönde etkili olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Silajlara ait sindirilebilir ham protein (SHP), toplam sindirilebilir madde (TSM) ve enerji içeriklerine ait sonuçlar Tablo 4.3'te verilmiştir. Silajların SHP içerikleri incelendiğinde MK+, MK-, M0.5, M1, M2 ve M4 grupları sırasıyla 6.07, 7.66, 11.14, 10.91, 11.45, 11.35 ve 59.76, 61.65, 65.79, 65.48, 66.14 ve 66.00 değerinde bulunmuştur. SHP ve TSM değerleri incelendiğinde, SHP ve TSM değerlerinde de kontrol grubuna göre artış gözlenmiş ve gruplar arasındaki farklılıklar çok önemli bulunmuştur ($P<0.01$). McDonald ve ark. (1991), çalışmalarında silaj fermantasyonu sırasında proteolitik aktivitenin sınırlandırılması, protein kayıplarının azaltılmasına katkı sağlamakta olup, bu durumu literatürde de vurgulamaktadırlar. Silajların enerji içerikleri değerlendirildiğinde, sindirilebilir enerji (SE), metabolik enerji (ME), net enerji–laktasyon (NE_L), net enerji–yaşama payı (NE_M) ve net enerji–verim payı (NE_G) parametrelerinin tümünde gruplar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir ($P<0.01$; 0.05). Enerji değerlerindeki bu yükselme silajın daha yüksek besleme değerine sahip olduğunu ve hayvan performansını destekleyebileceğini göstermektedir. NRC (2011), çalışmasında enerji içeriğindeki artışın organik maddelerin daha etkin şekilde sindirilmesi ile ilişkili olduğu bildirilmektedir. Kontrol gruplarıyla (MK+ ve MK-) karşılaştırıldığında, takviye verilen gruplarda tüm enerji parametrelerinde önemli iyileşmeler gözlemlenmiş olup, fermantasyon sürecinin optimize edildiğinin, besin maddelerini koruduğunun ve sindirilebilirliği artırdığını göstermektedir.

Özellikle, M2 seviyesinin birçok parametrede en yüksek değerlere ulaşmış olması, bu dozun optimal takviye seviyesi olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 4.3. Silajların SHP ve enerji içerikleri

GRUP	MK+	MK-	M0.5	M1	M2	M4	P
SHP	6.07±0.03 ^e	7.66±0.12 ^d	11.14±0.03 ^b	10.91±0.02 ^c	11.45±0.03 ^a	11.35±0.02 ^a	<.0001
TSM	59.76±0.05 ^e	61.65±0.15 ^d	65.79±0.02 ^b	65.48±0.02 ^c	66.14±0.03 ^a	66.00±0.03 ^{ba}	<.0001
SE	2.64±0.01 ^e	2.72±0.01 ^d	2.90±0.00 ^{bc}	2.89±0.00 ^c	2.92±0.00 ^a	2.91±0.00 ^{ba}	0.0014
ME	2.16±0.00 ^e	2.23±0.00 ^d	2.38±0.00 ^b	2.37±0.00 ^c	2.39±0.00 ^a	2.39±0.00 ^a	0.0008
NE_L	1.35±0.00 ^{ec}	1.39±0.00 ^d	1.49±0.00 ^b	1.48±0.00 ^c	1.50±0.00 ^a	1.50±0.00 ^a	0.0008
NE_M	1.30±0.00 ^{ec}	1.37±0.01 ^d	1.50±0.00 ^b	1.49±0.00 ^c	1.51±0.01 ^a	1.51±0.01 ^a	0.0008
NE_G	0.73±0.00 ^e	0.79±0.01 ^d	0.91±0.00 ^b	0.90±0.00 ^c	0.92±0.00 ^a	0.91±0.00 ^b	0.0008

SHP: Sindirilebilir ham protein (%). TSM: Toplam sindirilebilir besin maddeleri (%). SE: Sindirilebilir enerji (Mcal/kg). ME: Metabolik enerji (Mcal/kg). NE_L: Net enerji-laktasyon (Mcal/kg). NE_M: Net enerji-yaşama payı (Mcal/kg). NE_G: Net enerji verim payı (Mcal/kg). MK+: musluk suyu+mısır silajı (kontrol). MK-: susuz kontrol (yalnız mısır). M0.5: 0.5 ml AZA+ mısır. M1: 1 ml AZA+mısır. M2: 2 ml AZA+mısır. M4: 4 ml AZA+mısır. *Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Tablo 4.4. Silajların yem kalite özellikleri

GRUP	MK+	MK-	M0.5	M1	M2	M4	P
SKM	58.83±0.17 ^e	59.97±0.11 ^d	65.00±0.02 ^a	64.30±0.02 ^c	64.43±0.03 ^{cb}	64.67±0.03 ^b	<.0001
KMT	2.09±0.00 ^b	2.32±0.05 ^a	2.31±0.00 ^a	2.34±0.00 ^a	2.31±0.01 ^a	2.29±0.00 ^a	<.0001
NYD	94.96±0.09 ^c	107.92±2.44 ^b	116.61±0.07 ^a	116.76±0.06 ^a	115.12±0.07 ^a	114.75±0.02 ^a	<.0001
NYK	101.16±0.28 ^c	116.37±2.71 ^b	123.78±0.01 ^a	124.70±0.15 ^a	123.95±0.04 ^a	112.82±0.03 ^a	<.0001

SKM: Sindirilebilir kuru madde (%). KMT: Kuru madde tüketimi. NYD: Nispi yem değeri. NYK: Nispi yem kalitesi. MK+: musluk suyu+mısır silajı (kontrol). MK-: susuz kontrol (yalnız mısır). M0.5: 0.5 ml AZA+ mısır. M1: 1 ml AZA+mısır. M2: 2 ml AZA+mısır. M4: 4 ml AZA+mısır. *Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Kontrol gruplarına kıyasla muamele gruplarında sindirilebilir kuru madde (SKM) içeriğinde bir artış gözlemlenmiştir. En düşük SKM değeri MK+ grubunda 58.83 iken, en yüksek değer M0.5 grubunda 65.00 olarak ölçülmüştür ($P < 0.05$). Kuru madde tüketimi (KMT) değerleri incelendiğinde, en düşük değer MK+ grubunda 2.09, en yüksek değer ise M1 grubunda 2.34 olarak belirlenmiştir. Nispi yem değeri (NYD) açısından, kontrol gruplarına kıyasla uygulama gruplarında sayısal olarak daha yüksek değerler elde edilmiştir. En düşük NYD değeri MK+ grubunda 94.96 iken, en yüksek değer M1 grubunda 116.76 olarak belirlenmiştir. Nispi yem kalitesi (NYK) değerleri incelendiğinde, kontrol gruplarına kıyasla uygulama gruplarında bir artış gözlemlenmiştir; en düşük değer MK+ grubunda 101.16, en yüksek değer ise M1 grubunda 124.70 olarak belirlenmiştir. NYK değerlerindeki bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P > 0.05$). Genel olarak değerlendirildiğinde, katkı maddesi uygulamalarının sindirilebilir kuru madde ve kuru madde tüketimini artırarak silajın besleme değerini iyileştirdiği, buna bağlı olarak nispi yem değeri ve kalite indeksinde de artış eğilimi oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak bazı parametrelerde istatistiksel anlamlılığın oluşmaması, katkı düzeyleri arasındaki farkların sınırlı olması veya biyolojik varyasyonla açıklanabilir.

Çalışmanın 90. gününde açılan silajlara ait fiziksel analiz sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir. Gruplar arasında suda çözünür karbonhidratlar (WSC) ve pH₁ değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir ($P < 0.0001$). En yüksek WSC ve pH₁ değerleri M2 grubunda sırasıyla 4.43 °Brix ve 4.43 gözlemlenirken, en düşük değerler M0.5 grubunda gözlemlenmiştir. WSC içeriğindeki artış, silaj fermentasyonu sırasında mikroorganizmalar için daha fazla substrat sağladığı için olumlu bir faktör olarak kabul edilir. Nitekim literatürde, yüksek WSC içeriğinin laktik asit bakterilerinin aktivitesini destekleyerek fermentasyon kalitesini artırdığı bildirilmektedir (McDonald ve ark., 1991; Kung ve Shaver, 2001). Sıcaklık değerleri incelendiğinde, kontrol grupları (MK+ ve MK-) ile M4 grubunun benzer ve daha yüksek sıcaklıklara yaklaşık 20 °C'ye sahip olduğu, buna karşın M0.5, M1 ve M2 gruplarındaki sıcaklıkların önemli ölçüde düştüğü tespit edilmiştir. Silaj sıcaklığındaki düşüş, daha istikrarlı bir fermentasyon süreci ve daha düşük mikrobiyal aktiviteyi göstermektedir.

Tablo 4.5. Silajlara ait fiziksel analiz sonuçları

GRUP	MK+	MK-	M0.5	M1	M2	M4	P
WSC (°Brix)	3.65±0.01 ^c	3.64±0.01 ^c	3.55±0.03 ^c	3.93±0.19 ^b	4.43±0.02 ^a	3.70±0.02 ^{cb}	<.0001
pH _i	3.65±0.01 ^c	3.64±0.01 ^c	3.55±0.03 ^c	3.93±0.19 ^b	4.43±0.02 ^a	3.70±0.02 ^{cb}	<.0001
Sıcaklık	20.20±0.00 ^a	20.37±0.17 ^a	17.85±0.02 ^c	18.05±0.02 ^{cb}	18.23±0.02 ^b	20.28±0.06 ^a	<.0001
L*	48.39±1.60 ^a	50.42±2.19 ^a	48.36±2.05 ^a	51.06±1.88 ^a	47.95±2.23 ^a	53.29±2.03 ^a	0.3970
a*	2.88±0.23 ^{ba}	1.98±0.12 ^b	4.02±0.36 ^a	4.40±0.46 ^a	3.61±0.35 ^{ba}	3.44±1.15 ^{ba}	0.0604
b*	24.86±0.64 ^b	25.75±1.24 ^{ba}	24.48±1.48 ^b	26.07±0.75 ^{ba}	24.35±0.66 ^b	29.44±2.13 ^a	0.0758
C*	25.03±0.64 ^b	25.83±1.23 ^{ba}	24.82±1.48 ^b	26.46±0.78 ^{ba}	24.63±0.71 ^b	29.70±2.27 ^a	0.0937
h°	83.38±0.52 ^{ba}	85.54±0.36 ^a	80.61±0.83 ^c	80.45±0.90 ^c	81.65±0.58 ^{bc}	83.82±1.45 ^{ba}	0.0009
ΔE*	54.48±1.70 ^a	56.66±2.45 ^a	54.36±2.49 ^a	57.51±1.98 ^a	53.91±2.29 ^a	61.12±2.57 ^a	0.2324

WSC: Suda çözünür karbonhidrat değeri (Brix derecesi 0–25°), L*: Açıklık (parlaklık), a*: Kırmızılık, b*: Sarılık, C*: Doygunluk (kroma), h: Renk tonu açısı, ΔE*: Toplam renk farkı, MK+: musluk suyu+mısır silajı (kontrol), MK-: susuz kontrol (yalnız mısır), M0.5: 0.5 ml AZA+ mısır, M1: 1 ml AZA+mısır, M2: 2 ml AZA+mısır, M4: 4 ml AZA+mısır,

*Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Tablo 4.6. Silajların açım zamanındaki mikroorganizma sayım sonuçları

GRUP	MK+	MK-	M0.5	M1	M2	M4	P
LAB, log10 kob/g	52.72±0.37 ^a	57.80±1.45 ^a	57.54±1.99 ^a	52.97±1.17 ^a	56.51±3.87 ^a	53.66±2.98 ^a	0.6438
Maya, log10 kob/g	1.40±0.68 ^a	1.47±0.10 ^a	1.94±1.09 ^a	2.24±0.19 ^a	2.36±0.25 ^a	2.43±0.13 ^a	0.8020
Küf, log10 kob/g	30.42±0.70 ^a	34.02±1.71 ^a	32.76±1.46 ^a	29.17±0.89 ^a	31.02±1.60 ^a	30.35±2.69 ^a	0.5429

MK+: musluk suyu+mısır silajı (kontrol), MK-: susuz kontrol (yalnız mısır), M0.5: 0.5 ml AZA+ mısır, M1: 1 ml AZA+mısır, M2: 2 ml AZA+mısır, M4: 4 ml AZA+mısır, *Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Renk parametreleri L^* , a^* , b^* , C^* , h° ve ΔE^* değerlendirildiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların genel olarak sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. L^* , a^* , b^* , C^* ve ΔE^* değerleri açısından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($P>0.05$).

Mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre, gruplar arasında laktik asit bakterileri (LAB), maya ve küf sayıları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($P>0.05$). LAB sayıları tüm gruplarda benzer bir aralıkta kalmıştır. Bu da kullanılan katkı maddesinin laktik asit bakterileri üzerinde inhibe edici bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Muck (2010), bazı katkı maddelerinin LAB büyümesini doğrudan artırmak yerine mevcut popülasyonu koruyarak fermantasyon stabilitesine katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, Oliveira ve ark. (2017), farklı katkı maddeleriyle hazırlanan silajlardaki LAB sayılarının çoğu durumda istatistiksel olarak değişmediğini bildirmiş ve bunu silajın başlangıçtaki mikrobiyal yüküne ve çevre koşullarına bağlamıştır. Bu bağlamda, mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle tutarlıdır.

Maya sayıları açısından değerlendirildiğinde, gruplar arasında istatistiksel bir fark gözlemlenmemiş olsa da ($P>0.05$), katkı maddesi dozuna bağlı olarak hafif artış eğilimleri gözlemlenmiştir. Maya popülasyonu aerobik stabilite açısından özellikle önemlidir ve bazı bitki kaynaklı veya biyoaktif bileşiklerin maya büyümesini inhibe edebileceği bildirilmiştir. Kung ve ark. (2018), çalışmalarında katkı maddelerinin maya üzerindeki etkisinin her zaman belirgin olmadığını ve bu etkinin özellikle düşük veya orta dozlarda istatistiksel olarak anlamlı olmayabileceğini belirtmiştir. Arriola ve ark. (2011) çalışmalarında takviye ilavesine rağmen maya sayımlarının benzer seviyelerde kaldığını vurgulamış ve bunu silaj fermantasyon süreci sırasındaki karmaşık mikrobiyal etkileşimlere bağlamıştır. Bu bulgu elde edilen sonuçların literatürde bildirilenlerle tutarlı olduğunu göstermektedir.

Küf sayıları incelendiğinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$). Ancak, bazı muamele gruplarında küf sayıları sayısal olarak daha düşüktür. Küf oluşumu genellikle oksijen varlığıyla ilişkilidir ve katkı maddelerinin bu mikroorganizmalar üzerindeki etkisi sınırlı olabilir. Filya (2003), silaj katkı maddelerinin küf oluşumunu tamamen önleyemeyebileceğini, ancak uygun koşullar altında bunu bir dereceye kadar azaltabileceğini bildirmiştir. McDonald ve ark. (1991), tarafından yapılan çalışmada küf sayılarının genellikle istatistiksel farklılıklar göstermediği ve bunun depolama koşulları ve aerobik maruziyetle daha yakından ilişkili

olduğu belirtilmiştir. Genel olarak, bu çalışmada mısır silajına uygulanan AZA nanoemülsiyon çözeltisinin mikrobiyal popülasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik yaratmadığı, ancak bazı parametrelerde sayısal iyileşmelere yol açtığı görülmektedir. Benzer şekilde, literatürde katkı maddelerinin etkilerinin her zaman istatistiksel düzeyde ortaya çıkmadığı, ancak fermentasyon kalitesinin korunmasında rol oynayabileceği belirtilmektedir. Bu sonuçlar, katkı maddesinin mikrobiyal dengeyi bozmadığını ve daha belirgin etkiler elde etmek için doz optimizasyonu veya farklı kombinasyonların değerlendirilmesinin gerekli olduğunu göstermektedir.

Aerobik stabilite sonrası ile ilgili parametrelerin analizi, katkı maddesinin uygulanmasının silaj kalitesi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Gruplar arasında aerobik stabilite sonrası KM değerleri açısından anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir. Katkı maddesi seviyesi arttıkça kuru madde kaybının azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek aerobik stabilite KM değerleri M2 ve M4 gruplarında gözlemlenirken, kontrol gruplarında daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu katkı maddesinin silajın aerobik stabilitesini artırarak besin kaybını sınırladığını göstermektedir. Kung ve ark. (2018), artan aerobik stabilitenin kuru madde kaybının azalmasıyla doğrudan ilişkili olduğunu ve belirli katkı maddelerinin bu etkiyi özellikle artırabileceğini bildirmiştir. pH değerlerinin analizi gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle katkı maddeleri uygulanan gruplarda pH seviyelerinin daha düşük değerlere düştüğü tespit edilmiştir. En düşük pH değerlerinin M1, M2 ve M4 gruplarında gözlemlenmesi bu gruplarda daha etkili bir fermentasyon sürecinin gerçekleştiğini göstermektedir. Silajda düşük pH istenmeyen mikroorganizmaların büyümesini sınırlayarak ürün stabilitesini artırır. Bu bulgular katkı maddelerinin fermentasyon sürecini hızlandırarak pH'ın düşmesini desteklediğini belirten Muck (2010) tarafından bildirilen sonuçlarla tutarlıdır.

CO₂ üretimi açısından değerlendirildiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur. CO₂ değerleri genel olarak katkı maddesinin uygulandığı gruplarda daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu fermentasyon aktivitesinin daha yoğun olduğunu ve mikrobiyal metabolizmanın arttığını göstermektedir. Ancak aşırı CO₂ üretimi bazı durumlarda enerji kayıplarıyla da ilişkilendirilebilir. McDonald ve ark. (1991), CO₂ oluşumunun fermentasyon sürecinin doğal bir sonucu olduğunu, ancak silaj kalitesini değerlendirirken bu parametrenin diğer kriterlerle birlikte dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır.

Aerobik stabilizasyonun ardından maya ve küf sayıları incelendiğinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (P >0.05). Maya sayıları 29.26 ile 36.06 log₁₀ kob/g arasında değişirken, küf sayılarında da gruplar arasında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Bu durum, katkı maddesinin aerobik koşullar altında maya ve küf üremesini tamamen engelleyemediğini, ancak mikrobiyal popülasyonu belirli bir denge içinde tuttuğunu göstermektedir.

Tablo 4.7. Silajların aerobik stabilite sonrası (ASS) pH₂, CO₂ ve mikroorganizma sayım sonuçları

GRUP	MK+	MK-	M0.5	M1	M2	M4	P
ASS KM	4.97±0.03 ^d	5.0±0.69 ^d	6.48±0.36 ^c	9.52±0.16 ^b	10.62±0.27 ^a	10.95±0.17 ^a	<.0001
pH₂	3.77±0.04 ^{ba}	3.82±0.08 ^a	3.73±0.01 ^b	3.46±0.01 ^c	3.47±0.01 ^c	3.50±0.01 ^c	<.0001
CO₂	17.33±0.09 ^d	17.15±0.07 ^e	20.73±0.02 ^a	20.82±0.03 ^a	20.55±0.05 ^b	20.30±0.04 ^c	<.0001
ASS Maya log₁₀ kob/g	30.47±0.72 ^a	36.06±1.71 ^a	32.89±1.50 ^a	29.26±0.90 ^a	31.12±1.59 ^a	30.45±2.69 ^a	0.5482
Küf. log₁₀ kob/g	87.41±1.24 ^a	87.53±0.05 ^a	56.72±29.14 ^a	85.62±0.31 ^a	85.58±0.51 ^a	85.32±0.33 ^a	0.5753

ASS KM: Aerobik stabilite sonrası kuru madde oranı (%), pH₂: Aerobik stabilite sonrası pH değeri, CO₂: Karbondioksit miktarı, MK+: musluk suyu+mısır silajı (kontrol), MK-: susuz kontrol (yalnız mısır), M0.5: 0.5 ml AZA+ mısır, M1: 1 ml AZA+ mısır, M2: 2 ml AZA+ mısır, M4: 4 ml AZA+ mısır.

*Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir.

Arriola ve ark. (2011), aerobik stabilite sonrasında mikrobiyal popülasyonların genellikle istatistiksel farklılıklar göstermediğini belirtmiş ve bunu oksijene maruz kalma süresine ve çevresel koşullara bağlamıştır. Benzer şekilde Oliveira ve ark. (2017), katkı maddelerinin maya ve küf sayılarında her zaman önemli bir azalmaya yol açmadığını, ancak fermentasyon kalitesini iyileştirerek dolaylı bir fayda sağladığını bildirmiştir. Genel olarak katkı maddelerinin uygulanmasının aerobik stabilite sırasında pH, CO₂ üretimi ve kuru madde kaybı üzerinde belirgin ve istatistiksel olarak anlamlı etkiler yarattığı, ancak maya ve küf popülasyonlarında önemli bir değişikliğe yol açmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, katkı maddesinin silajın fermentasyon kalitesini ve stabilitesini iyileştirdiğini, ancak mikrobiyal yük üzerindeki etkisinin sınırlı kaldığını göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Yapılan çalışma sonucunda, zeytinyağı bazlı ayva çekirdeği müsilajı ve aloe vera hidrojelini kullanılarak farklı nanoemülsiyon çözelti parametreleri denenmiş ve bu parametreler içerisinde en iyi fizikokimyasal özellikleri ile antioksidan aktivite sonucunu veren formülasyon oranlarının %20 ayva çekirdeği jeli, %20 aloe vera jeli, %15 zeytinyağı, %10 Tween 80 ve %35 saf su içerenler olduğu anlaşılmıştır. AZA nanoemülsiyon çözelti grubu formülasyonu en yüksek DPPH radikal temizleme aktivitesini (%8,830) sergilemiştir ve bu sonuç, zeytinyağı ile ayva çekirdeği-aloe vera hidrojelinin dengeli kullanımının fenolik ve lipofilik antioksidan bileşiklerin stabilitesini ve etkinliğini artırdığını göstermiştir.

Hazırlanan nanoemülsiyonun partikül boyutu 487.6 nm bulunurken, Zeta potansiyeli -38.6 mV değerinde ölçülmüştür. Bu değerler, sistemin koloidal stabilizeye sahip olduğunu ve silaj uygulamalarında homojen dağılım potansiyeli olduğunu desteklemektedir. Renk ve yoğunluk analizleri de formülasyon bileşimine bağlı olarak belirgin farklılıklar göstermiştir.

AZA nanoemülsiyon çözeltisinin mısır silajına farklı dozlarda (0,5, 1, 2, 4 ml/kg) uygulanması özellikle 1 ml/kg ve 2 ml/kg dozlarında ham protein içeriğinde önemli bir artışa yol açmış, yapısal lif fraksiyonları (ADF, NDF, ham selüloz) azalmış ve sindirilebilirlik parametreleri (SHP, TSM) ile net enerji değerleri (NE_L , NE_M , NE_G) kontrol gruplarına kıyasla belirgin bir şekilde iyileşmiştir. Aerobik stabilize testinin ardından katkı maddesi verilen gruplarda kuru madde kaybı daha düşük bir seviyede kalmış ve pH değerleri daha istikrarlı bir eğilim göstermiştir. Mikrobiyolojik açıdan bakıldığında, laktik asit bakterileri, maya ve küf sayılarında herhangi bir olumsuz etki gözlemlenmemiştir. Mevcut bulgular ayva çekirdeği, aloe vera ve zeytinyağı gibi doğal kaynaklardan üretilen nanoemülsiyon çözeltisinin mısır silajında doğal ve etkili bir katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki öneriler ileri araştırmalar ve uygulamalar için sunulabilir:

1. AZA nanoemülsiyon çözeltisinin oranları referans alınarak ayva çekirdeği ekstraktı, aloe vera ve zeytinyağı oranlarının daha geniş konsantrasyon

aralıklarında yeniden optimize edilmesi önerilmektedir. Bununla birlikte, emülgatör olarak kullanılan Tween 80'in farklı konsantrasyonlarının etkisiyle homojenizasyon parametrelerinin (süre, hız ve sıcaklık) sistematik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

2. Uzun süreli depolama çalışmaları yapılarak pH, renk ve antioksidan aktivite değişimleri izlenebilir. Partikül boyutu, zeta potansiyeli ve parçacık boyutuna dayalı stabilite analizleri, formülasyon kararlılığı hakkında ek bilgiler sağlayacaktır.
3. Mevcut uygulama dozlarının (0,5, 1, 2, 4 mL/kg) yanı sıra daha düşük ve daha yüksek konsantrasyonların farklı silaj bitkileri (örneğin sorgum ve yonca) üzerindeki etkilerinin araştırılması optimum doz aralığının belirlenmesine katkı sağlayacaktır.
4. Nanoemülsiyon çözelti katkılı silajların etkinliğinin daha kapsamlı şekilde ortaya konulabilmesi için in vivo hayvan denemeleri ile sindirilebilirlik, rumen fermentasyon parametreleri, süt verimi ve et kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.
5. Ayva çekirdeği, aloe vera ve zeytinyağı içeren nanoemülsiyon sisteminin, laktik asit bakterileri (*Lactobacillus plantarum* ve *Lactobacillus buchneri*) ile birlikte kullanımının olası sinerjik etkilerinin araştırılması önerilmektedir.
6. Ticari inokulantlara alternatif olarak üretilen AZA nanoemülsiyon çözeltisinin etkileri değerlendirildiğinde, yeni bir silaj katkı maddesi olarak gelecekteki araştırmalara ışık tutacağı tahmin edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Aguiar, A. S., Afiune, L. A., Silva, V. A., Lopes-Martins, R. A., Dias, L. D., S. Filho, A. S., ... & Napolitano, H. B. (2026). Integrating Molecular Modeling and Nanoemulsion Characterization for Ibuprofen. *ACS omega*.
- Alçıçek, A., & Karaayvaz, K. (2003). Sığır besisinde mısır silajı kullanımı. *Animalia*, 203, 68-76.
- Al-Snafi, A. E. (2016). *The medical importance of Cydonia oblonga: A review. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(1), 1–8.
- Altınçekiç, E., & Filya, İ. (2018). Bakteriyal inokulant ve organik asit kullanımının düşük kuru maddeli küçük balya mısır silajlarının aerobik stabilite ve yem değeri üzerine etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(7), 887–892.
- Altuntaş, S. (2023). *Eşme çeşidi ayva (Cydonia oblonga Miller) yaprağı, kabuğu, çekirdeği, meyve posası ve suyunun antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi*. Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Antaal, S. (2022). *Application of oregano oil nano-emulsion to control the foodborne pathogenic bacteria Salmonella spp. in alfalfa seeds and sprouts* (Order No. 30242977). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (2771049476).
- Añibarro-Ortega, M., Pinela, J., Ćirić, A., Soković, M., Coimbra, M. A., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Extracts of Aloe vera as potential functional ingredients: Evaluation of antioxidant and antimicrobial properties. *Food Research International*, 117, 163–171.
- AOAC (1998). Official Methods of Analysis. 16th Edition, 4th Revision, Washington, D. C.
- Arriola, K. G., Kim, S. C., & Adesogan, A. T. (2011). Effect of applying bacterial inoculants with antimicrobial properties on fermentation, aerobic stability, and digestibility of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1517–1528.
- Ashbell, G., Weinberg, Z. G., Azrieli, A., Hen, Y., & Horev, B. (1991). A simple system to study the aerobic determination of silages. *Canadian Agricultural Engineering*, 34, 171-175.
- Basmacioğlu Malayoğlu, H., Baysal, Ş., Misirlioğlu, Z., Polat, M., Yilmaz, H., & Turan, N. (2010). Kekik esansiyel yağının, yem enzimleri ile birlikte veya

- enzimler olmadan, buğday-soya küspesi diyetleriyle beslenen broylerlerin büyüme performansı, sindirim enzimi, besin sindirilebilirliği, lipid metabolizması ve bağışıklık tepkisi üzerindeki etkileri. *British Poultry Science*, 51 (1), 67–80. <https://doi.org/10.1080/00071660903573702>
- Basumatary, B., Narzary, H., & Brahma, J. (2022). Aloe vera: A review of its phytochemical and therapeutic properties. *Journal of Herbal Medicine*, 30, 100499. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2021.100499>
- Berne, B. J., & Pecora, R. (2000). *Dynamic light scattering: with applications to chemistry, biology, and physics*. Courier Corporation.
- Boskou, D. (2015). *Olive and olive oil bioactive constituents*. Elsevier.
- Canton, H. (2021). Food and agriculture organization of the United Nations—FAO. In *The Europa directory of international organizations 2021* (pp. 297-305). Routledge.
- Chen, L., Li, X., Wang, Y., Guo, Z., Wang, G., & Zhang, Y. (2023). The performance of plant essential oils against lactic acid bacteria and adverse microorganisms in silage production. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1285722.
- Covas, M. I., ve ark. (2006). The effect of polyphenols in olive oil on heart disease risk factors. *Annals of Internal Medicine*, 145(5), 333–341.
- Çayiroğlu, H., Filik, G., Coşkun, İ., Filik, A. G., Çayan, H., & Şahin, A. (2020). Spraying opened sugar beet pulp silage with oregano essential oil helps to sustain quality and stability. *South African Journal of Animal Science*, 50(1), 9-16.
- Da Silva, B. D., do Rosário, D. K. A., Neto, L. T., Lelis, C. A., & Conte-Junior, C. A. (2023). Antioxidant, antibacterial and antibiofilm activity of nanoemulsion-based natural compound delivery systems compared with non-nanoemulsified versions. *Foods*, 12(9), 1901.
- Donsì, F., & Ferrari, G. (2016). Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of biotechnology*, 233, 106-120.
- Erten, K., Kaya, A., & Koç, F. (2022). Bakteriyel inokulant ve organik asit ilavesi ile yeniden silolamanın mısır silajının aerobik stabilitesi ve in vitro gaz üretim parametreleri üzerine olan etkileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(4), 2568–2580.

- Eshun, K., & He, Q. (2004). Aloe vera: a valuable ingredient for the food, pharmaceutical and cosmetic industries—a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(2), 91-96.
- Filik, A. G., & Filik, G. (2021). Nutritive value of ensiled *Amaranthus powellii* Wild. treated with salt and barley. *Tropical Animal Health and Production*, 53(1), 1-8.
- Filik, G. (2020). Biodegradability of quinoa stalks: The potential of quinoa stalks as a forage source or as biomass for energy production. *Fuel*, 266, 117064.
- Filik, G., Tekin, O.K., Filik, A.G., Çetinkaya, O., Doğan, Z., Çayan, H., Coşkun, İ., & Şahin, A. (2018). Yolk Color Parameters in Eggs of Atak-S Parents. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(1), 45-48.
- Filya, I. (2003). The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages. *Journal of Dairy Science*, 86(11), 3575–3581.
- Filya, İ., & Sucu, E. (2005). Silaj fermentasyonunda organik asit kullanımı üzerinde araştırmalar 1. Formik asit temeline dayalı bir koruyucunun laboratuvar koşullarında yapılan mısır silajlarının fermentasyon, mikrobiyal flora, aerobik stabilite ve in situ rumen parçalanabilirlik özellikleri üzerine etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(1), 51–56.
- Genç, S., Soysal, M. İ. (2018). *Parametric and nonparametric post hoc tests*. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 1(1), 18-27. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bsengineering/issue/38497/448288>, 07.01.2022
- Giray, N. S. (2020). *Nanoemülsiyon film üretimi ve bazı meyvelerin raf ömrü üzerine etkileri*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gorzynik-Debicka, M., ve ark. (2018). Potential health benefits of olive oil and plant polyphenols. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(3), 686.
- Güler, R. (2020). *Aloe vera jelin genotoksik etkisinin araştırılması*. Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ankara.
- Günaydın, T., Akbay, F., Arıkan, S., & Kızılsımsek, M. (2023). Effects of different lactic acid bacteria inoculants on alfalfa silage fermentation and quality. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 555-560.
- Güngör, Ö., Zungur, A., Koç, M., & Kaymak-Ertekin, F. (2013). Emülsiyonların özellikleri ve emülsifikasyon koşullarının aroma ve yağların mikrokapsülasyonu üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 11(2), 116-124.

- Gürsoy, M., Sevim, B., Sarıkaya, S., Karaman, S., Ayaşan, T., Selçuk, B., ... & Bağcı, Y. (2026). Mısır Silajına *Frankenia hirsuta* Katkısının Fermantasyon Kalitesi, Besin Madde ve Mikrobiyal Popülasyon Üzerine Etkileri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 14(3), 686-691.
- He, X., Deng, H., & Hwang, H. M. (2010). The cytotoxicity of ZnO nanoparticles and the role of oxidative stress. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 28(1), 1-53.
- Honary, S., & Zahir, F. (2013). Effect of zeta potential on the properties of nano-drug delivery systems-a review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 12(2), 265-273.
- Keskin, B., & Hüseyinbaş, S. (2026). Bazı Silajlık Mısır Çeşitlerinin Bazı Verim ve Yem Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 16(1), 365-374.
- Khalaf, M. H. A. (2023), Macar fiğ ve Çavdar Karışım Silajlarında *Lactobacillus Plantarum* Kullanımının Silaj Kalitesi Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir, 76690.
- Kılıç, Ü., & Abdiwali, M. A. (2016). Alternatif kaba yem kaynağı olarak şarapçılık endüstrisi üzüm atıklarının in vitro gerçek sindirilebilirlikleri ve nispi yem değerlerinin belirlenmesi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 22(6).
- Kibar, B., Duran, H. A., & Pekşen, A. (2016). *Pleurotus ostreatus* yetiştiriciliğinde katkı maddesi olarak mısır silajının kullanımı. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 2(1), 10-17.
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and Agriculture 4.0: *New contributions and a future research agenda*. *NJAS: wageningen journal of life sciences*, 90–91, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Konca, Y., Alçiçek, A., & Yaylak, E. (2005). Süt sığırcılığı işletmelerinde yapılan silo yemlerinde silaj kalitesinin saptanması. *Journal of Animal Production*, 46(2).
- Kozlu, A., & Elmacı, Y. (2020). Quince seed mucilage as edible coating for mandarin fruit; determination of the quality characteristics during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11), e14854. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.14854>

- Kung, L. Jr., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033.
- Kung, L., & Shaver, R. (2001). Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on forage*, 3(13), 1-5.
- Kung Jr, L., Stokes, MR ve Lin, CJ (2003). Silaj katkı maddeleri. *Silaj bilimi ve teknolojisi*, 42, 305-360.
- Liu, T., Gao, Z., Zhong, W., Fu, F., Li, G., Guo, J., & Shan, Y. (2022). Preparation, characterization, and antioxidant activity of nanoemulsions incorporating lemon essential oil. *Antioxidants*, 11(4), 650.
- Liu, X., Zhang, X., Dong, T., Bao, Y., Xu, B., Shen, Y., & Yuan, X. (2024). Mısır silajı kalitesini iyileştirmek için tarımsal kalıntıların sürdürülebilir kullanımı: Kekik yağı kalıntılarıyla birlikte silajlama. *Çevre Yönetimi Dergisi*, 371, 123172.
- Mandić, V., Bijelić, Z., Krnjaja, V., Gogić, M., Petričević, M., Đorđević, S., & Simić, A. (2022). Effects of bacteria and enzyme mixture inoculants on quality of high-moisture maize grain silage. In Book of Abstracts of the XIII International Scientific Agriculture Symposium “AGROSYM 2022”, Jahorina, October 06-09, 2022, Bosnia and Herzegovina (pp. 243-243).
- Malvern Panalytical. (2020). *Zetasizer Nano series user manual*. Malvern Panalytical Ltd, United Kingdom.
- McDonald, P., Henderson, A. R., & Heron, S. J. E. (1991). *The biochemistry of silage* (pp. 340-pp).
- McClements, D. J. (2011). Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance. *Soft Matter*, 7(6), 2297-2316.
- McClements, D. J. (2012). Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. *Soft Matter*, 8(6), 1719–1729.
- McClements, D. J. (2015). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques*. CRC Press.
- Muck, R. E. (1993). The role of silage additives in making high quality silage. In *Proceedings of the National Silage Production Conference on Silage Production from Seed to Animal Syracuse, NY, USA, 1993* (pp. 106-116).
- Muck, R. E. (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(suppl spe), 183-191.

- Oliveira, A. P., Pereira, J. A., Andrade, P. B., Valentão, P., Seabra, R. M., & Silva, B. M. (2007). Phenolic profile of *Cydonia oblonga* Miller leaves. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(19), 7926-7930.
- Oliveira, A. S., Weinberg, Z. G., Ogunade, I. M., Cervantes, A. A. P., Arriola, K. G., Jiang, Y., Kim, D., Li, X., Gonçalves, M. C. M., Vyas, D., & Adesogan, A. T. (2017). Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and animal performance. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4587–4603.
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302.
- Radha, M. H., & Laxmipriya, N. P. (2014). Evaluation of biological properties and clinical effectiveness of *Aloe vera*: A systematic review. *Journal of traditional and complementary medicine*, 5(1), 21-26.
- Reuter, J., Jocher, A., Stump, J., Grossjohann, B., Franke, G., & Schempp, C. M. (2008). Investigation of the anti-inflammatory potential of *Aloe vera* gel (97.5%) in the ultraviolet erythema test. *Skin Pharmacology and Physiology*, 21(2), 106–110. <https://doi.org/10.1159/000113311>
- Sahu, P. K., Giri, D. D., Singh, R., Pandey, P., Gupta, S., Shrivastava, A. K., Kumar, A., & Pandey, K. D. (2013). Therapeutic and medicinal uses of *Aloe vera*: a review. *Pharmacology & Pharmacy*, 4(08), 599.
- Seale, D. R., Pahlow, G., Spoelstra, S. F., Lindgren, S., Dellaglio, F., Lowe, J. F. (1990). Methods for the microbiological analysis of silage. Proceeding of the Eurobac Conference, 147, Uppsala.
- Servili, M., Selvaggini, R., Esposto, S., Taticchi, A., Montedoro, G., & Morozzi, G. (2004). Health and sensory properties of virgin olive oil hydrophilic phenols: agronomic and technological aspects of production that affect their occurrence in the oil. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 113-127.
- Shi, L., Xun, W., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y., Liu, Q., Wang, Q., & Shi, L. (2011). Effect of elemental nano-selenium on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 163(2-4), 136-142.

- Silva, H. D., Cerqueira, M. A., & Vicente, A. A. (2012). Nanoemulsions for food applications: development and characterization. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 854-867.
- Singh, P., Dasgupta, N., Singh, V., Mishra, NC, Singh, H., Purohit, SD, & Mishra, BN (2020). Karanfil yağı nanoemülsiyonunun mısır tanelerinden izole edilen fumonisin üzerindeki inhibitör etkisi. *LWT*, 134, 110237.
- Solans, C., & Solé, I. (2012). Nano-emulsions: formation by low-energy methods. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 17(5), 246–254.
- Sousa, B. M. D. L., Santos, S. D. J., Backes, A. A., Silva, C. M., Fagundes, J. L., Blank, A. F., & Santos Filho, J. R. D. (2023). ‘Alecrim Pimenta’ nanoformulated essential oil (*Lippia sidoides*) as additive in consortium silages. *Ciência Animal Brasileira*, 24, e-73623.
- Sravani, G., & Rani, D. J. (2024, September). Antioxidant evaluation of lemon oil and Aloe vera nano emulsion to test its effectiveness against disease causing fish and shrimp pathogens. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2871, No. 1, p. 060006). AIP Publishing LLC.
- Supel, P., Kaszycki, P., Kasperczyk, M., & Kacorzyk, P. (2022). *Yenilikçi Filmlerin Kullanımıyla Üretilen Silajın Biyokimyasal ve Mikrobiyolojik Kalitesindeki Değişimler. Tarım Bilimi 2022*, 12, 2642.
- Tadros, T., Izquierdo, P., Esquena, J. ve Solans, C. (2004). Nanoemülsiyonların oluşumu ve kararlılığı. *Kolloid ve arayüz bilimi alanındaki gelişmeler*, 108, 303-318.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, (2023). Organik Tarım Alanlarının Toplam Tarım Alanları İçerisindeki Oranı, <https://www.tarimorman.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 28 Şubat 2024
- Tekle, S., Bozkurt, F., Akman, P. K., & Sagdic, O. (2022). Bioactive and Functional properties of gelatin peptide fractions obtained from sea bass (*Dicentrarchus labrax*) skin. *Food Science and Technology*, 42, e60221.
- Troszyńska, A., Ciska, E., & Szewczyk, E. (1997). Phenolic compounds in seed coats of legume seeds and their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 59(1), 73–80.
- TÜSİAD. (2008). Nanoteknoloji: Türkiye için fırsatlar ve stratejiler. *TÜSİAD Basın Bülteni*(08-99).

- Ulusal Araştırma Konseyi, Hayvan Beslenmesi Komitesi ve Süt Sığırları Beslenmesi Alt Komitesi. (2001). *Süt sığırlarının besin gereksinimleri: 2001*. Ulusal Akademiler Yayınları.
- Union, E. (2003). *REGULATION (EC) No 1831/2003 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 22 September 2003 on additives for use in animal nutrition*. Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/reg/2003/1831/oj>
- Valizadeh, A., Derviş, M., Amani, E., & Karimi, A. (2022). Design and development of novel formulation of Aloe Vera nanoemulsion gel contained erythromycin for topical antibacterial therapy: In vitro and in vivo assessment. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103519>
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell university press.
- Yaghobi, N., Mehrzad, V., Badri, S., Yegdaneh, A., & Moghaddas, A. (2021). Combination of traditional herbal medicine for the treatment of cancer-induced Anorexia/Cachexia: A pilot, randomized, double-blinded and placebo-controlled clinical trial. *Journal of Herbal Medicine*, 29, 100499.
- Yan, X., Bao, J., Zhao, M., Liu, Z., Wang, M., Liu, J., Sun, P., Jia, Y., Ge, G., & Wang, Z. (2025). High-moisture alfalfa silage fermentation: a comparative study on the impact of additives including formic acid, *Lactobacillus plantarum*, cinnamon essential oil, and wood vinegar. *Microbiology Spectrum*, 13(9), e00003-00025.
- Yılmaz, D. (2020). Kemik doku mühendisliği için silisyum ile modifiye edilmiş ayva çekirdeği müsilaajının sentezi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/600236> Erişim Tarihi: 1 Mart 2024.
- Yılmaz, H. D., Cengiz, U., Arslan, Y. E., Kiran, F., & Ceylan, A. (2021). From a plant secretion to the promising bone grafts: Cryogels of silicon-integrated quince seed mucilage by microwave-assisted sol-gel reaction. *Journal of bioscience and bioengineering*, 131(4), 420-433.

- Yussefi-Menzler, M., Willer, H., & Sorensen, N. (2010). *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2008*. Routledge.
- Zhang, X., Yang, B., Zhang, H., Guo, X., & Zhang, Y. (2025). Mısır silajında nikosülfuron kaynaklı antibiyotik direnci: etkisi ve çinko oksit nanopartikülleri ile hafifletilmesi. *Tehlikeli Maddeler Dergisi* , 140119.
- Weinberg, Z. G., & Muck, R. E. (1996). New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews*, 19(1), 53-68.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sena GÜLTEKİN
Uyruğu	T.C.
Orcid Numarası	0009-0001-3774-5247

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Fakülte	Ziraat Fakültesi
Bölümü	Tarımsal Biyoteknoloji
Mezuniyet Yılı	2020
Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2026

Bilimsel Yayınlar
Filik, G., Yeniçeri, M., & Karakuş, S., (2025). The Effectiveness of Microbial Inoculants In Improving Silage Quality: Millet (<i>Panicum miliaceum</i> L.). <i>Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology</i> . https://doi.org/10.5281/zenodo.15511683 .