ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Lactiplantibacillus plantarum serbest hücre süpernatantı biyoaktivitesine farklı kurutma yöntemlerinin etkileri

Ercihan BOZKURT

Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Ana Bilim Dalı

Şubat, 2025

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Lactiplantibacillus plantarum serbest hücre süpernatantı biyoaktivitesine farklı kurutma yöntemlerinin etkileri

Ercihan BOZKURT

Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 31/01/2025 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Esmeray KÜLEY (Danışman) ……

: Prof. Dr. Gülsün ÖZYURT …….

: Doç. Dr. Emre YAVUZER ……

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2023-16285

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
ÇİZELGELER DİZİNİ IV
ŞEKİLLER DİZİNİ V
SİMGELER VE KISALTMALAR VI
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
2.1. Laktik Asit Bakterileri ve serbest hücre süpernatantları 3
2.1.1. *Lactiplantibacillus plantarum* 4
2.2. Biyoaktif bileşenlerin enkapsülasyonu 5
2.2.1. Püskürtmeli kurutma 6
2.2.2. Dondurarak kurutma 7
3. MATERYAL VE METOT 9
3.1. Materyal 9
3.1.1. Bakteriyel Üyeler 9
3.2. Metot 9
3.2.1. *L. plantarum* Serbest Hücre Süpernatantının Hazırlanması 9
3.2.2. Çalışma grupları ve Mikroenkapsülasyon İşlemi 9
3.2.3. Mikropartiküllerin Morfolojik Özellikleri 11
3.2.4. Antimikrobiyal Aktivite Analizi 11
3.2.5. İstatistik Analiz 12
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 14
4.1. Farklı Yöntemlerle Kurutulmuş Süpernatantların Morfolojik Özellikleri 14
4.2. *L. plantarum* Süpernatantların Antimikrobiyal Aktivite Analizleri 18
4.2.1. Süpernatantların Inhibisyon Çapları 18
4.2.2. Süpernatantların Minimum Inhibisyon (MIK) ve Bakterisit Konsantrasyonu (MBK) 20
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 23
KAYNAKLAR 27
ÖZGEÇMİŞ 35

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Lactiplantibacillus plantarum serbest hücre süpernatantı biyoaktivitesine farklı kurutma yöntemlerinin etkileri

Ercihan BOZKURT

Danışman: Prof. Dr. Esmeray KÜLEY

Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı

ÖZ

Bu çalışmada farklı kaplama materyali (maltodekstrin-M ve sodyum kazeinat-K) ve kurutma teknikleri (püskürterek kurutma-S ve dondurarak kurutma-F) kullanarak kurutulan *Lactiplantibacillus plantarum* serbest hücre süpernatantının (LP) balık bozucu ve patojen bakteriler üzerindeki antibakteriyel özellikleri araştırılmıştır. Mikroenkapsüle edilen ve edilmeyen dondurarak ve püskürtülerek kurutulan örneklerin morfolojik yapılarında önemli farklılıklar gözlenmiştir. Kaplama materyali ile kaplanan püskürtmeli kurutulan örnekler küresel form sergilerken, dondurarak kurutulan örnekler levha şeklinde pürüzsüz tabakalar oluşturmuştur. Gruplar arasında bakterilere karşı en yüksek inhibisyon etki gösteren grup sodyum kazeinat ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantında (FKLP) gözlenmiştir. Gram pozitif gıda kaynaklı patojen olan *Staphylococcus aureus*'a karşı en yüksek inhibisyon zonu sırasıyla 24.67 ve 23.67 mm değer ile kontrol LP ve FKLP grubunda bulunmuştur. *Vibrio vulnificus ve Photobacterium damselae* için en düşük inhibisyon zon çapı SLP grubunda (sırasıyla 11.50 ve 12.00 mm) gözlenirken, *Proteus mirabilis* gelişimi için SMLP grubunda (7.50 mm) gözlenmiştir. Enkapsüle edilmeyen ham LP grubunun bakteriyostatik konsantrasyonu *S. aureus, V. vulnificus* ve *P. damselae* süpernatanların gıda kaynaklı patojenlere karşı bakterisidal konsantrasyonu S. aureus için 50 mg / mL idi.mg/mL olmuştur. Süpernatantların gıda kaynaklı patojenlere karşı bakterisit konsantrasyonu *S. aureus* için FKLP grubu (100 mg/mL) dışında 100 mg/mL'ın üzerinde olmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Lactiplantibacillus plantarum*, püskürterek kurutma, liyofilizasyon, enkapsülasyon, antimikrobiyaller, gıda kaynaklı bakteriler

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

Msc THESIS

Effects of different drying methods on bioactivity of cell-free supernatant from *Lactiplantibacillus plantarum*

Ercihan BOZKURT

Advisor: Prof. Dr. Esmeray KÜLEY

Department of Fisheries and Seafood Processing Technology

ABSTRACT

In this study, the antibacterial properties of *Lactiplantibacillus plantarum* (LP) free cell supernatant dried using different coating materials (maltodextrin-M and sodium caseinate-K) and drying techniques (spray-drying-S and freeze-drying-F) on fish spoilage and pathogenic bacteria were investigated. Significant differences were observed in the morphological structures of microencapsulated and non-microencapsulated lyophilised and spray-dried samples ($p<0.05$). Samples covered with coating material that were spray-dried showed a spherical shape, whilst samples that were freeze-dried developed smooth sheets that resembled plates. The highest inhibition effect against bacteria among the groups was observed in freeze-dried *L. plantarum* supernatant coated with sodium caseinate (FKLP). The highest inhibition zone against *S. aureus*, a gram positive foodborne pathogen, was found in the control LP and FKLP groups with values of 24.67 and 23.67 mm, respectively. The lowest inhibition zone diameter for *Vibrio vulnificus* and *Photobacterium damselae* was observed in the SLP group (11.50 and 12.00 mm, respectively), while for *Proteus mirabilis* growth, it was observed in the SMLP group (7.50 mm). The bacteriostatic concentration of the unencapsulated crude LP group was 50 mg/mL for *S. aureus*, *Vibrio vulnificus*, and *Photobacterium damselae*. The bactericidal concentration of the supernatants against foodborne pathogens was 50 mg/mL for *Staphylococcus aureus*. The bactericidal concentration of the supernatants against foodborne pathogens was above 100 mg/mL except for the FKLP group (100 mg/mL) for *S. aureus.*

Keywords: *Lactiplantibacillus plantarum*, spray-drying, freeze-drying, encapsulation, antimicrobials, food-borne bacteria

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca geniş bilgi birikimi ve deneyimiyle bana ışık tutan değerli danışman hocam Prof. Dr. Esmeray KÜLEY'e, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen ve tezin geliştirilmesine katkı sağlayan Prof. Dr. Gülsün ÖZYURT'a, Doç. Dr. Mustafa DURMUŞ'a, desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Emre YAVUZER'e, tezin laboratuar uygulamasında emeklerini esirgemeyen Arş. Gör. Yetkin SAKARYA'ya, yüksek lisans öğrencisi Çağkan ÇİÇEKÇİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında maddi destek veren Ç.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No FYL-2023-16285) içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında bana yardımcı olan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Püskürtmeli ve dondurularak kurutulan süpernatantların test bakterilerine karşı inhibisyon zonları 19
Çizelge 4.2. Püskürtmeli ve dondurularak kurutulan süpernatantların test bakterilerine karşı minimum inhibisyon (MIK) ve bakterisit konsantrasyonu (MBK) (mg/mL)..... 21

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Püskürtmeli kurutucu 10
Şekil 3.2. Örneklerin freeze-dryer'da kurutulması 10
Şekil 3.3. Taramali elektron mikroskobu (SEM, scanning electron microscope) 11
Şekil 4.1. Kaplama yapılmadan püskürtme ile kurutulmuş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü 15
Şekil 4.2. Maltodekstrin ile kaplanmış püskürtme ile kurutulmuş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü 15
Şekil 4.3. Sodyum kazeinat ile kaplanmış püskürtme ile kurutulmuş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü 16
Şekil 4.4. Maltodekstrin ile kaplanmış liyofilize edilmiş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü 17
Şekil 4.5. Sodyum kazeinat ile kaplanmış liyofilize edilmiş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü 17
Şekil 4.6. Süpernatantların MIK görünümü 21

SİMGELER VE KISALTMALAR

FKLP : Sodyum kazeinat ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantı,

FMLP : Maltodekstrin ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantı,

KOB : Koloni Oluşturan Birim

LAB : Laktik Asit Bakterileri

LP : *Lactiplantibacillus plantarum* supernatantı

MBK : Minimum Bakterisit Konsantrasyonu

MIK : Minimum İnhibitör Konsantrasyonu

SKLP : Sodyum kazeinat ile kaplanan püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı

SLP : Püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı,

SMLP : Maltodekstrin ile kaplanan püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı,

1. GİRİŞ

Tüketicilerin sentetik kimyasallara karşı korunan gıdaların güvenliği ile ilgili artan endişeleri, biyokoruyucu özelliğe sahip yararlı bakterilerin ve bunların metabolitlerinin gıda raf ömrünün uzatılması ve güvenliğinin arttırılması için potansiyel doğal antimikrobiyaller olarak kullanımına ilişkin çalışmaların artışına sebep olmuştur (Barcenilla ve ark., 2022). Et ve et ürünlerinde gıda kaynaklı patojenlerin kontrolü, gıda endüstrisi için büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Laktik asit bakterileri (LAB) organik asit, hidrojen peroksit, diasetil, karbondioksit, bateriyosin ve bakterisit proteinler gibi antimikrobiyal maddeleri üretme yeteneklerine sahiptir (Koy, 2017). Bu metabolitler gıdalarda istenmeyen gıda kaynaklı patojenleri ve bozucu mikroorganizmaları inhibe etmesiyle gıda güvenliği ve ürün raf ömrünü arttırmaktadır. Ayrıca bu bakteriler çeşitli enzimler, ekzopolisakkaritler ve aroma bileşikleri üretmektedir (Jose ve ark., 2015). *Lactobacillus casei* gibi LAB'nden elde edilen serbest hücre süpernatantının saf probiyotik ekstrakta kıyasla depolama süresince daha fazla stabilite, antipatojenik ve antioksidan etki sergilemiştir. (Saadatzadeh ve ark., 2013). Gıda hazırlamada antimikrobiyal içerik olarak laktik asit bakterileri serbest hücre süpernatantının kullanılması, özellikle soğutmaya tabi tutulan gıdalar gibi canlı mikroorganizmaların aşılanmasının mümkün olmadığı durumlarda patojenlerin önlenmesinde etkili olabilmektedir (Arena ve ark., 2018). Laktik asit serbest hücre ekstraktında bulunan bazı antimikrobiyal bileşikler laktik asit, asetik asit, hidrojen peroksit ve diasetildir (Hor ve Liong, 2014).

Jagadeeswari ve ark (2010) *L. plantarum, L. lactis* ve *L. acidophilus*'un *Bacillus subtilis, Bacillus cereus, Staphylococcus aureus* MTCC 96, *Pseudomonas aeruginosa* MTCC 424, *Vibrio cholerae, E.coli* MTCC 739, ve *Candida albicans* MTCC 227'a karşı diğer LAB üyelerine kıyasla yüksek antimikrobiyal aktivite sergilediğini belirtmişlerdir. Mansilla (2008) taze meyve ve sebzelerden izole edilen LAB üyeleri arasında *Leuconostoc spp., Lactiplantibacillus plantarum, Weissella cibaria, Lactococcus lactis*, ve *Enrerococcus munditii*'nin gıda kaynaklı bozucu mikroorganizmalara karşı engelleyici etki gösterdiğini bulmuştur. Lengkey ve ark. (2017) et ürünlerinden izole edilen *Lactobacillus fermentum, Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus rhamnosus, Lactobacillus lactis* ssp. *lactis ve Lactobacillus lactis ssp. lactis* üyelerinin indikatör mikroorganizmaları inhibe ettiğini ve et ürünlerinde biyokoruyucu olarak kullanılabileceklerini bildirmiştir. Gómez-Sala ve ark. (2016) denizel kaynaklı *Lactobacillus curvatus* BCS352 ve serbest hücre süpernatantının soğuk derecede depolanan balıklarda koruyucu etki gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Lactiplantibacillus plantarum UM55'den elde edilen serbest hücre ekstraktı *Aspergillus flavus* tarafından üretilen aflatoksini %91 oranında engellemiştir. İnhibisyon oranı serbest hücre ekstraktının pH'ına ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Serbest hücre ekstraktı *Aspergillus parasiticus, Aspergillus arachidicola, Aspergillus nomius* ve *Aspergillus minisclerotigenes* çoğalmasını ve aflatoksin üretimini engellemede etkili olmuştur (Guimarães ve

ark., 2018). Kim ve ark. (2020) *Lactiplantibacillus plantarum* serbest hücre süpernatantından izole edilen plantarisinin *Salmonella* spp., *E. coli, S. aureus,* ve *influenza A* virus H_2N_2'e karşı güçlü antimikrobiyal faaliyet sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Biyoaktif bileşiklerin stabilitesi, çeşitli gıda sistemlerine başarılı bir şekilde eklenebilmeleri için kritik bir parametredir. Biyoaktif bileşikler oksijene, ışığa, ısıya ve suya karşı duyarlıdır. Bu nedenle, gıda işleme ve depolama sırasında bu ürünlerde belirli bileşiklerin kararlılığının sağlanması zorunludur (Dordevicve ark., 2015). Uzun raf ömürlü stabil ürün sağlamak için üründeki nemin uzaklaştırması amacıyla çeşitli kurutma metotları kullanılmaktadır (Li ve ark., 2018). Püskürtmeli kurutma, vakumlu kurutma ve akışkan yataklı kurutma en yaygın kullanılan kurutma teknolojileri arasında yer almaktadır (Broeckx ve ark., 2016). Püskürtmeli kurutma hızlı ve uygun maliyetli bir kurutma yöntemi olup, bu yöntemde düzgün şekil ve boyutta kuru küresel toz parçacıklar üretebilmektedir. (Sosnik ve Seremeta, 2015; Vandenheuvel ve ark., 2013). Liyofilizasyon olarak bilinen dondurarark kurutma probiyotik ürünlerin depolama stabilitesini artırmak amacıyla suyun uzaklaştırılmasında kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir.

Gıda kaynaklı patojen ve bozucu microorganizmaların inhibisyonunda etkinliği bilinen *L. Planterum* serbest hücre ekstraktlarının gıdalarda pratik ve yaygın kullanımını arttırabilmek için stabil formalara dönüştürülebilmesi büyük önem taşımaktadır.Bu amaçla, bu çalışmada *Lactiplantibacillus plantarum* serbest hücre süpernatantının biyoaktivitesinde farklı kaplama materyali (maltodekstrin ve sodyum kazeinat) ve kurutma yöntemlerinin (püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma) etkisi araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Laktik Asit Bakterileri ve serbest hücre süpernatantları

LAB, karbonhidrat fermantasyonunun son ürünü olarak laktik asit üreten Gram-pozitif, katalaz-negatif bakterilerden oluşan bir gruptur (Felis ve Dellaglio, 2007; Seddik ve ark., 2017). Laktik asit bakterileri spor oluşturmayan, fakültatif anaerobik olarak gelişen fermentatif bakterilerdir ve geleneksel olarak çeşitli fermente gıda ürünlerinin muhafazasında kullanılmaktadır (Holzapfel ve ark., 2001; De Vries ve ark., 2006).LAB, organik asit, hidrojen peroksit, diasetil, karbondioksit ve bakteriyosinler gibi antimikrobiyal peptitleri içeren antimikrobiyal maddeleri üretme yeteneklerine sahiptir (Koy, 2017; Fuentes-Fanegas 2017).LAB, bitki materyalleri, süt ürünleri,tahıllar, pancar, meyve suları, insan ve hayvanların iç organlarından, fermente edilmiş ve salamura edilmiş ürünlerden izole edilebilir.(Mokoena, 2017).LAB, *Lactobacillus, Leuconostoc, Enterococcus, Lactococcus, Bifidobacterium, Pediococcus* ve *Streptococcus* dahil olmak üzere çeşitli bakteri cinslerine sahiptir. Probiyotik bakteri suşları genellikle *Lactobacillaceae* familyasına ve *Bifidobacterium* türlerine aittir (Rocchetti ve ark.,2024).LAB, endüstriyel gıda üretiminde fermentatif prosedürlerde yaygın olarak uygulanmaktadır ve FDA tarafından verilen GRAS (Genel Olarak Güvenli Olarak Tanınan) statüsüne sahiptir (O'Bryan ve ark. 2015). LAB bağışıklık sistemini güçlendirdikleri ve bağırsak sağlığını koruduğu için sağlık destekleyicileri olarak büyük bir potansiyele sahiptir (Ren ve ark. 2021).

LAB üyeleri hücresel morfoloji, glikoz fermantasyon tipi, çeşitlilik, büyüme sıcaklığı ve şeker kullanımı açısından kategorize edilirken (Mokoena ve ark, 2021), homofermentatif ve heterofermentatif olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Fermentasyon süresince, homofermentatif LAB tarafından laktik asit oluşturulurken, asetik asit, laktik asit, alkol ve karbondioksit heterofermentatif LAB tarafından üretilir (Oliveira ve ark., 2017; Ng ve ark., 2020).

Laktik asit bakterileri serbest hücre ekstraktı(süpernatant) mikrobiyal büyümeden kaynaklanan metabolitleri ve kullanılan ortamın artık besin maddelerini içeren bir sıvıdır. LAB'den elde edilen süpernatantlar, laktik asit, asetik asit, uzun zincirli yağ asitleri ve esterleri, diasetil, hidrojen peroksit, bakteriyosin vb. proteinli bileşikler nedeniyle antimikrobiyal aktiviteye sahiptir (Mani-Lopez ve ark., 2021). Süpernatantlar, güvenli bakteriler tarafından fermantasyon yoluyla elde edildikleri için geleneksel antimikrobiyallere mükemmel bir alternatif sunmaktadır. Süpernatanatlar insan sağlığı için güvenli kabul edilebilir çünkü LAB metabolitleri çoğu insan için toksisite içermez. Sadece belirli biyojen amin türleri ve D-laktik asit sağlık riski oluşturabilir (Obis ve ark., 2019). Buna karşılık, *Lactiplantibacillus*'tan elde edilen süpernatantların, insan hücre kültürleri üzerinde anti-enflamatuar ve antikanser aktiviteleri gibi faydaları bulunmaktadır (De Marco ve ark., 2018; Rajoka ve ark., 2019; Tsilingiri ve ark., 2012). Bu nedenle bu bakteriden elde edilen süpernatantların antimikrobiyal olarak kullanım potansiyeline ve büyük bir endüstriyel uygulamaya sahiptir.

2.1.1. *Lactiplantibacillus plantarum*

Lactobacillus cinsi çeşitli LAB üyelerini içermektedir. Laktobasiller farklı ekolojik bölgelerden izole edilmekte ve çeşitli çalışmalar genetik ve fizyolojik seviyelerinde farklılıklar olduğunu göstermiştir. *Lactobacillus delbrueckii* veya *Lactobacillus rhamnosus* gibi bazı *Lactobacillus* türleri, süt ürünleri, sebze, et, silaj, şarap, gastrointestinal gibi çeşitli bölgelerde bulunan *Lactiplantibacillus plantarum*'un aksine, yalnızca sınırlı ekolojik bölgelerde bulunmuştur. Her yerde bulunan bu özellik, *L. plantarum*'un adaptasyon yeteneklerini ve metabolik yol çeşitliliğini göstermektedir. Ayrıca, *L. plantarum* peynir, kefir, lahana turşusu, fermente et ürünleri, fermente sebzeler ve içecekler gibi süt ürünlerinin fermantasyonunda kullanılmaktadır. *L. plantarum*'un sağlık yararları farklı probiyotik formülasyonların geliştirilmesine izin vermiştir ve antibakteriyel özellikleri biyoprezervasyon teknolojisinde olduğu gibi gıda güvenliği açısından ilgi çekicidir (Seddik ve ark., 2017).

Lactiplantibacillus plantarum (eski adıyla *Lactobacillus arabinosus* ve *Lactobacillus plantarum*) *Lactiplantibacillus* cinsinin yaygın bir üyesidir ve anaerobik bitki maddesinin yanı sıra birçok fermente gıda ürününde yaygın olarak bulunur. *L. plantarum* ilk olarak tükürükten izole edilmiştir. Bitkilerde, böcek bağırsağında ve omurgalı hayvanların bağırsak kanalında geçici olarak kalabilme yeteneğine dayanarak göçebe bir organizma olarak tanımlanmıştır. *L. plantarum* Gram pozitif, basil şeklinde bir bakteridir. *L. plantarum* hücreleri yuvarlak uçlu, düz, genellikle 0,9-1,2 μm genişliğinde ve 3-8 μm uzunluğunda, tek, çift veya kısa zincirler halinde oluşan çubuklardır (Landete ve ark., 2010). *L. plantarum*, hem gıda teknolojilerinde hem de probiyotik uygulamalar için yaygın olarak kullanılan çok yönlü bir LAB türüdür (Rocchetti ve ark., 2024). *Lactiplantibacillus plantarum* 12 °C ila 40 °C sıcaklık aralığında gelişebilir.(Matejčeková ve ark., 2016).

Lactiplantibacillus türleri organik asitler, karbon dioksit, diasetil, bakteriyosinik maddeler, peptitler, hidrojen peroksit, proteinli bileşikler, yağ asitleri ve dipeptitler dahil olmak üzere çeşitli antimikrobiyal moleküller üretebilir (Dalié ve ark., 2010; Siedler ve ark., 2019). Çoğunlukla fermente sebzelerden izole edilen *L. plantarum* türü, genetik çeşitliliği ve maya ve küflere karşı değişken antifungal aktivitesi ile bilinmektedir (Trias ve ark., 2008; Mora-Villalobos.ve ark., 2020). Bu nedenle, *L. plantarum* suşları ve/veya bunların saflaştırılmış biyoaktif bileşikleri, patojenik bakterileri ve gıda bozulmasında rol oynayan diğer mikroorganizmaları kontrol etmek için kullanılabilir (Arena ve ark., 2016; Abouloifa ve ark., 2022). *L. plantarum*, farklı fermantasyon süreçlerinde potansiyel bir starter kültür olarak ve insan ve hayvan sağlığındaki probiyotik nitelikleri nedeniyle en önemli türlerden biridir (da Silva Sabo ve ark. 2014). Birçok LAB suşu gibi, *L. plantarum*'un da çeşitli bakteriyosin türleri üretebilmektedir. Bunlar arasında sinerjik plantarisin J/K ve E/F bulunmaktadır (Todorov 2009; Ruiz ve ark., 2023).

L. plantarum'un antimikrobiyal maddeler üretme yeteneği, gastrointestinal sisteminde hayatta kalmalarına yardımcı olur. Üretilen antimikrobiyal maddeler Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteriler üzerinde önemli etki göstermiştir. Divyashree ve ark. (2021) *L. plantarum* (MYSRD 71)

izolatının *S.* Paratyphi gelişimini önemli ölçüde azalttığı farklı bakteriyel patojenleri inhibe ettiğini bildirmiştir. Ayrıca bakterinin serbest hücre ekstraktının *S.* Paratyphi biyofilmini %75'ten fazla azalttığını ve *Salmonella* biyofilm sayısının %15 serbest hücre ekstraktı konsantrasyonu kullanılarak etkili bir şekilde azaltıldığını göstermiştir. Kefirden izole edilen *L. plantarum* süpernatantı 8 saatlik inkübasyondan sonra *E. coli* CECT45'in büyümesini inhibe etmiştir (Puertollano ve ark., 2009). Shafipour-Yordshashi ve ark. (2020) %0.1 ile %50 konsantrasyonlarda süspanse edilmiş dondurularak kurutulmuş *L. plantarum* ATCC14917 serbest hücre süpernatantının organik asit ve bakteriyosinler sayesinde *Listeria monocytogenes* ATCC 19115'e karşı 6.9 ila 34.4 mm arasında inhibisyon sergilediğini bildirmişlerdir. Laktik asit, proteinli bileşikler ve diasetil içeren *L. plantarum* Cs ve *L. acidophilus* ATCC 314 süpernatantının *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı 7.5 ile 12.8 mm arasında inhibisyon zon gösterdiği rapor edilmiştir (George-Okafor ve ark., 2020). Fermente yeşil zeytinden izole edilen *L. plantarum* S61 kültürünün mayalara (*Rhodotorula glutinis* ve *Candida pelliculosa*), küflere (*Penicillium digitatum*, *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum* ve *Rhizopus oryzae*) ve patojen bakterilere (*Listeria monocytogenes* ATCC 19117, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* ATCC 14028, *Staphylococcus aureus* subsp. *aureus* ATCC 6538, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 49189) karşı >10 mm inhibisyon zonları ile engelleyici etki sergilediği bildirilmiştir (Abouloifa ve ark., 2022).

2.2. Biyoaktif bileşenlerin enkapsülasyonu

Enkapsülasyon; katı, sıvı veya gaz halindeki gıda bileşenlerinin,biyoaktif enzimlerin, mikroorganizmaların protein veya karbonhidrat esaslı bir kaplama materyaliyle paketlenmesi şeklinde tanımlanabilir (Madene ve ark. 2006). Enkapsülasyon, membran veya bir malzemenin başka bir malzeme üzerine kaplanması ki bu biyoaktif uçucu maddelerin korunması ve muhafazası için yapılmaktadır.Enkapsülasyon ayrıca istenmeyen tat ve aromaları maskelemek için de kullanılır (Desai ve Park, 2005; Shishir ve ark., 2018). Enkapsülasyon; fonksiyonel içerik, polifenoller, enzimler, antioksidanlar, mikro besinler vb gibi bileşenler ışık, pH, oksijen, ısı, nem ve diğer kötü koşullara karşı korur (Bamidele ve Emmambux, 2021). Enkapsülasyon gıda endüstrisinde enzimleri, tatları, renkleri ve aromaları korumak, stabilitelerini arttırmak, dokuları iyileştirmek ve kontrollü salınımı sağlamak için kullanılırken (Shahidi ve ark., 1993), ilaç endüstrisinde ilaçların kolay uygulanmasını ve hızlı emilimini kolaylaştırma işleminde kullanılmaktadır (Ahmad ve ark., 2011).

Enkapsülasyonda kullanılan kaplama malzemeleri genellikle doğal veya modifiye edilmiş polisakkaritler, jeller, proteinler, lipitlerden oluşmaktadır (de Souza Simões ve ark., 2017). Enkapsülasyon teknikleri kimyasal, fiziko kimyasal ve fiziko mekanik yöntemler olmak üzere sınıflandırılır. Kapsülleme teknikler arasında püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma, akışkan yataklı kaplama, elektrospinning, koaservasyon, jelleşme, emülsiyon oluşumu, katman biriktirme, akışkan yataklı kaplama ve sol-jel kapsülleme yer almaktadır. Bu teknikler arasında akışkan yataklı

kaplama, dondurarak kurutma, püskertmeli kurutma ve koaservasyon ticari olarak kullanılan en yaygın kapsülleme teknikleridir. (Jyothi ve ark., 2010; Zhu, 2017).

2.2.1. Püskürtmeli kurutma

Gıda endüstrisi sektöründe en eski ve en yaygın kullanılan püskürtmeli kurutma (Zuidam ve Heinrich, 2009), II. Dünya Savaşı döneminde gıdaların ve diğer materyallerin taşınmasını kolaylaştırma amacı ile ağırlıklarını azaltma ihtiyacından dolayı ortaya çıkmıştır. Çalışma prensibi ise gıdanın bir akışkan durumundan kurutulmuş parçacık formuna dönüştürülmesini temel alır. Bu teknikte kullanılacak gıdanın özellikleri çözelti, süspansiyon, emülsiyon veya dispersiyon formuna sahip olabilir. Kurutulmuş ürün, püskürtmeli kurutucuda kullanılacak gıdanın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak toz, granül veya aglomera formunda olabilir (Killeen, 2000). Püskürtmeli kurutma yoluyla üretilen tozlar, gelişmiş stabiliteye, minimum nakliye ve depolama maliyetlerine ve daha kolay kullanıma sahiptir (Assadpour ve Jafari, 2019). Bu kurutma yöntemi süt, peynir altı suyu, yoğurt, dondurma karışımları, bebek mamaları, yumurta, kahve, çay, meyve ve sebze suları, enzimler ve biyoaktif ürünlerinin kısa kurutma süresi ve toz formda ürün elde edebilme özellikleri nedeniyle ısıya duyarlı birçok maddenin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Koç, 2014).

Püskürtmeli kurutmada ilk aşama, çekirdek malzemenin taşıyıcının bir su çözeltisi içinde dağıtılmasını ve damlacıkların oluşumunu içerir. Damlacıklar, püskürtmeli kurutucunun ısıtılmış haznesinde çapları 10 ila 300 μm arasında olan kapsüller halinde kurutulur (Marison ve ark., 2004). Dağılmış sıvı damlalarının kurutma işlemi, sıcak hava (160–220 °C) kullanılarak gerçekleştirilir (Chen ve ark., 2013). İşlem adımı yalnızca birkaç milisaniye ile birkaç saniye arasında sürer. Bu nedenle, ısıya duyarlı bileşikler bile önemli bir kayıp olmadan püskürtülerek kurutulabilir. Genellikle, bu teknik hidrofobik biyoaktiflerin kapsüllenmesi için kullanılır (de Vos ve ark. 2010).

Püskürtmeli kurutmada, taşıyıcı malzemeler yüksek konsantrasyonda düşük viskoziteli olmalı, uygun çözünme özellikleri sergilemeli, iyi emülsifikasyon ve film oluşturucu karakter özellikleri sağlamalıdır (Hogan ve ark., 2003). Püskürtmeli kurutma için kaplama materyali olarak zamklar (arap zamkı, guar gum) ve proteinler (sodyum kazeinat, peynir altı suyu proteini, jelatin) yaygın olarak kullanılır (Nedovic ve ark., 2011). Arap zamkı, püskürtmeli kurutma için en sık kullanılan malzemedir. Arap zamkının birçok arzu edilen özelliği olmasına rağmen, tedarik sorunları ve sürekli artan fiyatlar, diğer alternatif kaplama materyalinin kullanılmasını teşvik etmektedir (Charve ve Reineccius, 2009). Hidrolize bir nişasta olan maltodekstrin, püskürtmeli kurutma ile kapsüllemede bir başka popüler malzemedir (Gharsallaoui ve ark. 2007). Maltodekstrin çok sayıda avantaj sunar (düşük maliyet, nötr aroma ve tat; düşük viskozite; oksidasyona karşı koruma), ancak bu malzemenin kullanımıyla ilgili en büyük sorun, düşük emülsifiye etme kapasitesidir. Bu nedenle kurutma işlemi sırasında uçucu bileşiklerin kaybını azaltmak için, maltodekstrinin zamklar, proteinler ve modifiye nişastalar gibi diğer yüzey aktif biyopolimerlerle karışımları önerilmiştir (Krishnaiah ve ark., 2012; Saavedra-Leos ve ark., 2015).

Kaplama materyali olarak kullanılan sodyum kazeinat ise bir süt proteini olarak tanımlanmakta, genellikle emülsifiyer ve stabilizatör olarak kullanılmaktadır. Su ve yağ moleküllerini birbirine bağlamakta ve yağ partiküllerini küçülterek gıdaların görünümünü olumlu yönde etkilemektedir (Erdoğrul ve Ergün, 2004). Sodyum kazeinat gıda ürünlerinin raf ömrünü de arttırabilmektedir (Sarıoğlu ve Öner, 2006).

2.2.2. Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma en yaygın kullanılan enkapsülasyon yöntemidir ve donmuş bir numunenin süblimasyonu ile dehidrasyonuna dayanır (Wilkowska ve ark., 2016). Dondurarak kurutma, süblimleşme olgusuna dayalı olarak ısıya duyarlı gıdaların ve diğer biyolojik malzemelerin uzun süreli korunması için bir kurutma işlemidir. Başarılı bir dondurarak kurutma işlemi, şekil, görünüm, tat, renk, doku ve biyolojik aktivite gibi ilk hammadde özelliklerinin çoğunu korur (Ceballos ve Giraldo, 2012). Su içeriğinin bir çözelti veya süspansiyon içinde dondurulması ve ardından su moleküllerinin çözelti veya süspansiyondan düşük sıcaklıkta buharlaştırılması, dondurarak kurutma veya liyofilizasyon tekniğinin temel prensibidir (Anandharamakrishnan ve ark., 2010).

Dondurarak kurutmada; dondurma, birincil kurutma, ikincil kurutma ve son işlem olmak üzere dört temel adım vardır (Abdul-Fattah ve ark., 2007). Dondurma aşamasında, hammadde kristalize buz formunda dondurulur. Birincil kurutma, buzun alt katmanlar tarafından uzaklaştırılmasını, donmuş gıda malzemesine geçici ısı için gerekli enerji sağlandığında meydana gelen vakum altında süblimasyon yoluyla buzun uzaklaştırılmasını ifade eder. İkincil kurutma aşamasında tüm buz kristalleri malzemeden uzaklaştırıldığında ve kurutma malzemesindeki bağlı su kaldığında başlar (Anandharamakrishnan, 2014). Kurutma işlemi, ürünün nem içeriği %5'in altına düşene kadar devam eder. Son işlemde kurutulmuş gıda maddesinde rehidrasyon ve lipid oksidasyon reaksiyonlarını önlemek için, kurutma işlemi bittikten sonra, kurutma odası inert bir gazla, özellikle gıda malzemeleri için tercih edilen nitrojen gazı ile kapatılmasıdır (Abdul-Fattah ve ark, 2007)

Dondurarak kurutma hassas biyoaktif bileşikler için uygun bir mikroenkapsülasyon tekniğidir, çünkü maddeler püskürtmeli kurutma tekniğinde olduğu gibi yüksek sıcaklığa maruz kalmamaktadır (Rezvankhah ve ark., 2019). Dondurularak kurutulmuş tozların stabilitesini etkileyen kapsülleme verimliliğini ve fizikokimyasal özellikleri etkileyebildikleri için kaplama veya taşıyıcı malzemeler kapsülleme sürecinde önemli bir role sahiptir (Wilkowska ve ark., 2016). Duvar malzemeleri veya enkapsülanlar, mikroenkapsülasyon işlemi sırasında aktif çekirdek malzemelerini çevreler. Dondurarak kurutma tekniğinde enkapsüle edici maddeler maltodekstrinler, modifiye nişastalar, proteinler, dekstrinler ve diğerleri gibi çeşitli doğal veya sentetik malzemeler arasından seçilebilir (Kuck, 2016; Šturm ve ark., 2017). Bu malzemeler, film oluşturma yetenekleri, viskoziteleri ve gastrointestinal sisteme dirençleri, katı içerikleri, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri, güvenlikleri ve düşük fiyatları nedeniyle mikroenkapsülasyon için uygundur.

(Kuck, 2016). Yüksek çözünürlük, düşük viskozite ve optimum jel oluşturma özellikleri, maltodekstrinleri dondurarak kurutma teknikleri kullanılarak polifenollerin mikroenkapsülasyonu için uygun hale getirmektedir (Papoutsis ve ark., 2018; Rezvankhah ve ark., 2019). Buna rağmen, maltodekstrinler yüksek glisemik indekse sahiptir, bu nedenle mikrokapsüllenmiş ürünler diyabet hastaları veya düşük karbonhidratlı diyet uygulayan kişiler için uygun değildir (Pudziuvelyte ve ark., 2020).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Bakteriyel Üyeler

Araştırmada *Lactiplantibacillus plantarum* kullanılmış olup, bu bakteri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinden tedarik edilmiştir. Balıkta bozulma etmeni bakteriler olarak, *Photobacterium damselae*, *Proteus mirabilis,* ve *Vibrio vulnificus* kullanılmıştır. Bu bakteriler bozulmuş hamsi, uskumru ve sardalya etinden izole edilmiştir (Kuley ve ark., 2017). Çalışmada gıda kaynaklı patojen bakteri olarak Gram pozitif *Staphylococcus aureus* (ATCC29213) ve Gram negatif olarak da *Salmonella* Paratyphi *A* (NCTC13) kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. *L. plantarum* Serbest Hücre Süpernatantının Hazırlanması

L. plantarum süpernatantı modifiye edilmiş Lin ve Yen (1999) yöntemine göre hazırlanmıştır.Bakteri üyesi MRS (De Man, Rogosa And Sharpe) sıvı besiyerinde (Merck 110661) 37 °C'de 48 saat geliştirildikten sonra, 15 ml'lik falkon tüplere alınarak 4 °C'de 8.000 RPM'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Elde edilen üst faz membran filtreden geçirilerek UV ile steril edildikten sonra (20 dk) analiz zamanına kadar 4 °C' de muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Çalışma grupları ve Mikroenkapsülasyon İşlemi

Çalışmada toplamda 7 grup oluşturulmuştur. Kontrol 1 (LP) herhangi bir enkapsülasyon veya kurutma işlemi yapılmayan ham *L. plantarum* serbest hücre süpernatantı içermiştir. Diğer kontrol grupları herhangi bir kaplama materyali ile enkapsüle edilmeyen liyofilize (FLP) veya püskürtmeli kurutma (SLP) *L. plantarum* süpernatantını içermiştir. Enkapsülasyon grubunda ise *L. plantarum*'dan elde edilen süpernatantlar; kurutma işlemi öncesi %25 farklı kaplama materyali (maltodekstrin-M ve sodium kazeinat-K) ile kaplanıp, karışım Ultra-Turrax ile 10 dk karıştırılmıştır. Her bir gruptan 200 ml örnek alınarak mini spray-dryer (Buchi-290, Flawil, Switzerland) ve liyoflizatör (Scanvac coolsafe 95-15 pro, Denmark) kullanılarak kurutulmuştur. Püskürterek kurutma koşulları Kuley ve ark. (2024) yöntemine göre gerçekleştirilmiş olup, giriş sıcaklık 130 °C, çıkış sıcaklık 75 °C, aspirasyon oranı 30 m^3/saat, besleme oranı 20 mL/dk olmuştur (Şekil 3.1). Liyofilizasyon için süpernatant steril liyofilizasyon tepsisine alınarak, –80 °C ultraderin dondurucuya konularak 24 saat boyunca ön dondurma yapılmıştır (Şekil 3.2). 24. saat sonunda ön dondurma işlemi biten örnek liyofilizatöre konularak 24-48 saat sonrasında kurutulmuştur. Püskürtülerek ve liyofilizatör altında kurutma sonrası bütün örnekler ışık geçirmez plastik şişelere konularak analiz gününe kadar 4 °C'de depolanmıştır.



Şekil 3.1. Püskürtmeli kurutucu



Şekil 3.2. Örneklerin freeze-dryer'da kurutulması

3.2.3. Mikropartiküllerin Morfolojik Özellikleri

Püskürterek kurutma ve liyofilize ile elde edilen partiküllerin morfolojisi Q150R ES Coater (Quorum Technologies, Hillsboro, Oregon, ABD) ile altın kaplamadan sonra, Quanta 650 field emission scanning electron microscopy (SEM, FEI company, Hillsborn, OR, US) kullanarak Çukurova Üniversitesi Merkez Laboratuarında (ÇÜMERLAB) karakterize edilmiştir (Şekil 3.3). SEM görüntüleri oda sıcaklığında ve 20 kv voltajda elde edilmiş ve 10000 ve 20000 büyütme ile sonuçlar görsel olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.3. Taramali elektron mikroskobu (SEM, scanning electron microscope)

3.2.4. Antimikrobiyal Aktivite Analizi

Agar Kuyucuk Difüzyon Yöntemi

Araştırmada ham ve farklı yöntemlerle kurutulan *L. plantarum* serbest hücre supernatantının *in vitro* antimikrobiyal aktivite düzeyi Mueller-Hinton Agar (MHA, Merck 1.05437, Darmstadt, Almanya) kullanarak modifiye edilmiş Hwanhlem ve ark. (2017)'nın uyguladığı well difüzyon metoduna göre belirlenmiştir. Antimikrobiyal aktivite testi için örnekler 1:4 oranında distile su ile çözdürülmüştür. Balık bozucu bakteriler Nutrient broth'da (Merck 1.05443, Darmstadt, Almanya) 37 °C'de 24 saat geliştirildikten sonra, 0.5 Mcfarland hücre yoğunluğuna (10^8) standardize edilmiştir. Her bir bakteriyel hücre kültürü (100 µL) 20 mL Muller Hilton agar içeren petri kutusuna aşılanmıştır. Katı besiyeri içerisinde 5 mm'lik 5 adet kuyucuklar oluşturulmuştur. 4 kuyucuğa 50 µl ham ya da mikroenkapsüle süpernatant aşılanmıştır. Diğer kuyucuğa kontrol olarak distile su

aktarılmıştır. Sonrasında petri kutuları 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası herbir kuyucuğun çevresinde oluşan inhibisyon zonları kumpas yardımıyla mm olarak ölçülmüştür.

Minimum Inhibisyon (MIK) ve Bakterisit Konsantrasyonu (MBK)

Çalışmada minimum inhibisyon konsantrasyonu (MIK) ve minimum bakterisit konsantrasyonu (MBK) CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) (2006) dilüsyon metoduna göre belirlenmiştir. 37 ºC'de 24 saat inkübe edilen test mikroorganizmaları 0.5 MacFarland hücre yoğunluğuna standardize edilmiştir. Besiyeri olarak Mueller-Hinton Broth (MHB, Oxoid, CM0405) kullanılmıştır. 50 mg/ml olarak saf ve mikroenkapsüle ekstraktlardan hazırlanan stok solüsyon steril tüpler içerisinde 0.19 µg/ml düzeyine kadar seyreltilmiştir. İçerisinde sadece stok solüsyon ya da saf kültür bulunan tüp kontrol olarak değerlendirilmiş olup, MHB içeren diğer tüpler test mikroorganizmalarını ve seyreltik stok solüsyonları içermiştir. Kullanılacak olan tüpler tekrarlı hazırlanarak, 37 ºC'de 24 saat inkübe edilmiştir. Test tüplerindeki bakteriyel gelişimler kontrol tüplere göre kıyaslanarak, bakteriyel gelişimde en düşük inhibisyon gözlenen tüpler MIK olarak kaydedilmiştir. MIK sonuçları doğrultusunda, bakteriyel gelişim göstermeyen tüplerden Mueller Hinton Agar yüzeyine aşılama yapılarak, petri kutuları 37 ºC'de 24 saat inkübe edilerek MBK değerleri kaydedilmiştir.

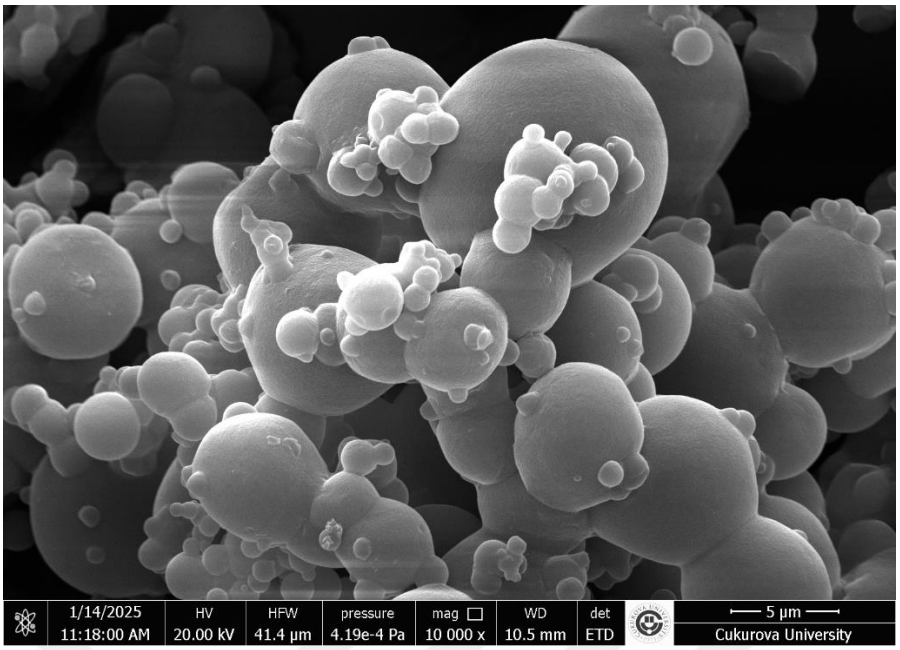
3.2.5. İstatistik Analiz

İstatistik analizler, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Duncan'ın Çoklu karşılaştırma Testi (SPSS 22, Chicago, Illinois, USA) kullanılarak gerçekleşmiştir. $p<0.05$ karşılaştırma sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık olduğunu belirtmiştir.

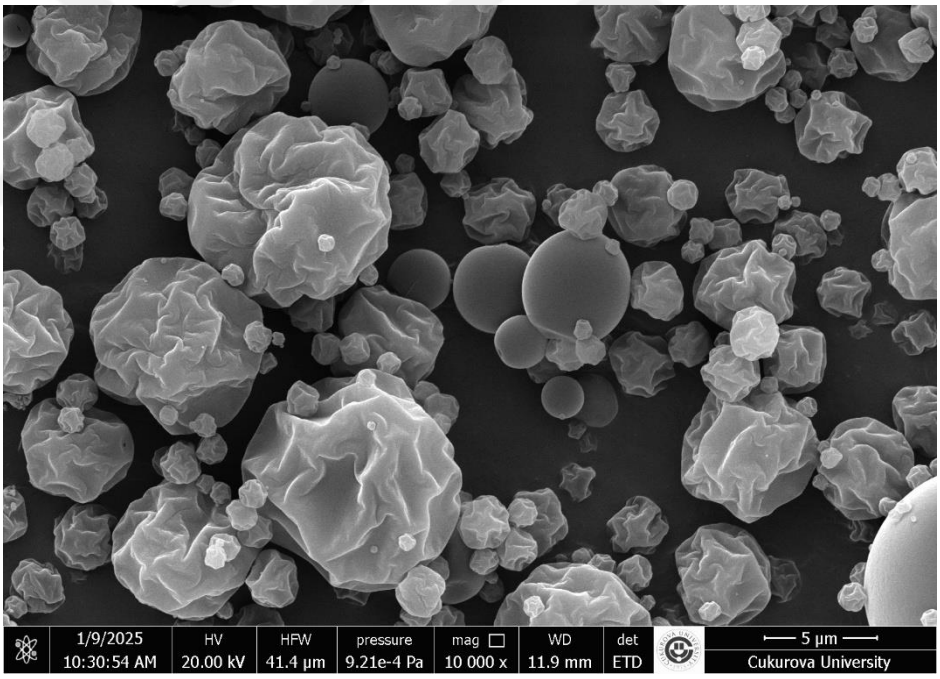
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Farklı Yöntemlerle Kurutulmuş Süpernatantların Morfolojik Özellikleri

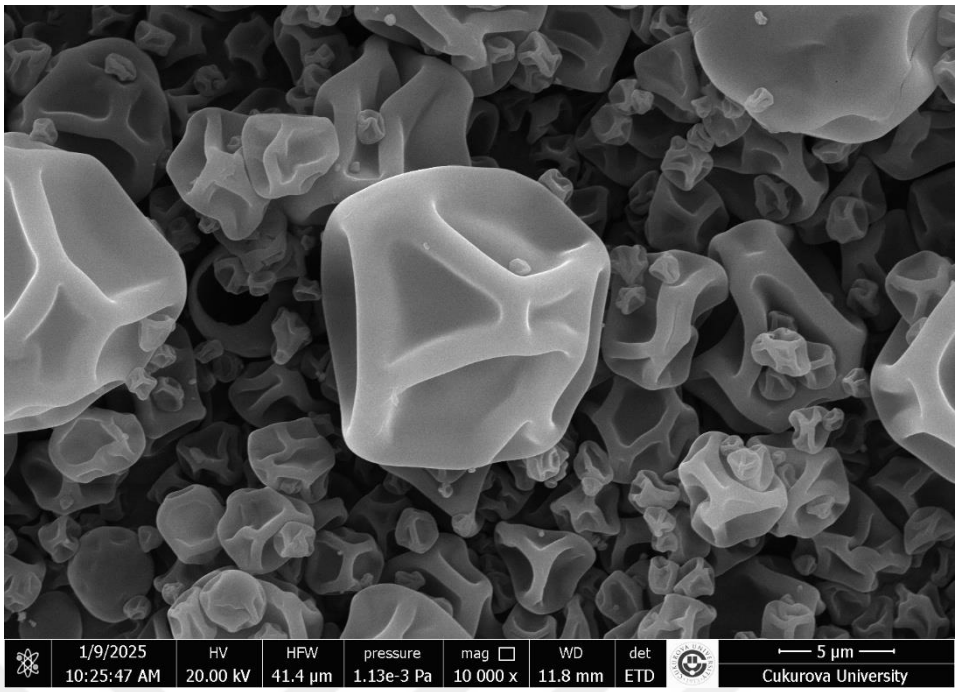
Şekil 4.1-4.4 farklı yöntemlerle kurutulmuş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsünü vermektedir. Püskürterek kurutma ile elde edilen partiküllerin büyüklükleri kaplama materyali, enkapsüle materyalin miktarı ve vizkozitesi ile kurutma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Wyspiańska ve ark., 2019). Kaplama yapılmadan püskürtülerek kurutulan örnekler bir birine yapışık büyüklü küçüklü küresel form sergilemiştir (Şekil 4.1). Partiküllerin toplanması toz örneklerde istenmeyen bir özelliktir. Başka gıdalara eklenmesini zorlaştırır, akışkanlığı engeller. Başta sodyum kazeinat ile kaplanan püskürtmeli kurutma ile kurutulan *L. plantarum* süpernatantı buruşuk yapıda küresel forma sahip olmuştur. Maltodekstrin ile kaplanan püskürütülerek kurutulan örneklerde çoğunlukla buruşuk küresel form gözlenirken bazı partiküllerde buruşukluk gözlenmemiştir. Diğer çalışmalarda maltodekstrin ile kaplanan örneklerin kaplama materyali eklenmeden kurutulan örneklere kıyasla daha küresel form gösterdiği bildirilmiştir (da Silva ve ark., 2019; Özyurt ve ark., 2023). Püskürtmeli kurutma koşullarındaki farklılıklar partiküllerin küresel formunu etkileyebilmektedir (Piñón-Balderrama ve ark., 2020). Bu çalışmadan farklı olarak mikroenkapsüle *L. plantarum* serbest hücre ekstraktı propolis ekstraktı varlığında daha buruşuk form sergilemiştir (Kuley ve ark., 2021). Bu çalışmaya benzer olarak, Özyurt ve ark. (2020) sodyum kazeinat ile kaplanan püskürtmeli kurutulan örneklerin küresel formda yüzey çukurlarına sahip olduğu ancak %5 balık protein izolatı ilavesiyle üretilen mikrokapsüllerin, depolanması istenen özellikler olan çatlak ve gözenekler olmaksızın küresel bir şekle sahip olduğunu bildirmiştir. Mikroenkapsüllerde meydana gelen çökmeler kuruma süresi boyunca nemin taşınabilme olasılığından kaynaklanabilmektedir (Mis Solval ve ark., 2016; Yeşilsu ve Özyurt, 2019).



Şekil 4.1. Kaplama yapılmadan püskürtme ile kurutulmuş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü

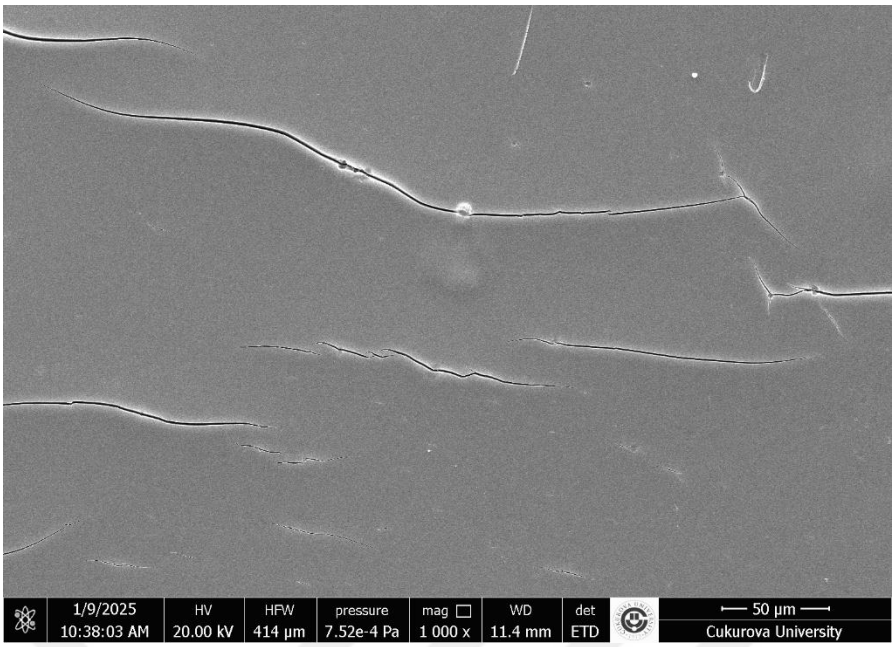


Şekil 4.2. Maltodekstrin ile kaplanmış püskürtme ile kurutulmuş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü

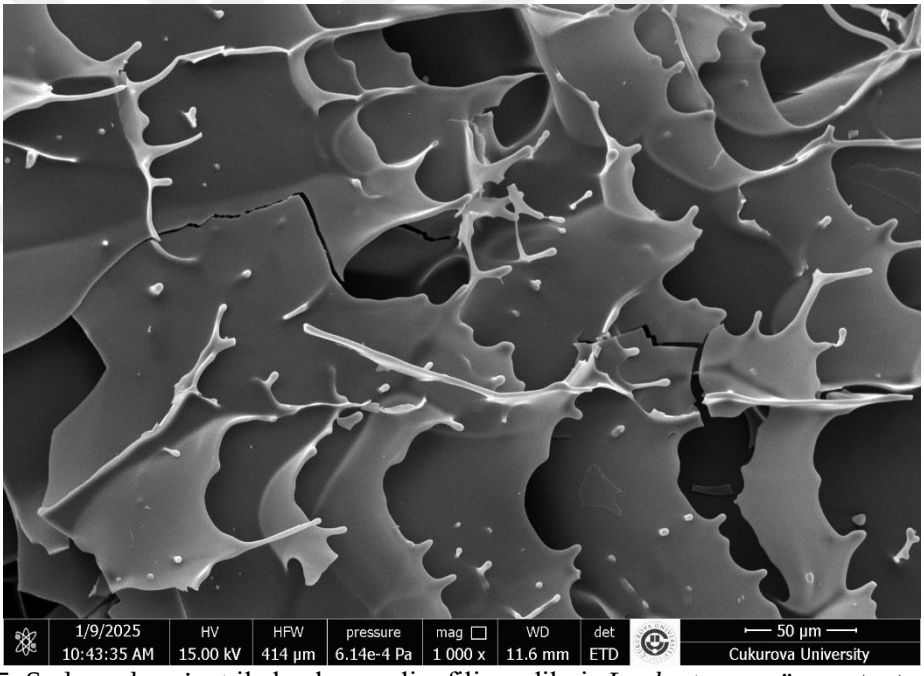


Şekil 4.3. Sodyum kazeinat ile kaplanmış püskürtme ile kurutulmuş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü

Çalışmada, kapsüllenmemiş süpernatantlar liyofilizasyon sonrası iyi bir şekilde kurumadığı için SEM görüntüleri alınamamıştır. Maltodekstrin ile kaplanmış liyofilize örnekler, kağıt görünümünde olup, süpernatantların gömülü olduğu ve birbirine bağlı pürüzsüz tabakalar oluşturduğu gözlenmiştir (Şekil 4.4). Sodyum kazeinat ile kaplı liyofilize örnekler ise maltodekstrinli örneklere kıyasla daha kırılgan formlu düz yapı göstermiştir (Şekil 4.5). Benzer olarak, dondurularak kurutulan hidrolizat partiküllerinin gözenekli kırık lamelli yapılarda olduğu, ayrıca partikül duvarında çatlaklar ve gözenekler gözlendiği bildirilmiştir (Sarabandi ve ark., 2018). Bu çalışmaya parallel olarak Ren ve ark. (2022) püskürtmeli kurutulan numunelerin, temelde pürüzsüz yüzeyli nispeten küresel bir şekil sergilediği ancak dondurularak kurutulmuş partiküllerin düzensiz olduğu ve hatta bazen büyük pullar oluşturduğunu rapor etmiştir. Benzer olarak, Stabrauskiene ve ark. (2024) liyofilize edilmiş biyoaktif bileşiklerin püskürtmeli kurutma ile ilişkili olanlardan daha gözenekli ve düzensiz bir yapı sergilediğini bildirmiştir.



Şekil 4.4. Maltodekstrin ile kaplanmış liyofilize edilmiş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü



Şekil 4.5. Sodyum kazeinat ile kaplanmış liyofilize edilmiş *L. plantarum* süpernatantının SEM görüntüsü

Sukroz ve polimer bazlı film ile kaplanan *Pseudomonas putida* bakterisinin liyofilizasyon sonrası SEM görüntüsünün pürüzsüz bir yüzey, gözenekli kalın bir yapı sergilediği bildirilmiştir (Wessman et al., 2011). Kavousi ve ark. (2018) sodyum kazeinat ile dondurularak kurutulmuş mikrokapsüllerin, iç gözenekli yapılı ve düzensiz şekilli ağa sahip olduğunu belirtmiştir. Püskürterek kurutma yoluyla üretilen mikrokapsüllerin çok az pürüzlülük gösterdiği ve küresel bir şekle sahip olduğu gözlenmiştir. Dondurularak kurutulmuş Miang tozlarının farklı boyutlarda köşeli şekillere ve pürüzsüz ve gözenekli yüzeylere sahip olduğu bulunmuştur (Ravichai ve Muangrat, 2019).

Dondurularak kurutulmuş örneklerin gözenekli yapısı, dondurma işlemi sırasında buz kristali oluşumundan ve kurutma sırasında süblimasyon işleminden kaynaklanan boşluklardan ve ayrıca kristal bir yapının olmamasından kaynaklanmaktadır (Ravichai ve Muangrat, 2019). Pudziuvelyte ve ark. (2020) farklı kaplama materyali kullanarak dondurularak kurutulmuş örnekler arasında partikül yapısı ve boyut dağılımı açısından kayda değer bir farklılık olduğunu gözlemlemişlerdir. Dondurularak kurutulmuş tozların tüm görüntüleri kırık cam gibi düzensiz bir şekil sergilemiş ve yüzeyde bazı gözenekler görülmüştür. Partikül boyutundaki farklılıkların, duvar malzemesinin türü ve dondurarak kurutma işleminden sonra dondurularak kurutulmuş tozların ezilmesi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Pudziuvelyte ve ark., 2020). Yapılan bazı çalışmalarda SEM görüntilemesi öncesi, dondurma kurutma tepsisinde elde edilen plakalar serbest akışlı bir toz elde etmek için havan veya tokmakla öğütülmüştür. Bu çalışmada dondurularak kurutulan örnekler toz haline getirilmeden direk SEM görüntüleri alınmıştır.

4.2. *L. plantarum* Süpernatantların Antimikrobiyal Aktivite Analizleri

4.2.1. Süpernatantların Inhibisyon Çapları

Çizelge 4.1 püskürtmeli ve dondurularak kurutulan süpernatantların test bakterilerine karşı inhibisyon zonlarını göstermektedir. Süpernatantların gıda kaynaklı patojen ve balık bozucu bakterilere karşı inhibisyon etkileri bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar gözlenmiştir ($p<0.05$). Gruplar arasında bakterilere karşı en yüksek inhibisyon etki gösteren grup sodyum kazeinat ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantında (FKLP) gözlenmiştir. Gram pozitif gıda kaynaklı patojen olan *S. aureus*'a karşı en yüksek inhibisyon zonu sırasıyla 24.67 ve 23.67 mm değer ile kontrol LP ve FKLP grubunda bulunmuştur. Bu bakteriye karşı FLP, SLP ve SKLP grupları benzer inhibisyon zonu sergilemiştir.

LAB'nin antimikrobiyal aktivitesinde organik asitler, bakteriyosinler, alkoller, enzimler, ve düşük moleküler ağırlıklı maddeler önemli rol oynamaktadır (Moradi ve ark., 2020). Tremonte ve ark. (2017) farklı fermente ürünlerden izole edilen *L. plantarum* üyelerinin serbest hücre süpernatantlarının gıdada istenmeyen bir çok mikroorganizmanın gelişimini engellediğini belirtmiştir. Gram negatif *S.* Paratyphi *A* gelişimine karşı en yüksek inhibisyon etki FKLP grubunda (20.00 mm) gözlenirken, FLP, SLP ve SKLP grupları da yüksek ve istatistiksel olarak benzer inhibisyon zonları (sırasıyla 10.67,11.00 ve 11.50 mm) sergilemiştir. FMLP grubu patojen bakteri gelişiminde en düşük inhibisyon zonuna sahip grup olmuştur. Mehrabi ve ark. (2021) *L. plantarum* KMP'nin *E. coli'*ye karşı 8, 10, 12, 14 ve 16 saatlik inkübasyon sonrasında inhibisyon zonları sırasıyla 26.6, 24.9, 22.5, 20.3 ve 17.9 mm olduğunu bildirmiştir.

Soya protein izolatı ve sodyum kazeinat filmlerine 18 mg/ml *Lactobacillus rhamnosus* NRRL B-442 serbest hücre süpernatantı katkısının *E. coli, L. monocytogenes,S. aureus,* ve *S. Typhimurium*'a karşı dikkate değer bir antimikrobiyal aktivite sağladığı (yaklaşık 3 mm daha fazla inhibisyon zon) gözlenmiştir (Beristain-Bauza ve ark., 2016).

Patojen bakterilerde olduğu gibi balık bozucu bakterilerde de en yüksek inhibisyon etkiye sahip grup FKLP olmuştur. Balık bozucu bakteriler arasında *P. mirabilis* süpernatantlara karşı daha dirençli olup, daha düşük inhibisyon zon sergilemiştir. Benzer olarak, Kuley ve ark. (2021) *L. plantarum*'dan elde edilen ham ve mikroenkapsüle serbest hücre ekstraktların test edilen bakteriler arasında en düşük antimikrobiyal etkiyi 8.33 ve 8.00 mm inhibisyon zonuyla *Proteus mirabilis* üzerinde gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ancak bu çalışmadan farklı olarak, *S. thermophilus* ekstraktına karşı *Photobacterium damselae'*nın 7.33 mm inhibisyon zonu ile en dirençli, *V. vulnificus'*un *ise* 17.33 mm inhibisyon zonu ile en hassas tür olduğu bildirilmiştir (Kazgan, 2023).

FKLP grubu *V. vulnificus, P. damselae* ve *P. mirabilis* gelişimine karşı sırasıyla 30.33 mm, 28.50 mm ve 16.00 mm inhihisyon zon çapına sahip olmuştur. *V. vulnificus ve P. damselae* için en düşük inhibisyon zon çapı SLP grubunda (sırasıyla 11.50 ve 12.00 mm) gözlenirken, *P. mirabilis* gelişimi için SMLP grubunda (7.50 mm) gözlenmiştir. Ancak *V. vulnificus* ve *P. damselae* için SMLP grubu FKLP grubundan sonra en yüksek inhibisyon zonu (sırasıyla 18.00 ve 20.17 mm) sergileyen grup olmuştur. *V. vulnificus* ve *P. damselae* gelişiminde LP ve FLP grupları istatistiksel olarak benzer inhibisyon zon göstermiştir. FLP ve FMLP gruplarının *P. mirabilis* gelişimini engellemede istatistiksel olarak fark görülmemiştir. Ayrıca, SLP ve SKLP grupları *Photobacterium damselae* gelişimini engellemede benzer ve diğer gruplara kıyasla düşük etki göstermişlerdir.

Çizelge 4.1. Püskürtmeli ve dondurularak kurutulan süpernatantların test bakterilerine karşı inhibisyon zonları

	Gıda kaynaklı patojen bakteriler		**Balık bozucu bakteriler**		
	Staphylococcus aureus	***Salmonella* Paratyphi *A***	***Vibrio vulnificus***	***Photobacterium damselae***	***Proteus mirabilis***
LP	24.67 ± 0.58^{a}	8.50 ± 0.50^{c}	16.33 ± 0.58^{bc}	19.33 ± 1.41^{bc}	9.00 ± 0^{cd}
FLP	9.67 ± 0.58^{c}	10.67 ± 0.29^{b}	15.00 ± 0.50^{cd}	18.67 ± 0.00^{c}	11.17 ± 1.06^{bc}
FMLP	6.00 ± 0.00^{d}	6.50 ± 0.50^{d}	17.00 ± 1.00^{b}	16.67 ± 0.00^{d}	11.00 ± 0.71^{bc}
FKLP	23.67 ± 1.53^{a}	20.00 ± 0.00^{a}	30.33 ± 2.08^{a}	28.50 ± 1.06^{a}	16.00 ± 0.71^{a}
SLP	9.67 ± 0.58^{c}	11.00 ± 0.87^{b}	11.50 ± 0.71^{e}	12.00 ± 0.00^{e}	13.17 ± 0.35^{b}
SMLP	14.00 ± 1.00^{b}	6.67 ± 0.58^{d}	18.00 ± 1.00^{b}	20.17 ± 0.35^{b}	7.50 ± 0.71^{d}
SKLP	8.83 ± 0.29^{c}	11.50 ± 0.50^{b}	14.00 ± 0.87^{d}	13.33 ± 0.71^{e}	12.50 ± 0.35^{b}

*Ortalama değer±standart sapma, LP: *L. plantarum* süpernatantı, FLP: dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, FMLP**:** Maltodekstrin ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, FKLP:Sodyum kazeinat ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, SLP: Püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, SMLP: Maltodekstrin ile kaplanan püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, SKLP: Sodyum kazeinat ile kaplanan püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı

Yolmeh ve ark. (2017) *Lactobacillus* izolatlarının serbest hücre süpernatantlarının bakteri hücresine kıyasla daha yüksek antimikrobiyal aktivite sergilediğini bildirmiştir. Fermente zeytin ve sarımsak turşusundan izole edilen *L. brevis* (%20) ve *L. plantarum* (% 80) serbest hücre süpernatantlarının karma olarak kullanımının gıda kaynaklı patojenlere karşı optimum aktivite

gösterdiği bildirilmiştir (Yolmeh ve ark., 2017) *L. plantarum* üyeleri tarafından üretilen kısmen saflaştırılan bakteriyosinlerin *S.aureus*'a karşı 0- 12.1 mm inhibisyon zon sergilemiştir (Vataščinová ve ark., 2020). *L. plantarum* S61'den elde edilen serbest hücre süpernatantının sırasıyla 12.25-22.05 mm ve 16.95-17.25 mm inhibisyon çapları ile mantar ve bakterilere karşı önemli bir inhibitör etki gösterdiği rapor edilmiştir (Abouloifa ve ark., 2022).

Mikroenkapsüle *S. thermophilus* ekstraktlarının bakterilere karşı mikroenkapsüle edilmeyen formlarına göre daha düşük inhibisyon zonu sergilediği bildirilmiştir (Kazgan, 2023). Bu çalışmada kurutma işlemi yapılmayan ham LP grubu balık bozucu bakterilere karşı dondurularak kurutulan örneklerle istatistiksel olarak benzer inhibisyon zonu sergilerken, *S. aureus'a* karşı daha yüksek ancak *S.* Paratyphi *A*'a karşı daha düşük inhibisyon zonu sergilemiştir. Kurutma işlemi yapılmayan ham LP grubu püskürtmeli kurutma ile karşılaştırıldığında ise *S.* Paratyphi *A* ve *P. mirabilis* dışında test bakterilerine karşı daha yüksek inhibisyon zonu sergilemiştir. Mikroenkapsüle *L. plantarum* ekstraktlarının bakterilere karşı mikroenkapsüle edilmeyen formlarına göre özellikle dondurarak kurutmada sodyum kazeinat ile kaplanan örneklerin enkapsüle edilmeyen ve maltodekstrinle kaplanan örneklere kıyasla daha yüksek antimikrobiyal aktivite sergilediği gözlenmiştir. Ancak püskürtmeli kurutmada *S.* Paratyphi *A* ve *P. mirabilis* dışında maltodekstrin ile kaplama işlemi enkapsüle edilmeyen ve sodium kazeinatla kaplanan örneklere kıyasla daha yüksek aktivite sergilemiştir. Sodyum kazeinatla kaplanan püskürtmeli kurutulan süpernatantlar enkapsüle edilmeyen püskürtmeli kurutulan örneklerden *Vibrio vulnificus*'a karşı daha fazla inhibisyon zonu sergilemiştir. Enkapsülasyonda kullanılan %25 kaplama materyalinden dolayı supernatant oranının azalmasına rağmen enkapsüle formların enkapsüle edilmeyen formlara göre daha yüksek yada kıyaslanabilir antimikrobiyal aktivite sergilemesi enkapsülasyon işleminin kurutma işleminde çeşitli avantajlar sağladığı sonucunu göstermektedir.

4.2.2. Süpernatantların Minimum Inhibisyon (MIK) ve Bakterisit Konsantrasyonu (MBK)

Farklı yöntemlerle kurutulan süpernatantların test bakterilerine karşı MIK ve MBK değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Gruplar arasında test edilen bakterilere karşı en güçlü antimikrobiyal aktivite gösteren grup FKLP grubu olmuştur. Enkapsüle edilmeyen ham LP grubunun bakteriyostatik konsantrasyonu *S. aureus, Vibrio vulnificus* ve *Photobacterium damselae* için 50 mg/mL olmuştur. *L. plantarum* serbest hücre süpernatantı test bakterilerine karşı 50 mg/mL'nin üzerinde MIK ve MBK değeri göstermiştir (Kuley ve ark., 2021). *L. plantarum* Su-ls553 üyesinden elde edilen serbest hücre filtratının ton balığındaki bozucu bakterilerin gelişimini 24 saat içerisinde baskıladığı bildirilmiştir (Sulistiani ve Handayani, 2018). Benzer olarak, *L.plantarum* serbest hücre süpernatantının Gram-pozitif ve negatif patojen bakteri gelişimini inhibe ettiği rapor edilmiştir (Danilova ve ark., 2019).

S. aureus için FLP ve FKLP grupları 50 mg/ML, FMLP, SMLP ve SKLP grupları 100 mg/mL MIK değerine sahip olmuştur. *L. plantarum* LR-14'den elde edilen süpernatantların en güçlü inhibitör etkiyi *S. aureus*'a karşı gösterdiği bildirilmiştir (Yang ve ark., 2022).

S. Paratyphi *A* için en düşük MIK değeri FKLP (25 mg/ml) ve SKLP (50 mg/mL) gruplarında gözlenmiştir. *Vibrio vulnificus* için FLP ve FKLP grubu 25 mg/ml, LP ve SKLP grubu 50 mg/mL MIK konsantrasyonuna sahip olmuştur.



Şekil 4.6. Süpernatantların MIK görünümü

Çizelge 4.2. Püskürtmeli ve dondurularak kurutulan süpernatantların test bakterilerine karşı minimum inhibisyon (MIK) ve bakterisit konsantrasyonu (MBK) (mg/mL)

Gruplar		***Staphylococcus aureus***	***Salmonella* Paratyphi *A***	***Vibrio vulnificus***	***Photobacterium damselae***	***Proteus mirabilis***
LP	MIK	50	100	50	50	100
	MBK	>100	>100	100	>100	>100
FLP	MIK	50	>100	25	50	>100
	MBK	>100	>100	100	>100	>100
FMLP	MIK	100	>100	100	100	100
	MBK	>100	>100	>100	>100	>100
FKLP	MIK	50	25	25	12.5	50
	MBK	100	>100	100	>100	>100
SLP	MIK	>100	>100	100	100	100
	MBK	>100	>100	>100	>100	>100
SMLP	MIK	100	100	100	50	100
	MBK	>100	>100	>100	100	100
SKLP	MIK	100	50	50	50	100
	MBK	>100	>100	>100	>100	>100

LP: *L. plantarum* süpernatantı, FLP: dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, FMLP**:** Maltodekstrin ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, FKLP:Sodyum kazeinat ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, SLP: Püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, SMLP: Maltodekstrin ile kaplanan püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı, SKLP: Sodyum kazeinat ile kaplanan püskürtülerek kurutulan *L. plantarum* süpernatantı

Çalışmada en düşük bakteriyostatik doz *Photobacterium damselae'*a karşı FKLP grubunda gözlenmiştir (12.5 mg/mL). *Proteus mirabilis* için en düşük MIK değeri 50 mg/mL ile FKLP grubunda gözlenirken, FLP grubu dışında diğer gruplarda MIK değeri 100 mg/mL olmuştur.

Süpernatantların gıda kaynaklı patojenlere karşı bakterisit konsantrasyonu *S. aureus* için FKLP grubu (100 mg/mL) dışında 100 mg/mL'ın üzerinde olmuştur. Balık bozucu bakterilerden

*Vibrio vulnificus'*a karşı LP, FLP ve FKLP gruplarının bakterisit konsantrasyonu 100 mg/mL olmuştur. *Photobacterium damselae, Proteus mirabilis* için süpernatantların MBK değerleri genellikle 100 mg/mL'ın üzerinde iken, SMLP grubu için 100 mg/mL olmuştur. Divyashree ve ark. (2021) *L. plantarum* (MYSRD 71) izolatının *S.* Paratyphi gelişimini önemli ölçüde azalttığı farklı bakteriyel patojenleri inhibe ettiğini bildirmiştir. Kefirden izole edilen *L. plantarum* süpernatantı 8 saatlik inkübasyondan sonra *E. coli* CECT45'in büyümesini inhibe etmiştir (Puertollano ve ark., 2009).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı kaplama materyali (maltodekstrin ve sodyum kazeinat) ve kurutma teknikleri (püskürterek kurutma ve dondurarak kurutma) kullanarak kurutulan *Lactiplantibacillus plantarum* serbest hücre süpernatantının balıkta bozulmaya neden olan bakteriler (*Photobacterium damselae, Proteus mirabilis,* ve *Vibrio vulnificus*) ve gıda kaynaklı patojenler (*Staphylococcus aureus* ATCC29213 ve *Salmonella* Paratyphi A NCTC13) üzerindeki antibakteriyel etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda belirtildiği şekilde sırası ile verilmiştir.

1. Mikroenkapsüle edilen ve edilmeyen liyofilize ve püskürtülerek kurutulan örneklerin morfolojik yapılarında önemli farklılıklar gözlenmiştir. Mikroenkapsüle *L. plantarum* süpernatantı buruşuk yapıda küresel forma sahip olmuştur. Buruşuk yapı beklenen bir sonuç,önemli olan çatlak yarık olmaması
2. *L. plantarum* süpernatatntının dondurularak kurutulmuş mikrokapsülleri, dondurularak kurutulmuş kapsülsüz örneklere kıyasla probiyotik mikrokapsüllerin iyi bir şekilde tutulduğu sonucuna varılmıştır. Liyofilize örnekler için oluşan matris "gevrek kağıt" görünümünde olup, süpernatantların gömülü olduğu ve oluklar şeklinde görünen birbirine bağlı pürüzsüz tabakalar oluşturduğu gözlenmiştir.
3. Süpernatantların gıda kaynaklı patojen ve balık bozucu bakterilere karşı inhibisyon etkileri bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar gözlenmiştir ($p<0.05$). Gruplar arasında bakterilere karşı en yüksek inhibisyon etki gösteren grup sodyum kazeinat ile kaplanan dondurularak kurutulan *L. plantarum* süpernatantında (FKLP) gözlenmiştir. Gram pozitif gıda kaynaklı patojen olan *S. aureus*'a karşı en yüksek inhibisyon zonu sırasıyla 24.67 ve 23.67 mm değer ile kontrol LP ve FKLP grubunda bulunmuştur. Bu bakteriye karşı FLP, SLP ve SKLP grupları benzer inhibisyon zonu sergilemiştir.
4. Gram negatif *S.* Paratyphi *A* gelişimine karşı en yüksek inhibisyon etki FKLP grubunda (20.00 mm) gözlenirken, FLP, FKLP, SLP ve SKLP grupları da yüksek ve istatistiksel olarak benzer inhibisyon zonları (sırasıyla 10.67,11.00 ve 11.50 mm) sergilemiştir. FMLP grubu patojen bakteri gelişiminde en düşük inhibisyon zonuna sahip grup olmuştur. Patojen bakterilerde olduğu gibi balık bozucu bakterilerde de en yüksek inhibisyon etkiye sahip grup FKLP olmuştur.
5. FKLP grubu *V. vulnificus, P. damselae* ve *P. mirabilis* gelişimine karşı sırasıyla 30.33 mm, 28.50 mm ve 16.00 mm inhihisyon zon çapına sahip olmuştur. *V. vulnificus ve P. damselae* için en düşük inhibisyon zon çapı SLP grubunda (sırasıyla 11.50 ve 12.00 mm) gözlenirken, *P. mirabilis* gelişimi için SMLP grubunda (7.50 mm) gözlenmiştir.

6. *V. vulnificus* ve *P. damselae* için SMLP grubu FKLP grubundan sonra en yüksek inhibisyon zonu (sırasıyla 18.00 ve 20.17 mm) sergileyen grup olmuştur. *V. vulnificus* ve *P. damselae* gelişiminde LP ve FLP grupları istatistiksel olarak benzer inhibisyon zon göstermiştir. FLP ve FMLP gruplarının *P. mirabilis* gelişimini engellemede istatistiksel olarak fark görülmemiştir. Ayrıca SLP ve SKLP grupları *Photobacterium damselae* gelişimini engellemede benzer ve diğer gruplara kıyasla düşük etki göstermişlerdir.
7. Bu çalışmada kurutma işlemi yapılmayan ham LP grubu balık bozucu bakterilere karşı dondurularak kurutulan örneklerle istatistiksel olarak benzer inhibisyon zonu sergilerken, *S. aureus'a* karşı daha yüksek ancak *S.* Paratyphi *A'a* karşı daha düşük inhibisyon zonu sergilemiştir. Kurutma işlemi yapılmayan ham LP grubu püskürtülerek kurutma ile karşılaştırıldığında ise *S.* Paratyphi *A* ve *P. mirabilis* dışında test bakterilerine karşı daha yüksek inhibisyon zonu sergilemiş , konsantrasyon artmıştır.
8. Mikroenkapsüle *L. plantarum* ekstraktlarının bakterilere karşı mikroenkapsüle edilmeyen formlarına göre özellikle dondurarak kurutmada sodyum kazeinat ile kaplanan örneklerin enkapsüle edilmeyen ve maltodekstrinle kaplanan örneklere kıyasla daha yüksek antimikrobiyal aktivite sergilediği gözlenmiştir. Ancak püskürtmeli kurutmada *S.* Paratyphi *A* ve *P. mirabilis* dışında maltodekstrin ile kaplama işlemi enkapsüle edilmeyen ve sodium kazeinatla kaplanan örnekelre kıyasla daha yüksek aktivite sergilemiştir.
9. Sodyum kazeinatla kaplanan püskürtülerek kurutulan süpernatantlar enkapsüle edilmeyen püskürtülerek kurulan örneklerden *Vibrio vulnificus*'a karşı daha fazla inhibisyon zonu sergilemiştir. Örneklerin enkapsüle işleminde %25 oranında kapsülleme materyali eklenmesinden dolayı antimikrobiyal aktivitede aynı oranda test edilen enkapsüle örneklerin enkapsüle olmayan formlarından daha düşük oranda süparnatant içermesi ve sonuç olarak daha yüksek yada kıyaslanabilir antimikrobiyal aktivite sergilemesi enkapsülasyon işleminin kurutma işleminde çeşitli avantajlar sağladığı sonucunu göstermektedir.
10. Gruplar arasında test edilen bakterilere karşı en güçlü antimikrobiyal aktivite gösteren grup FKLP grubu olmuştur. Enkapsüle edilmeyen ham LP grubunun bakteriyostatik konsantrasyonu *S. aureus, Vibrio vulnificus* ve *Photobacterium damselae* için 50 mg/mL olmuştur. *S. aureus* için FLP ve FKLP grupları 50 mg/Ml, FMLP, SMLP ve SKLP grupları 100 mg/mL MIK değerine sahip olmuştur. *S.* Paratyphi *A* için en düşük MIK değeri FKLP (25 mg/ml) ve SKLP (50 mg/mL) gruplarında gözlenmiştir. *Vibrio vulnificus* için FLP ve FKLP grubu 25 mg/ml, LP ve SKLP grubu 50 mg/mL MIK konsantrasyonuna sahip olmuştur.

11. Çalışmada en etkili bakteriyostatik doz *Photobacterium damselae'*a karşı FKLP grubunda gözlenmiştir (12.5 mg/mL). *Proteus mirabilis* için en düşük MIK değeri 50 mg/mL ile FKLP grubunda gözlenirken, FLP grubu dışında diğer gruplarda MIK değeri 100 mg/mL olmuştur.
12. Süpernatantların gıda kaynaklı patojenlere karşı bakterisit konsantrasyonu *S. aureus* için FKLP grubu (100 mg/mL) dışında 100 mg/mL'ın üzerinde olmuştur. Balık bozucu bakterilerden *Vibrio vulnificus'*a karşı LP, FLP ve FKLP gruplarının bakterisit konsantrasyonu 100 mg/mL olmuştur. *Photobacterium damselae, Proteus mirabilis* için süpernatantların MBK değerleri genellikle 100 mg/mL'ın üzerinde iken, SMLP grubu için 100 mg/mL olmuştur.

Çalışma sonucunda *Lactiplantibacillus plantarum* serbest hücre süpernatantının gıda kaynaklı patojen ve balıkta bozulma etmeni bakteriler üzerine etkilerinin bakteri türlerine göre değişkenlik göstermesine karşın, birçok bakteride antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmada özellikle sodyum kazeinat ile kaplanan liyofilize örneklerin daha yüksek antimikrobiyal aktivite gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum özelikkle dondurarak kurutma da bakteriyel süpernatantlardaki biyoaktif maddelerin korunmasında sodyum kazeinatın önemli rol oynadığını göstermektedir. Püskürtmeli kurutmada ise bir çok bakteride maltodekstrin ile kaplanan örnekler sodyum kazeinat ile kaplanan örneklere oranla kısmen daha yüksek antimikrobiyal aktivite sergilemiştir. Bu sonuçlar ileriye dönük çalışmalarda sodyum kazeinat ile maltodeksrin yada diğer kaplama materyallerinin kombinasyonlarının her iki kurutma yönteminde denenmesi ve biyoaktivitesinin çalışılması gereksinimini ortaya koymuştur. Ayrıca çalışmada daha çok Gram negatif bakteriler test edilmiş, Gram pozitif olarak sadece bir üye (*Staphylococcus aureus*) çalışılmıştır. Gıdalarda istenmeyen mikroorganizmaların inhibisyonunu gözlemleyebilmek için diğer bakteri veya küf gibi mikroorganizma gruplarının da çalışılması önerilebilir.Ayrıca laktik asit bakterileri tarafından üretilen metabolitler bakteri üyelerine göre değişkenlik gösterebileceği için diğer çalışmalarda farklı türlerin çalışılması gerekmektedir. Bu çalışmada *L. plantarum* süpernatantının biyoaktivitesi *in vitro* olarak değerlendirilmiştir. İleriye dönük çalışmalarda ayrıca *in vivo* düzeyde balık kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Abdul-Fattah, A. M., Kalonia, D. S., & Pikal, M. J. (2007). The challenge of drying method selection for protein pharmaceuticals: Product quality implications. Journal of Pharmaceutical Sciences, 96, 1886–1916.

Abouloifa, H., Rokni, Y., Hasnaoui, I., Bellaouchi, R., Gaamouche, S., Ghabbour, N., ... & Asehraou, A. (2022). Characterization of antimicrobial compounds obtained from the potential probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* S61 and their application as a biopreservative *agent. Brazilian Journal of Microbiology, 53(3), 1501-1513.*

Ahmad, M.; Madni, A.; Usman, M.; Munir, A.; Akhtar, N.; Shoaib Khan, H.M. (2011). Pharmaceutical Micro Encapsulation Technology for Development of Controlled Release Drug Delivery Systems. World Acad. Sci. Eng. Technol. 75, 384–387.

Anandharamakrishnan, C., & Anandharamakrishnan, C. (2014). Drying techniques for nanoencapsulation. *Techniques for Nanoencapsulation of Food Ingredients*, 51-60.

Anandharamakrishnan, C., Rielly, C. D., & Stapley, A. G. F. (2010). Spray- freeze- drying of whey proteins at sub atmospheric pressures. Dairy Science & Technology, 90, 321–334.

Arena MP, Silvain A, Normanno G, Grieco F, Drider D, Spano G, Fiocco D (2016) Use of *Lactobacillus plantarum* strains as a bio-control strategy against food-borne pathogenic microorganisms. Front Microbiol 7:464.

Arena, M. P., Capozzi, V., Russo, P., Drider, D., Spano, G., & Fiocco, D. (2018). Immunobiosis and probiosis: antimicrobial activity of lactic acid bacteria with a focus on their antiviral and antifungal properties. *Applied microbiology and biotechnology*, *102*, 9949-9958.

Assadpour, E., & Jafari, S. (2019). Advances in spray-drying encapsulation of food bioactive ingredients: From microcapsules to Nanocapsules. Annual Review of Food Science and Technology, 10, 103.

Bamidele, O. P., & Emmambux, M. N. (2021). Encapsulation of bioactive compounds by "extrusion" technologies: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 61,1–19.

Barcenilla, C., Ducic, M., López, M., Prieto, M., & Álvarez-Ordónez, A. (2022). Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. *Meat Science*, *183*, 108661.

Beristain-Bauza, S. C., Mani-López, E., Palou, E., & López-Malo, A. (2016). Antimicrobial activity and physical properties of protein films added with cell-free supernatant of *Lactobacillus rhamnosus*. *Food Control*, *62*, 44-51.

Broeckx, G., Vandenheuvel, D., Claes, I. J., Lebeer, S., & Kiekens, F. (2016). Drying techniques of probiotic bacteria as an important step towards the development of novel pharmabiotics. *International journal of pharmaceutics*, *505*(1-2), 303-318.

Burgut, A. (2022). Characterization and microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* FI 8595 cell free metabolites with enhanced antimicrobial property by powdered propolis. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(6), 4355-4363.

Ceballos, A. M., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. (2012). Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. Journal of Food Engineering, 111, 360–365.

Charve J, Reineccius GA (2009) Encapsulation performance of proteins and traditional materials for spray dried flavors. J Agric Food Chem 57:2486–2492

Chen Q, McGillivray D, Wen J, Zhong F, Quek SY (2013) Co encapsulation of fish oil with phytosterol esters and limonene by milk proteins. J Food Eng 117:505–512

Clinical and Laboratory Standards Instıtute (2008). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically. CLSI: Wayne, PA.

da Silva Sabo, S., Vitolo, M., González, J. M. D., & de Souza Oliveira, R. P. (2014). Overview of *Lactobacillus plantarum* as a promising bacteriocin producer among lactic acid bacteria. *Food Research International*, *64*, 527-536.

da Silva, S. C., Fernandes, I. P., Barros, L., Fernandes, Â., Alves, M. J., Calhelha, R. C., ... & Barreiro, M. F. (2019). Spray-dried Spirulina platensis as an effective ingredient to improve yogurt formulations: Testing different encapsulating solutions. Journal of Functional Foods, 60, 103427.

Dalié DKD, Deschamps AM, Richard-Forget F (2010) Lactic acid bacteria – potential for control of mould growth and mycotoxins: a review. Food Control 21:370–380.

Danilova, T. A., Adzhieva, A. A., Danilina, G. A., Polyakov, N. B., Soloviev, A. I., & Zhukhovitsky, V. G. (2019). Antimicrobial activity of supernatant of *Lactobacillus plantarum* against pathogenic microorganisms. Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 167(6), 751–754.

De Marco, S., Sichetti, M., Muradyan, D., Piccioni, M., Traina, G., Pagiotti, R., & Pietrella, D. (2018). Probiotic cell-free supernatants exhibited anti-inflammatory and antioxidant activity on human gut epithelial cells and macrophages stimulated with LPS. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2018*(1), 1756308.

de Souza Simões, L., Madalena, D. A., Pinheiro, A. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Ramos, Ó. L. (2017). Micro- and nano bio-based delivery systems for food applica tions: In vitro behavior. Advances in Colloid and Interface Science, 243, 23–45.

de Vos P, Faas MM, Spasojevic M, Sikkema J (2010) Review: encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. Int Dairy J 20:292–302

De Vries, M. C., Vaughan, E. E., Kleerebezem, M., & de Vos, W. M. (2006). *Lactobacillus plantarum*—survival, functional and potential probiotic properties in the human intestinal tract. *International Dairy Journal*, *16*(9), 1018-1028.

Desai, K. G. H., & Jin Park, H. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying technology*, *23*(7), 1361-1394.

Divyashree, S., Anjali, P. G., Somashekaraiah, R., & Sreenivasa, M. Y. (2021). Probiotic properties of *Lactobacillus casei–MYSRD 108* and *Lactobacillus plantarum-MYSRD 71* with potential antimicrobial activity against *Salmonella* Paratyphi. *Biotechnology Reports*, *32*, e00672.

Dordevic, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., & Nedović, V. (2015). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. Food Engineering Reviews, 7, 452-490.

Erdoğrul, Ö. ve Ergün, Ö., (2004). Dana jambon üretiminde sodyum difosfat ve sodyum kazeinatın çeşitli kombinasyonlarda kullanılması ve bunların ürünün bazı duyusal olarak algılanan fiziksel özelliklerine ve bazı kimyasal özelliklerine etkileri. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2):29-33.

Felis GE, Dellaglio F (2007) Taxonomy of Lactobacilli and Bifidobacteria. Curr Issues Intest Microbiol 8:44–61

Fuochi, V., Coniglio, M. A., Laghi, L., Rescifina, A., Caruso, M., Stivala, A., & Furneri, P. M. (2019). Metabolic characterization of supernatants produced by *Lactobacillus* spp. with in vitro anti-Legionella activity. *Frontiers in microbiology*, *10*, 1403.

George-Okafor, U., Ozoani, U., Tasie, F., & Mba-Omeje, K. (2020). The efficacy of cell-free supernatants from *Lactobacillus plantarum* Cs and *Lactobacillus acidophilus* ATCC 314 for the preservation of home-processed tomato-paste. *Scientific African*, *8*, e00395.

Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R (2007) Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. Food Res Int 40:1107–1121

Gómez-Sala, B., Herranz, C., Díaz-Freitas, B., Hernández, P. E., Sala, A., & Cintas, L. M. (2016). Strategies to increase the hygienic and economic value of fresh fish: Biopreservation using lactic acid bacteria of marine origin. *International journal of food microbiology*, *223*, 41-49.

Guimarães, A., Santiago, A., Teixeira, J. A., Venâncio, A., & Abrunhosa, L. (2018). Anti-aflatoxigenic effect of organic acids produced by *Lactobacillus plantarum*. *International journal of food microbiology*, *264*, 31-38.

Hogan SA, O'Riordan ED, O'Sullivan M (2003) Microencap sulation and oxidative stability of spray-dried fish oil emulsions. J Microencapsul 20:675–688.

Holzapfel, W. H., Haberer, P., Geisen, R., Bjorkroth, J., & Schillinger, U. (2001). Taxonomy and important features of probiotic microorganisms in food and nutrition. American Journal for Clinical Nutrition, 73(2), 365S–373S.

Hor, Y. Y., & Liong, M. T. (2014). Use of extracellular extracts of lactic acid bacteria and bifidobacteria for the inhibition of dermatological pathogen *Staphylococcus aureus*. *Dermatologica Sinica*, *32*(3), 141-147.

Hwanhlem, N., Ivanova, T., Haertle, T., Jaffres, E., & Dousset, X. (2017). Inhibition of food-spoilage and foodborne pathogenic bacteria by a nisin Z-producing *Lactococcus lactis subsp. lactis* KT2W2L. LWT-Food Science and Technology, 82, 170-175.

Jagadeeswari, S., Vidya, P., Kumar, D. M., & Balakumaran, M. D. (2010). Isolation and characterization of bacteriocin producing *lactobacillus sp.* from traditional fermented foods. *Electronic Journal of Environmental Agricultural and Food Chemistry*, *9*(3), 575-581.

Jose, N, Bunt C., Hussain, M (2015) Comparison of microbiological and probiotic characteristics of Lactobacilli isolates from dairy food products and animal rumen contents. Microorganisms. 3(2), 198-212

Jyothi, N. V. N., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S., & Srawan, G. (2010). Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. Journal of Microencapsula tion, 27(3), 187–197

Kavousi, H. R., Fathi, M., & Goli, S. A. (2018). Novel cress seed mucilage and sodium caseinate microparticles for encapsulation of curcumin: An approach for controlled release. *Food and Bioproducts Processing*, *110*, 126-135.

Killeen MJ., 2000. Spray drying and spray congealing of pharmaceuticals. Encyclopedia of Pharmaceutical Technology. Edited by Swarbrick J. Boylan JC.

Kim, S. W., Kang, S. I., Shin, D. H., Oh, S. Y., Lee, C. W., Yang, Y., et al. (2020). Potential of cell-free supernatant from *Lactobacillus plantarum* NIBR97, including novel bacteriocins, as a natural alternative to chemical disinfectants. Pharmaceuticals, 13 (10), 266.

Koç B, Sakin-Yılmazer M, Kaymak-Ertekin F, Balkır P., 2014. Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. Journal of Food Science and Technology, 51(7): 1377-1383.

Koy, R. (2017). *Lactic acid bacteria as bio-preservatives in bakery–Role of sourdough systems in the quality, safety and shelf life of bread* (Doctoral dissertation, University of Plymouth).

Krishnaiah D, Sarbatly R, Nithyanandam R (2012) Microen capsulation of Morinda citrifolia L. extract by spray-drying. Chem Eng Res Des 90:622–632

Kuck, L.S.; Noreña, C.P.Z. (2016). Microencapsulation of grape (Vitis labrusca var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chem.* , *194*, 569–576.

Kuley, E., Durmus, M., Ucar, Y., Kosker, A. R., Tumerkan, E. T. A., Regenstein, J. M., Ozogul, F. (2018). Combined effects of plant and cell-free extracts of lactic acid bacteria on biogenic amines and bacterial load of fermented sardine stored at 3±1° C. Food Bioscience, 24, 127-136.

Kuley, E., Kuscu, M. M., Durmus, M., & Ucar, Y. (2021). Inhibitory activity of Co-microencapsulation of cell free supernatant from *Lactobacillus plantarum* with propolis extracts towards fish spoilage bacteria. *LWT*, *146*, 111433.

Landete JM, Rodríguez H, Curiel JA, De Las Rivas B, De Felipe FL, Muñoz R (2010). "Degradation of Phenolic Compounds Found in Olive Products by *Lactobacillus plantarum* Strains". Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention. pp. 387–396.

Lengkey, H. A. W., Balia, R. L., Siwi, J. A., Tasbac, B. A., & Togoe, I. (2017). Isolation and identification of *lactobacillus* bacteria from culled hens meat for meat biopreservator. *KnE Life Sciences*, 518-528.

Li, C. U. I., Niu, L. Y., Li, D. J., Liu, C. Q., Lıu, Y. P., Liu, C. J., & Song, J. F. (2018). Effects of different drying methods on quality, bacterial viability and storage stability of probiotic enriched apple snacks. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(1), 247-255.

Lin, M. Y., & Yen, C. L. (1999). Inhibition of lipid peroxidation by *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium longum*. *Journal of agricultural and food chemistry*, *47*(9), 3661-3664.

Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S., 2006. Flavour encapsulation and controlled release-A review. International Journal of Science and Technology, 41: 1-21

Mani-López, E., Arrioja-Bretón, D., & López-Malo, A. (2022). The impacts of antimicrobial and antifungal activity of cell-free supernatants from lactic acid bacteria in vitro and foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *21*(1), 604-641.

Mansilla, R.T. Lactic Acid Bacteria as Bioprotective Agents against Foodborne Pathogens and Spoilage Microorganisms in Fresh Fruits and Vegetables. Doctoral Thesis, Universitat de Girona, Girona, Spain, 2008.

Marison I, Peters A, Heinzen C (2004) Liquid core capsules for applications in biotechnology. In: Nedovic V, Willaert R (eds) Fundamentals of cell immobilisation biotechnology. Kluwer Academic Publishers

Matejčeková, Z., Liptáková, D., Spodniaková, S., & Valík, Ľ. (2016). Characterization of the growth of in milk in dependence on temperature. *Acta Chimica Slovaca*, *9*(2), 104-108.

Mehrabi, F., Heshmati, A., Mahdavi, V., Sharifi, A., Nili-Ahmadabadi, A., & Khaneghah, A. M. (2025). Changes in Residues of Malathion and Chlorpyrifos During Various Pickled Cucumber Processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107209.

Mis Solval, K., Bankston, J. D., Bechtel, P. J., & Sathivel, S. (2016). Physicochemical properties of microencapsulated ω-3 salmon oil with egg white powder. *Journal of Food Science*, *81*(3), E600-E609.

Mis Solval, K., Bankston, J. D., Bechtel, P. J., & Sathivel, S. 2016. Physicochemical properties of microencapsulated ω-3 salmon oil with egg white powder. Journal of Food Science, 81(3), E600-E609

Mokoena, M. P. (2017). Lactic acid bacteria and their bacteriocins: classification, biosynthesis and applications against uropathogens: a mini-review. *Molecules*, *22*(8), 1255.

Moradi, M., Kousheh, S. A., Almasi, H., Alizadeh, A., Guimarães, J. T., Yılmaz, N., & Lotfi, A. (2020). Postbiotics produced by lactic acid bacteria: The next frontier in food safety. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, *19*(6), 3390-3415.

Mora-Villalobos JA, Montero-Zamora J, Barboza N, Rojas-Garbanzo C, Usaga J, Redondo-Solano M, Schroedter L, Olszewska-Widdrat A, López-Gómez JP (2020) Multi-product lactic acid bacteria fermentations: a review. Fermentation 6:23.

Nedovic V, Kalusevic A, Manojlovic V, Levic S, Bugarski B (2011) An overview of encapsulation technologies for food applications. Procedia Food Sci 1:1806–1815

Ng, Z. J., Zarin, M. A., Lee, C. K., & Tan, J. S. (2020). Application of bacteriocins in food preservation and infectious disease treatment for humans and livestock. *RSC Advances*, *10*(64), 38937-38964.

Nwose, A. M., Bolarinwa, O. O., & Onilude, A. A. (2023). Inhibition of aflatoxigenic Fungi by Lactic Acid Bacteria Isolated from Fermented Maize Slurry. *Open Journal of Bioscience Research (ISSN: 2734-2069)*, *4*(2), 1-12.

O'bryan, C. A., Crandall, P. G., Ricke, S. C., Ndahetuye, J. B., & Taylor, T. (2015). 7-Lactic acid bacteria (LAB) as antimicrobials in food products: Analytical methods and applications. *Handbook of natural antimicrobials for food safety and quality*, 137-151.

Obis, D., Paris, M., & Ouwehand, A. C. (2019). The safety of lactic acid bacteria for use in foods. In *Lactic acid bacteria* (pp. 355-369). CRC Press.

Oliveira, A. S., Weinberg, Z. G., Ogunade, I. M., Cervantes, A. A., Arriola, K. G., Jiang, Y., ... & Adesogan, A. T. (2017). Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *100*(6), 4587-4603.

Özyurt, G., Durmuş, M., Uçar, Y., & Özoğul, Y. (2020). The potential use of recovered fish protein as wall material for microencapsulated anchovy oil. LWT-Food Science and Technology, 129, 109554.

Özyurt, G., Uslu, L., Durmuş, M., Sakarya, Y., Uzlaşir, T., & Küley, E. (2023). Chemical and physical characterization of microencapsulated Spirulina fermented with *Lactobacillus plantarum*. Algal Research, 73, 103149.

Papoutsis, K.; Golding, J.; Vuong, Q.; Pristijono, P.; Stathopoulos, C.; Scarlett, C.; Bowyer, M. Encapsulation of Citrus By-Product Extracts by Spray-Drying and Freeze-Drying Using Combinations of Maltodextrin with Soybean Protein and ι-Carrageenan. *Foods* **2018**, *7*, 115.

Piñón-Balderrama, C. I., Leyva-Porras, C., Terán-Figueroa, Y., Espinosa-Solís, V., Álvarez-Salas, C., & Saavedra-Leos, M. Z. (2020). Encapsulation of active ingredients in food industry by spray-drying and nano spray-drying technologies. *Processes*, *8*(8), 889.

Pudziuvelyte, L., Marksa, M., Sosnowska, K., Winnicka, K., Morkuniene, R., & Bernatoniene, J. (2020). Freeze-drying technique for microencapsulation of Elsholtzia ciliata ethanolic extract using different coating materials. *Molecules*, *25*(9), 2237.

Puertollano, E., Puertollano, M. A., Cruz-Chamorro, L., De Cienfuegos, G. Á., Ruiz-Bravo, A., & De Pablo, M. A. (2009). Effects of concentrated supernatants recovered from *Lactobacillus plantarum* on *Escherichia coli* growth and on the viability of a human promyelocytic cell line. *Journal of applied microbiology*, *106*(4), 1194-1203.

Purushothaman, R., Vishnuram, M. G., & Ramanathan, D. T. (2024). Isolation and Identification of N-Hexadecanoic Acid from Excoecaria Agallocha L. and its Antibacterial and Antioxidant Activity. *Journal of emerging technologies and innovative research*, *11*(1), 332-342.

Rajoka, M. S. R., Zhao, H., Mehwish, H. M., Li, N., Lu, Y., Lian, Z., ... & Shi, J. (2019). Anti-tumor potential of cell free culture supernatant of *Lactobacillus rhamnosus* strains isolated from human breast milk. *Food Research International*, *123*, 286-297.

Ravichai, K., & Muangrat, R. (2019). Effect of different coating materials on freeze-drying encapsulation of bioactive compounds from fermented tea leaf wastewater. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(10), e14145.

Ren, J., Liao, M., Ma, L., Chen, F., Liao, X., Hu, X., ... & Ji, J. (2022). Effect of spray freeze drying on the structural modification and rehydration characteristics of micellar casein powders. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *80*, 103093.

Rezvankhah, A.; Emam-Djomeh, Z.; Askari, G. (2019). Encapsulation and delivery of bioactive compounds using spray and freeze-drying techniques: A review. *Dry. Technol.* , *38*, 235–258.

Rocchetti, M. T., Russo, P., De Simone, N., Capozzi, V., Spano, G., & Fiocco, D. (2024). Immunomodulatory activity on human macrophages by cell-free supernatants to explore the probiotic and postbiotic potential of *Lactiplantibacillus plantarum* strains of plant origin. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *16*(3), 911-926.

Ruiz, M. J., García, M. D., Canalejo, L. M. M., Krüger, A., Padola, N. L., & Etcheverría, A. I. (2023). Antimicrobial activity of *Lactiplantibacillus plantarum* against shiga toxin-producing Escherichia coli. *Journal of Applied Microbiology*, *134*(9), lxad202.

Saadatzadeh, A., Fazeli, M. R., Jamalifar, H., & Dinarvand, R. (2013). Probiotic properties of lyophilized cell free extract of *Lactobacillus casei*. *Jundishapur journal of natural pharmaceutical products*, *8*(3), 131-137.

Saavedra-Leos, Z., Leyva-Porras, C., Araujo-Díaz, S. B., Toxqui-Terán, A., & Borrás-Enríquez, A. J. (2015). Technological application of maltodextrins according to the degree of polymerization. *Molecules*, *20*(12), 21067-21081.

Sarabandi, K., Mahoonak, A. S., Hamishekar, H., Ghorbani, M., & Jafari, S. M. (2018). Microencapsulation of casein hydrolysates: Physicochemical, antioxidant and microstructure properties. *Journal of Food Engineering*, *237*, 86-95.

Sarıoğlu, T. ve Öner, Z., (2006). Yenilebilir filmlerin kaşar peynirinin kaplanmasında kullanılma olanakları ve peynir kalitesi üzerine etkileri. Gıda Dergisi, 31(1):3-10.

Seddik, H. A., Bendali, F., Gancel, F., Fliss, I., Spano, G., & Drider, D. (2017). *Lactobacillus plantarum* and its probiotic and food potentialities. *Probiotics and antimicrobial proteins*, *9*, 111-122.

Shafipour Yordshashi, A., Moradi, M., Tajik, H., & Molaei, R. (2020).Design and preparation of antimicrobial meat wrapping nanopa-per with bacterial cellulose and postbiotics of lactic acid bacteria. International Journal of Food Microbiology, 321, 108561

Shahidia, F., & Han, X. Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 33(6): 501-547.

Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, *78*, 34-60.

Todorov, S. D. (2009). Bacteriocins from *Lactobacillus plantarum* production, genetic organization and mode of action: produção, organização genética e modo de ação. *Brazilian journal of microbiology*, *40*, 209-221.

Tsilingiri, K., Barbosa, T., Penna, G., Caprioli, F., Sonzogni, A., Viale, G., & Rescigno, M. (2012). Probiotic and postbiotic activity in health and disease: comparison on a novel polarised ex-vivo organ culture model. *Gut*, *61*(7), 1007-1015.

Wyspiańska, D., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., & Kolniak-Ostek, J. (2019). Effect of microencapsulation on concentration of isoflavones during simulated in vitro digestion of isotonic drink. *Food Science & Nutrition*, *7*(2), 805-816.

Yeşilsu, A. F., & Özyurt, G. (2019). Oxidative stability of microencapsulated fish oil with rosemary, thyme and laurel extracts: A kinetic assessment. *Journal of Food Engineering*, *240*, 171-182.

Zhu, F. (2017). Encapsulation and delivery of food ingredients using starch based systems. *Food chemistry*, *229*, 542-552.

ÖZGEÇMİŞ

Ercihan BOZKURT, ilk, Orta ve Lise öğrenimini Adana' da tamamladı. 2012 yılında Çukurova Üniversitesi Yumurtalık Meslek Yüksekokulu Su Ürünleri bölümünde başladığı eğitimini 2014 yılında tamamladı. 2014 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme bölümünde başladığı lisans eğitimini 2016 yılında tamamladı. 2022 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Bekar ve ailesi ile yaşamaktadır.