

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELENEKSEL LAKTOFERMENTE İÇECEKLERDEN
İZOLE EDİLEN BAZI PROBİYOTİK BAKTERİLERİN
MİKROENKAPSÜLASYON KOŞULLARININ
OPTİMİZASYONU VE PROBİYOTİK KAYISI PESTİLİ
ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Elif Şeyma BAĞDAT

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Fatih TÖRNÜK

Eş Danışman

Prof. Dr. Nevzat ARTIK

Ağustos, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GELENEKSEL LAKTOFERMENTE İÇECEKLERDEN İZOLE
EDİLEN BAZI PROBİYOTİK BAKTERİLERİN
MİKROENKAPSÜLASYON KOŞULLARININ
OPTİMİZASYONU VE PROBİYOTİK KAYISI PESTİLİ
ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

Elif Şeyma BAĞDAT tarafından hazırlanan tez çalışması 20.08.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatih TÖRNÜK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Prof. Dr. Nevzat ARTIK
Ankara Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fatih TÖRNÜK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan YETİM, Üye
Sabahattin Zaim Üniversitesi

Prof. Dr. M. Zeki DURAK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Enes DERTLİ, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ömer Said TOKER, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Fatih Törnük sorumluluğunda tarafımca hazırlanan **“Geleneksel Laktofermente İçeceklerden İzole Edilen Bazı Probiyotik Bakterilerin Mikroenkapsülasyon Koşullarının Optimizasyonu Ve Probiyotik Kayısı Pestili Üretiminde Kullanımı”** başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Adı SOYADI

İmza



Aileme
ve
eşime

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmalarım sırasında akademik bilgi ve tecrübelerinden her zaman faydalandığım, akademik çalışmalarım için imkân sunan ve yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Fatih TÖRNÜK ve eş danışman hocam Prof. Nevzat ARTIK hocalarıma sonsuz saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmalarım sırasında bilgisi ve desteğiyle katkıda bulunan, Dr. Arş. Gör. Perihan Kübra AKMAN hocam ve Dr. Öğr. Üyesi Gözde KUTLU hocam' a aynı zamanda çalışma ara rapor ve ilerlemelerinde çalışmama değerli bilgi birikimleriyle katkıda bulunan saygıdeğer TİK üyelerim Prof. Dr. Hasan YETİM ve Prof. Dr. Muhammed Zeki DURAK hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca hep yanımda olup bana maddi, manevi desteklerini esirgemeyen biricik annem ve babam; Neriman USLU ve Dursun USLU'ya destekleri için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında sabır ve sevgisiyle daima yanımda olan, desteğini hep hissettiğim canım eşim Ümit BAĞDAT ve değerli oğullarım Mehmet Kerem BAĞDAT ve Aren Efe BAĞDAT'a gönülden teşekkür ederim.

Elif Şeyma BAĞDAT

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Araştırmanın Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	4
2 KURAMSAL TEMELLER	5
2.2 Probiyotik Bakteriler	5
2.3 Enkapsülasyon	7
2.3.1 Mikroenkapsülasyon.....	7
2.4 Yanıt Yüzey Metodu (YYM).....	10
2.5 Probiyotik Bakterilerin Püskürterek Kurutma ile Enkapsülasyonu ile İlgili Çalışmalar	11
2.6 Meyve Pestilleri ile İlgili Çalışmalar	17
3 MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1 Materyaller.....	20
3.2 Yöntemler	21
3.2.1 Kullanılan Suşların Saklanması, Aktivasyonu ve Suşlara Uygulanan Testler	22
3.2.2 Püskürtmeli Kurutucu ile Laktik Asit Bakterilerinin Enkapsülasyonu	24
3.2.3 Enkapsüle Probiyotik Tozlara Uygulanan Diğer Analizler	28
3.2.4 Kayısı püresi üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi.....	29
3.2.5 Kayısı Pestillerinin Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi.....	30
3.2.6 Pestillerin Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi.....	32
3.2.7 Pestillerinin Biyoaktif Özelliklerinin Belirlenmesi	33
3.2.8 Pestillerin Mikrobiyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	35
3.2.9 Pestillerin Tekstürel Özelliklerinin Belirlenmesi	35

3.2.10 Pestillerde in vitro Sindirim Sırasında Probiyotik Canlılığının Belirlenmesi	36
3.2.11 Kayısı Pestillerinin Duyusal Özelliklerinin Belirlenmesi.....	37
3.2.12 İstatistiksel Analizler	38
4 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	39
4.1 Optimum Özelliklere Sahip Suşlar	39
4.1.1 Yüksek Sükroz ve Fruktozlu Ortamda Canlılık Testi Sonuçları	41
4.1.2 Yüksek Sıcaklık Tolerans Testi Sonuçları	41
4.2 Seçilen Suşların YYM Modeli ile Kurutma Optimizasyonu.....	42
4.2.1 Seçilen Suşların Püskürtmeli Kurutucu ile Enkapsülasyonu Optimizasyon Deneme Noktaları Sonuçları	42
4.2.2 Püskürtmeli Kurutucu ile Enkapsüle Edilen Probiyotik Tozların Canlılık Varyans Analiz Sonuçları	45
4.2.3 Püskürtmeli Kurutucu ile Enkapsüle Edilen Probiyotik Tozların Verim Varyans Analiz Sonuçları	51
4.2.4 DMKDT karesel modelin tahmini ve doğrulanması	60
4.3 Optimum koşullarda üretilen bakteri yüklü tozların boyut ve morfolojiler	60
4.4 Kayısı ve Kayısı Püresinin Fizikokimyasal Özellikleri	63
4.5 Enkapsüle Probiyotik Bakteri ve Serbest Bakteri İlavesinin Kayısı Pestilinin Özelliklerine Etkisi	64
4.5.1 Kayısı Pestillerinin Fizikokimyasal Özellikleri	64
4.5.2 Kayısı Pestillerinin Biyoaktif Özellikleri	73
4.5.3 Kayısı Pestillerinin Mikrobiyolojik Özellikleri	75
4.5.4 Kayısı Pestillerinin in vitro Sindirimi Sırasında Probiyotik Canlılığı	81
4.5.5 Pestillerin Tekstürel Özellikleri	82
4.5.6 Kayısı Pestillerinin Duyusal Özellikleri	87
5 SONUÇ	93
5.1 Sonuç	93
5.2 Öneriler	95
KAYNAKÇA	96
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	116

SİMGE LİSTESİ

R^2	Belirleme katsayısı
$R^2\text{-Adj}$	Düzeltilmiş belirleme katsayısı
ΔH	Entalpi
a^*	Kırmızılık veya Yeşillik Değeri
pH	Potansiyel Hidrojen Gücü
L^*	Renk Parlaklığı Değeri
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
b^*	Sarılık veya Mavilik Değeri
Df	Serbestlik derecesi
$\pm$	Standart sapma
ΔE^*	Toplam Renk Farkı
F	Varyans Analizinin Test İstatistiği
CV	Varyasyon katsayısı
AP	Yeterli kesinlik
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

ANOVA	Varyans Analizi
DPPH	2,2-Difenil-1-pikrihidrazil
DMKDT	Dönebilen Merkezi Kompozit Deney Tasarımı
EB	Enkapsüle Bakteri
EE	Enkapsülasyon Etkinliği
g	Gram
GAE	Gallik asit eşdeğeri
HCl	Hidroklorik Asit
HGS	Hava Giriş Sıcaklığı
KCl	Potasyum Klorür
KOB	Koloni Oluşturan Birim
L	Litre
LAB	Laktik Asit Bakterileri
LF1	<i>Limosilactobacillus fermentum</i> G1G
LF2	<i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10
LP1	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> G4C
LP2	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> G4D
LP3	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH5
LP4	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11
LP5	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH23
LP6	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH35
LPE2	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i> SH14
LP4E1	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i> G4B
meq	Miliekivalen
mg	Miligram
MK	Maltodekstrin Konsantrasyonu
mL	Mililitre
µL	Mikrolitre

µm	Mikrometre
N	Normal
NaOH	Sodyum Hidroksit
nm	Nanometre
rpm	Dakikada Gerçekleşen Dönüş (Devir) Sayısı
sa	Saat
SB	Serbest Bakteri
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TPA	Tekstür Profil Analiz Cihazı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
YYM	Yanıt Yüzey Metodu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Mikrokapsüllerde iç faz ve kaplama materyali gösterimi [38].....	8
Şekil 2.2	Püskürterek kurutma yöntemi ile probiyotik bakterilerin mikroenkapsülasyonu şekilsel gösterimi [48], [57]	10
Şekil 3.1	Gerçekleştirilen çalışmaların özet gösterimi	22
Şekil 3.2	Optimum şartlarda enkapsüle probiyotik toz (LF2, LP4, LPE1 içeren) üretimi ve uygulanan analizler	25
Şekil 3.3	Pestil örneklerinin üretim akış diyagramı	30
Şekil 3.4	Pestil örneklerinin B) depolanma şekli	31
Şekil 3.5	Pestil örneklerinin üretimi ve uygulanan analizler görsel özet gösterimi	32
Şekil 3.6	Fenolik madde miktarı tespiti için gallik asit cinsinden standart kalibrasyon eğrisi	34
Şekil 3.7	<i>In vitro</i> sindirim testi özet gösterimi	36
Şekil 3.8	Duyusal değerlendirme formu.....	38
Şekil 4.1	Maltodekstrin konsantrasyonu (MK) (%) ve hava giriş sıcaklığının (HGS) (°C) a) <i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10 (LF2-yüklü toz), b) <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11 (LP4-yüklü toz) ve c) <i>Lactiplantibacillus pentosus</i> G4B (LPE1-yüklü toz) toz verimi (%) üzerindeki etkilerini gösteren kontur ve üç boyutlu yanıt yüzeyi grafiklerinin gösterimi	57
Şekil 4.2	Maltodekstrin konsantrasyonu (MK) (%) ve hava giriş sıcaklığının (HGS) (°C) a) <i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10 (LF2-yüklü toz), b) <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11 (LP4-yüklü toz) ve c) <i>Lactiplantibacillus pentosus</i> G4B(LPE1-yüklü toz) canlılık (%) üzerindeki etkilerini gösteren kontur ve üç boyutlu yanıt yüzeyi grafiklerinin gösterimi.	59
Şekil 4.3	Püskürtülerek kurutulmuş; a): <i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10 suşu (LF2 yüklü toz), b): <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11 suşu (LP4 yüklü toz) ve c): <i>Lactobacillus pentosus</i> G4B suşu (LPE1 yüklü toz) mikroenkapsüllerinin optimum koşullarda (10.000X büyütme) SEM görüntüleri.....	62
Şekil 4.4	Pestil örneklerinin 120 günlük depolama boyunca duyusal özelliklerinin örümcek ağı grafikleri.....	91

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Püskürtmeli kurutucu ile enkapsüle edilmiş probiyotik bakterilerin farklı meyve sebze bazlı matrikslerde uygulanması.....	14
Tablo 2.1 Püskürtmeli kurutucu ile enkapsüle edilmiş probiyotik bakterilerin farklı meyve sebze bazlı matrikslerde uygulanması (devamı)	15
Tablo 2.1 Püskürtmeli kurutucu ile enkapsüle edilmiş probiyotik bakterilerin farklı meyve sebze bazlı matrikslerde uygulanması (devamı)	16
Tablo 3.1 Şalgam ve gilaburudan izole edilmiş probiyotik özellikleri bilinen ve sükroz dayanım, fruktoz dayanım ve sıcaklık tolerans testlerinde kullanılan laktik asit bakterileri	23
Tablo 3.2 Püskürtmeli kurutma ile maltodekstrin kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyon çalışması için deney tasarımında kullanılan değişkenlerin kodlanmış ve kodlanmamış değerleri ve düzeyleri	26
Tablo 3.3 Püskürtmeli kurutma ile maltodekstrin kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyon çalışması için DMKDT deneme planı	27
Tablo 4.1 Fruktoz, sükroz ve ısı stresine bağlı olarak çeşitli LAB izolatları için canlılık değişim yüzdeleri (%),	40
Tablo 4. 2 <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11, <i>Lactiplantibacillus pentosus</i> G4B ve <i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10 merkezi kompozit dönebilen tasarıma göre; üretim verimi (%), canlılığı (log KOB/g), kapsülleme verimliliği (%), çıkış sıcaklığı (°C) ve nem miktarı (%)	43
Tablo 4. 3 Karesel modele göre LF2 bakterisi canlılık varyans analiz sonuçları .	46
Tablo 4. 4 Karesel modele göre LP4 bakterisi canlılık varyans analiz sonuçları	46
Tablo 4. 5 Karesel modele göre LPE1 bakterisi canlılık varyans analiz sonuçları	47
Tablo 4. 6 Tahmin edilen model için canlılık denklemleri; <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11, <i>Lactiplantibacillus pentosus</i> G4B ve <i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10 için R^2 , adj- R^2 , CV ve AP değerleri	49
Tablo 4. 7 Karesel modele göre LF2 bakterisi verimine ilişkin varyans analiz sonuçları	51
Tablo 4. 8 Karesel modele göre LP4 bakterisi verimine ilişkin varyans analiz sonuçları	52
Tablo 4. 9 Karesel modele göre LPE1 bakterisi verimine ilişkin varyans analiz sonuçları	53
Tablo 4. 10 Tahmin edilen model için toz verimi denklemleri; <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11, <i>Lactiplantibacillus pentosus</i> G4B ve <i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10 için R^2 , adj- R^2 , CV ve AP değerleri.	54

Tablo 4.11 LF2, LP4 ve LPE1 bakterilerini içeren enkapsüle tozların üretim modelinin doğrulanması	60
Tablo 4.12 Kayısı ve kayısı püresinin kuru madde (%), kül (%), pH, titrasyon asitliği (% malik asit), toplam suda çözünebilir kuru madde (% brik), renk özellikleri ve şeker içeriği.....	63
Tablo 4.13 Pestil örneklerinin fizikokimyasal özelliklerinin 120 günlük depolama boyunca değişimi	65
Tablo 4.14 Pestil örneklerinin şeker içeriği	68
Tablo 4.15 Pestil örneklerinin renk özelliklerinin 120 günlük depolama boyunca değişimi.....	70
Tablo 4.16 Pestil örneklerinin TPC (mg GAE/100g) ve DPPH (%) radikal süpürme değerlerinin 120 günlük depolama boyunca değişimi	74
Tablo 4.17 Pestil örneklerinin toplam LAB sayılarının 120 günlük depolama değişimi.....	77
Tablo 4.18 Pestil örneklerinin TMAB (log KOB/g) ve TYM (log KOB/g) sayılarının 120 günlük depolama boyunca değişimi.....	80
Tablo 4.21 Pestil örneklerinin duyu özelliklerinin 120 günlük depolama boyunca değişimi.....	89

Geleneksel Laktofermente İçeceklerden İzole Edilen Bazı Probiyotik Bakterilerin Mikroenkapsülasyon Koşullarının Optimizasyonu ve Probiyotik Kayısı Pestili Üretiminde Kullanımı

Elif Şeyma BAĞDAT

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Fatih TÖRNÜK

Eş-Danışman: Prof. Dr. Nevzat ARTIK

Probiyotikler; enkapsülleme teknolojisi sayesinde gıda matrislerinde daha iyi bir canlılığa sahip olmaktadır. Bu çalışmada, daha önceden geleneksel gilaburu ve şalgam sularından izole edilmiş 3 farklı probiyotik laktik asit bakterisinin (LAB) püskürtmeli kurutma tekniği ile enkapsüle edilerek probiyotik taşıyıcısı kayısı pestili üretiminde kullanımı amaçlanmıştır. Bu amaçla, probiyotik olduğu bilinen 10 farklı LAB içerisinde pestil ortamına dayanıklılığına göre 3 farklı türdeki probiyotik bakteri [*Lactiplantibacillus plantarum* SH11 (LP4), *Lactiplantibacillus pentosus* G4B (LPE1) ve *Limosilactobacillus fermentum* SH10 (LF2)] seçilmiştir. Seçilen bakterilerin püskürtmeli kurutma ile mikroenkapsülasyonuna ait koşullar (maltodekstrin konsantrasyonu (MK, %10-30) ve hava giriş sıcaklığı (HGS, 110-130°C), dönebilen merkezi kompozit deney tasarımı (DMKDT) kullanılarak optimize edilmiş ve optimum şartlarda üretilmiş probiyotik tozlar kayısı pestili reçetesine dahil edilmiştir. Serbest ve enkapsüle probiyotik bakterileri içeren kayısı

pestilleri oda sıcaklığında 120 gün süreyle depolanarak fizikokimyasal, mikrobiyolojik, biyoaktif ve duysal özellikleri incelenmiş, ayrıca *in vitro* sindirim sırasında pestil içerisindeki probiyotik bakterilerin canlılığı belirlenmiştir. Sonuçta maksimum toz verimi ve canlılığın elde edildiği optimum kurutma koşulları: LF2 yüklü toz için HGS: 123,21 °C ve MK: %22,76; LP4 yüklü toz için HGS: 130,37 °C ve MK: %19,49 ve LPE1 yüklü toz için HGS: 127,94 °C ve MK: %10,00 olarak belirlenmiştir. Optimum noktalarda üretilen enkapsüle tozların, %5,30-5,96 arasında nem içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. SEM görüntüleri, tipik küresel şekilleri nedeniyle mikrokapsüllerin oluşumunu doğrulamıştır. Depolama sırasında örneklerinin pH'ları 4,74 ve 4,97 değişimler sergilerken, su aktivitesi (0,31-0,45) ve nem içeriklerinde (%8,05-13,40) depolama süresi ilerledikçe bir azalma eğilimi görülmüştür. Başlangıçtaki toplam fenolik madde sayısı 231,73-291,73 mg GAE/100g arasında değişirken, depolama sırasında tüm örneklerde önemli ölçüde azalmış ve 52,13- 101,33 mg GAE/100g aralığında değişiklik göstermiştir ($p<0,05$). Depolama süresi sonunda, enkapsüle bakteri (EB) içeren pestillerin tümünde serbest formlarına (SB) göre daha yüksek canlılık görülmüştür. Canlılıktaki azalma, %33,5 ile LPE4-EB pestilinde en düşük düzeyde bulunmuştur. Ayrıca, *in vitro* sindirim koşullarına dayanıklılık çalışmalarında enkapsüle bakterilerin (%70,59-81,54) kapsüllenmemiş bakterilere (%62,00-73,02) göre daha yüksek düzeyde canlı kalabildikleri gözlemlenmiştir. SB ilaveli pestiller incelendiğinde, en yüksek canlılığın LP4 bakterisi içeren pestillerde olduğu görülmüştür. Pestillere serbest veya enkapsüle formda probiyotiklerin eklenmesinin belirgin olarak olumsuz bir tat ve aromaya yol açmadığı duysal analizlerle belirlenmiştir. Tekstürel özellikler incelendiğinde tüm pestillerin sertlik değerleri depolama boyunca artış göstermiştir. Sonuç olarak, püskürterek kurutma koşulları optimize edilmiş LAB içeren probiyotik taşıyıcısı kayısı pestilleri üretilmiş ve bakteri enkapsülasyon işleminin kayısı pestilinin fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duysal özelliklerini olumsuz etkilemeden daha yüksek probiyotik canlılığı sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Püskürtmeli kurutma, probiyotik, optimizasyon, pestil

Optimization of Microencapsulation Conditions of Some Probiotic Bacteria Isolated From Traditional Lactofermented Beverages and Their Use in The Production of Probiotic Apricot Leather

Elif Şeyma BAĞDAT

Department of Food Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Fatih TÖRNÜK

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nevzat ARTIK

Probiotics may have better viability thanks to the encapsulation technology. In this study, the production of apricot-based leather (pestil) is aimed at being an encapsulated probiotic carrier. This study aimed to produce probiotic apricot pestils by using the spray-drying technique to encapsulate three different probiotic lactic acid bacteria (LAB) strains, which had been previously isolated from traditional gilaburu and shalgam. For this purpose, three different probiotic bacterial species [*Lactiplantibacillus plantarum* SH11 (LP4), *Lactiplantibacillus pentosus* G4B (LPE1), and *Limosilactobacillus fermentum* SH10 (LF2)] were selected from ten known LAB strains based on their resistance in the pestil medium. Apricot pestils containing free and encapsulated probiotic bacteria were stored at room temperature for 120 days, during which their physicochemical, microbiological, bioactive, and sensory properties were analyzed. Additionally, the viability of the probiotic bacteria within the pestils was assessed during in vitro digestion. The results

indicated that the predicted processing conditions for the maximum powder yield and viability were the IAT of 123.21°C and MC of 22.76%; the IAT of 130.37°C and MC of 19.49% and the IAT of 127.94°C and MC of 10.00% for LF2, LP4 and LPE1 loaded powders respectively. The moisture content of the microcapsules produced under optimum conditions ranged between 5.30% and 5.96%. SEM images confirmed the formation of microcapsules due to their typical spherical shape. In general, fluctuations in pH (4.74-4.97) were observed during storage, while water activity (0.31-0.45) and moisture content (8.05-13.40%) exhibited a decreasing trend over time. Incorporating free or encapsulated bacteria resulted in a darker surface, attributed to intermolecular interactions between probiotics and the pestil matrix. The initial total phenolic content (231,73-291,73 mg GAE/100g) was high and declined significantly ($p<0,05$) during the storage (52.13- 101,33 mg GAE/100g) period. Viability was higher in the encapsulated forms of bacteria at the conclusion of the storage period. The decrease in viability was found to be the lowest in the LPE4-EB pestil, at 33.5%. Additionally, in in vitro digestion conditions, encapsulated bacteria (70.59-81.54%) were observed to survive at higher levels compared to non-encapsulated bacteria (62.00-73.02%). Among the pestils containing probiotics, those with the LP4 strain demonstrated the highest viability. It has been determined through sensory analysis that the addition of probiotics in either free or encapsulated form to the pestils does not lead to a significantly negative impact on taste and aroma. When examining the textural properties, it was observed that the hardness values of all pestils increased throughout the storage period.

In conclusion, probiotic apricot pestils were successfully produced by incorporating LAB strains optimized via spray-drying. Encapsulation enhanced probiotic viability without negatively impacting the physical, chemical, textural, or sensory properties of the pestils.

Keywords: Spray drying, probiotic, optimization, leather

1.1 Literatür Özeti

Enkapsülasyon, bir dış kabuk ya da kaplayıcı bir matris oluşturarak kaplanmak istenilen bileşenlerin korunması veya taşınmasını sağlayan ve gıda teknolojisi alanında da sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Gıda bileşenlerinin enkapsülasyonu için püskürterek kurutma, püskürterek soğutma, liyofilizasyon, ekstrüzyon, lipozom tutuklama, süspansiyon ayırma, kokristalizasyon gibi çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir [1].

Kapsüllemeden farklı olarak mikrokapsülleme, çekirdek malzemesi bir veya daha fazla malzeme (kaplama malzemesi) ile çevrelendiğinde boyutları mikrometreden milimetreye kadar değişen mikrokapsüllerin oluşumuna olanak tanımaktadır. Bir mikrokapsülün özellikleri bileşenin bileşimine, salım mekanizmasına, parçacık boyutuna, nihai ürünün fiziksel özelliklerine ve maliyet faktörüne bağlıdır [2].

Püskürterek kurutma yoluyla mikrokapsülleme tekniği, maliyet ve zaman verimliliği, büyük ölçekli üretime uygulanabilirlik, iyi stabilite ve son ürün kalitesi gibi umut verici özellikleri nedeniyle gıda endüstrisinde başarıyla uygulanabilmektedir. Bu yöntem ile gıda bileşenleri, katkı maddeleri, biyoaktif maddeler, probiyotik mikroorganizmalar gibi birçok farklı ajan kapsüllenebilmektedir. Canlı mikroorganizmaların püskürterek kurutulması, mikroorganizmaların zorlu çevresel koşullarda (örneğin ısı, hidrojen peroksit üretimi, oksijen içeriği ve pH) daha uzun süre canlı kalması için koruyucu bir ortam oluşturma fırsatı sağlamaktadır [3], [4]. Doğal yenilebilir polimerler, kaplama malzemesi olarak kullanılabilecek malzemelerdir ve maltodekstrin, probiyotiklerin püskürterek kurutma tekniği ile mikrokapsülasyonu için en yaygın kullanılan kaplama malzemelerinden birisidir [5]. Maltodekstrin, nişastanın asit veya enzim işlemleriyle kısmen hidrolize edilmesiyle elde edilir; bu, kontrollü salım, daha iyi stabilite, daha fazla çözünürlük ve daha iyi renk, aroma ve tat gibi bir dizi avantaj sağlamaktadır [6]. Ancak püskürterek kurutma, mikrokapsüllenmiş probiyotik bakterilerin probiyotik özelliklerini korumalarına yardımcı olsa da kurutma işlemi

sırasında uygulanan kuru sıcak hava nedeniyle hücre canlılığı olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Bu yüzden, her yeni uygulama ve probiyotik bakteri türü için proses parametrelerinin ayrı ayrı optimizasyonu gerekmektedir. Bu amaçla optimizasyon çalışmalarında; süreç parametrelerini tasarlamak, modellemek ve optimize etmek amacıyla dönebilen merkezi kompozit deney tasarımı (DMKDT)' a sahip yanıt yüzeyi metodolojisi (YYM) kullanılmaktadır [7], [8].

Birleşmiş Milletler Tarım Örgütü ve Dünya Sağlık Örgütü (FAO/WHO) kılavuzlarındaki son tanıma göre probiyotikler: “Yeterli miktarda uygulandığında konakçıya sağlık açısından fayda sağlayan canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanmaktadır [8]. Bir ürünün probiyotik gıda olarak adlandırılabilmesi için gereken minimum dozlar resmî kurumlara ve ülkelere göre değişmektedir. Örneğin canlı probiyotik hücrelerin minimum dozu Türkiye'de 10^6 KOB (Koloni Oluşturan Birim) /g iken insan sağlığına fayda sağlaması açısından Kanada'da 10^7 KOB/g, İtalya'da ise 10^9 KOB/g olarak önerilmektedir [9], [10]. Takviyelerde ve gıda matrislerinde en yaygın kullanılan probiyotikler, *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* cinslerini içeren laktik asit bakterileridir (LAB) [11]. Probiyotikler, besin matrislerinin bu yararlı bakterilerle zenginleştirilmesi aşamasında çeşitli stres faktörleriyle (örneğin; gastrointestinal koşullar, nem, besin eksikliği, pH, ozmotik stres, oksidatif stres ve sıcaklık) karşılaşır ve bu olay, son ürünün kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir [5], [12]. Serbest olarak probiyotik hücreleri içeren gıda ürünlerinde probiyotikler; düşük hayatta kalma oranına sahip olduğundan olumsuz çevresel koşullar ve işleme, depolama ve bağırsak ortamı koşullarına karşı fiziksel bir bariyere ihtiyaç duymaktadırlar [4]. Mikrokapsülleme tekniği, gıda ve ilaç endüstrilerinde mikrobiyal hücreleri çeşitli zorlu ortamlardan korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan ve probiyotik enkapsülasyonunda yaygın olarak kullanılan tekniklerden birisi olan kaplamalara püskürterek kurutma yöntemi kullanılarak sıcaklık, fruktoz ve sükroz koşullarında en yüksek stabilite gösteren probiyotik suşlar maltodekstrin kaplama materyaliyle enkapsüllenmiştir.

Kayısı (*Prunus armeniaca* L.), potansiyel olarak sağlığa birçok faydası bulunan, oldukça popüler bir meyvelerden birisidir. Türkiye, taze ve kuru kayısı üretiminde önemli bir üretici konumunda olup, küresel kayısı üretiminin %23' ünü tek başına

sağlamaktadır. Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde öne çıkan Malatya ili, kayısı üretiminde ülkemizde en başta yer almaktadır. Türk Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi, Malatya ilinde baskın ticari bir çeşittir [13], [14]. Çalışmamızda probiyotik pestil üretimi için Hacıhaliloğlu çeşidi kayısı kullanılmıştır. Kayısı, çeşitli aşamalardan geçirilerek probiyotik bakteri (enkapsüle ve serbest) ilavesiyle pestil formuna getirilmiştir.

Son yıllarda laktoz intoleransı ve vejetaryenlik gibi faktörlerden dolayı, süt esaslı olmayan probiyotik gıdalara olan ilgi daha da artmıştır [15]. Türkiye, Arabistan, İran, Suriye ve Ermenistan gibi ülkelerde tüketilen geleneksel gıdalardan pestil (basteğ, qamar el din, bestil ve meyva) kayısı, üzüm ve kivi gibi meyvelerden yapılmaktadır [16], [17]. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından "Nişasta, şeker ve katkı maddeleri ile konsantre edilmiş ve ince tabakalar halinde kurutulmuş meyve suyu ve posası" olarak tanımlanan pestil, popüler bir Türk tatlısıdır [17], [18]. Pestil; vitaminler (B1 ve B6), mineraller (kalsiyum, demir, magnezyum, fosfor ve potasyum), diyet lifleri ve antioksidanlar açısından zengin bir kaynak olmasının yanı sıra yüksek şeker içeriği nedeniyle de enerji kaynağı olarak önem arz etmektedir [17], [18]. Ülkemizde fonksiyonel pestil üretimi ile ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır [17], [19], [20], [21], [22].

1.2 Araştırmanın Amacı

Çalışmamızda öncelikli olarak, pestil tarifine hem serbest hem de kapsüllenmiş formdaki üç farklı probiyotik bakteri suşunu dahil ederek probiyotik taşıyıcısı, fonksiyonel bir gıda formüle edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, çalışmanın ilk aşamasında, geleneksel şalgam ve gilaburu içeceklerinden izole edilmiş probiyotik bakteri grubundan sükroza, fruktoza ve sıcaklığa toleransı yüksek olan 3 probiyotik bakteri türü tespit edilmiş ve püskürtmeli kurutucu ile maksimum canlılık ve verim şartlarını sağlayacak şekilde enkapsülasyon yapılmıştır. İkinci aşamada ise enkapsüle probiyotik bakterilerin ve kapsüllenmemiş serbest bakteriler, kayısı pestili ortamına ilave edilerek probiyotik pestil örnekleri elde edilmiş ve bu örneklerin 120 günlük depolama boyunca fizikokimyasal, biyoaktif, mikrobiyolojik, tekstürel ve duyuşal özellikleri analiz edilmiştir. Ayrıca, pestillerde *in vitro* sindirim gerçekleştirilerek probiyotiklerin

enkapsüle edilmesinin probiyotik bakterilerin canlılığı üzerinde etkisinin olup olmadığının gösterilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Belirlenen probiyotik bakterilerden, pestil üretim şartlarına ve içeriğine en iyi uyum sağlayabilecek ve aynı zamanda enkapsülasyonda püskürtmeli kurutucu sıcaklığına uygun bakterilerin seçilmesiyle benzer gıda matrislerinde kullanılabilecek probiyotiklerin belirlenmesi, çalışmanın hipotezleri arasındadır. Bu amaçla yüksek ozmotik basınca ve ısıya dayanıklı olan bazı probiyotik bakterilerin, püskürterek kurutma ve pestil koşullarına dayanım gösterebilecekleri öngörülmüştür. Ayrıca seçilen probiyotiklerin yanıt yüzey yöntemi ile optimum enkapsülasyon verimi ve canlılığı belirlenerek üretim şartları optimize edilip serbest bakteriye göre enkapsüle olanların üründe kullanım potansiyelinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Enkapsüle probiyotik bakteri ve serbest bakteri içeren ve hiç bakteri içermeyen kayısı pestillerinin üretilerek fizikokimyasal, biyoaktif, mikrobiyolojik, tekstürel ve duyuşal özellikleri açısından enkapsüle ve serbest bakterinin pestil üzerindeki etkileri ve depolamadaki durumunun iyileştirilmesi probiyotik bakteri korunumu bakımından iyileştirmelerin olacağı ön denemeler ve literatür taramaları sonucu tespit edilmiştir. Probiyotiklerde kaplama materyali olarak maltodekstrin kullanımı yapılan literatür çalışmalarıyla uyumlu olarak ön denemelerle ortaya konulmuştur. Püskürterek kurutma ile enkapsülasyon işleminin, probiyotiklerin pestil ortamında stabilitesini arttırabileceği ve *in vitro* gastrointestinal (GI) sistemde daha yüksek canlılık sağlayabileceği öngörülmüştür. Bu amaçlar doğrultusunda hem fonksiyonel hem vejeteryan vegan bir ürün olarak probiyotik pestilin optimum şartlarda üretimi ve depolanması hedeflenmiştir. Sonuç olarak, optimum şartlarda üretilmiş enkapsüle probiyotik bakterilerin pestil matrisi benzeri başka ürünlerde de kullanılabileceği düşünülmektedir.

Dünyada ve Türkiye’de probiyotik ürünlere olan ilginin artması ve probiyotik bakterilerin taşıyıcı matriksi olarak fonksiyonel vegan veyavejeteryan gıdaların geliştirilmesi, son yıllarda daha fazla çalışılan güncel konular arasındadır. Her ne kadar süt ürünleri, probiyotik taşıyıcısı gıdalar arasında halihazırda oldukça yaygın olsa da giderek artan sayıda süt dışı gıda maddesinin de probiyotiklerin taşınması için büyük potansiyele sahip olabileceği bildirilmektedir yıllarda probiyotik taşıyıcısı olarak vegan-vejeteryan gıdalara olan talebin artması, meyve ve sebze bazlı gıdaların bu amaçla daha fazla önem kazanmasını sağlamıştır.

2.2 Probiyotik Bakteriler

Birleşmiş Milletler Tarım Örgütü ve Dünya Sağlık Örgütü’nün tanımına göre probiyotikler, “yeterli miktarda uygulandığında konakçıya sağlık açısından fayda sağlayan canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanmaktadır [8]. Gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan probiyotik bakteriler *Lactobacillus* spp. ve *Bifidobacterium* spp.’ dir. Çünkü bunlara çeşitli düzenleyici kurumlar tarafından genellikle "Genel Olarak Güvenilir Olarak Kabul Edilen" (GRAS) statüsü verilmektedir [23]. Probiyotikler, yiyecek veya su yoluyla gastrointestinal sisteme giren, iç mikrobiyal dengeyi güçlendirerek sağlığı destekleyen canlı faydalı bakterilerdir. Probiyotikler bakteriyosinler, sideroforlar, lizozimler, proteazlar ve hidrojen peroksit gibi metabolitler, üreterek zararlı patojenlerin canlı kalmasını da engelleyebilmektedirler [24]. *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium*’un dışında farklı bakteri grupları içerisinde de spesifik probiyotik özelliklere sahip oldukları bilinen türler tespit edilmiştir [25]. Bunlar; *Lactococci*, *Streptococci*, *Pediococcus*, *Oenococcus*, *Weisella*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Propionibacterium* cinslerinin bazı türleridir.

Lactobacillus acidophilus, *Lactobacillus casei*, *Lactiplantibacillus plantarum* (eski adıyla *Lactobacillus plantarum*), *Lacticaseibacillus rhamnosus* (eski adıyla *Lactobacillus rhamnosus*), ve *Bifidobacterium lactis* suşları, bitki bazlı ürünlere dahil edilebilecek probiyotikler olarak bildirilmiştir [26].

Lactiplantibacillus plantarum, sıklıkla probiyotik veya başlatıcı mikroorganizma olarak kullanılan ve büyük adaptasyon kapasitesine sahip en yaygın türlerden biridir [27], [28].

Ayrıca *Lactiplantibacillus pentosus* (eski adıyla *Lactobacillus pentosus*) ve *Limosilactobacillus fermentum* da tüm dünyada çeşitli gıda kaynaklarında en yaygın görülen LAB türlerindendir [29].

Probiyotik gıda ürünleri, büyük ölçüde olası sağlık yararları ve hızlı bir şekilde büyüyen küresel gıda pazarı nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Probiyotik tüketmenin bildirilen sağlık yararları arasında ishal, kabızlık, inflamatuvar bağırsak hastalıkları gibi gastrointestinal sistemle ilgili hastalıklar, laktoz intoleransı, alerji, kanser, solunum yolu enfeksiyonları, idrar yolu enfeksiyonları, *Helicobacter pylori* enfeksiyonu ve yüksek kan kolesterolünün yönetimi ve önlenmesi gibi olası iyileştirme rolleri yer almaktadır [30]. Bununla birlikte, doğrudan karşılaştırmalara izin vermeyen koşullarda üretilen çok sayıda probiyotik türü ve ilişkisi bağlamında, bir hastaya belirli bir probiyotiği almanın fayda sağlayıp sağlamayacağını bilmek hala zordur. Başka bir deyişle, tek bir probiyotik türü incelenirken çeşitli mekanizmalar gözlenmesine rağmen, türlerin tamamının aynı etkileri göstermesi beklenmemektedir [31].

Probiyotiklerin ve prebiyotiklerin faydalı olduğuna dair genel bir tüketici görüşü olmasına rağmen, 'probiyotikler' ve 'prebiyotikler' terimlerinin tanımları, sağlığa yararları, nasıl çalıştıkları ve en iyi kaynakların nerede bulunacağı konusunda hala çalışmalar devam etmektedir [32]. Mikrobiyota farklılıklarından dolayı her ürünün her tüketicide aynı sonucu veremeyebileceği de bir gerçektir.

Günümüzde gıda endüstrisinde, sağlık açısından birçok fayda sağlayan probiyotikler ve prebiyotikler fonksiyonel gıda üretiminde oldukça fazla kullanılmaktadır. Kullanılan probiyotik ve prebiyotik katkıların ürünlerin besin içeriklerine katkılarının yanı sıra, gıdanın dokusunu değiştirerek, duyuşal açıdan daha hoş ürünlerin geliştirilmesine de olanak sağlayabileceği düşünülmektedir [33], [34]. Fakat probiyotiklerin gıdalarda tüketime kadar ve tüketim esnasında canlılık miktarı önemli ve tartışılan konulardandır. Probiyotiklerin canlılığı için çeşitli metotlar ve uygun matrisler geliştirilebilmektedir. Enkapsülasyon bu yöntemlerden biri olarak ortaya çıkmıştır. Probiyotiklerin kapsüllenmesi, gıda ürünlerinde canlılıklarını ve işlevselliklerini geliştirebilmektedir. Mikro ve/veya

nanokapsülleme, ilaç sektörü tarafından uzun süredir kullanılmaktadır ancak genel olarak güvenli (GRAS) olarak kabul edilen kapsülleyici ajanlar ve teknolojilerin sınırlı çeşitliliği nedeniyle gıdada kullanımları oldukça sınırlı kalmaktadır [35].

2.3 Enkapsülasyon

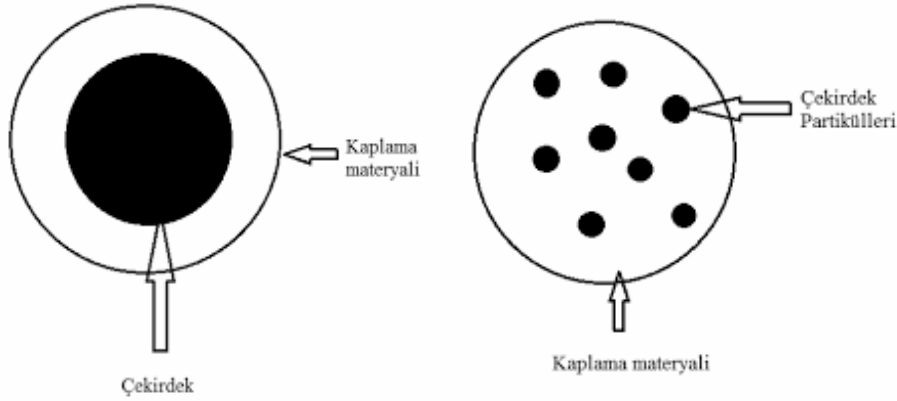
Klasik açıdan bakıldığında nanoyapı üretim teknolojileri iki temel yaklaşıma dayanmaktadır. Bu yaklaşımlar yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya üretim teknikleridir. "Yukarıdan aşağıya" yöntemde, işlem sırasında çeşitli mekanik kuvvetlerin etkisi altında parçacık boyutu nano boyuta indirirken, bunun aksine "aşağıdan yukarıya" yönteminde, atomların veya moleküllerin kendiliğinden bir araya gelmesinin bir sonucu olarak parçacık boyutu artmaktadır [36].

Enkapsülasyon, sıvı damlacıkların ayrı ayrı sürekli bir sistem içinde katı parçacıklarla paketlenbildiği bir yöntemdir. Kapsüllenen malzemeyi, hasara neden olan etkenlerden korumak için tasarlanmış kabuklara duvar denilebilir. Duvar yapısı, kapsülleyici malzeme çekirdeğinin gerekli koşullar altında salınmasını da kontrol eder. Gıda endüstrisinde enkapsülasyon uygulamalarının önemli bir yeri vardır [37].

2.3.1 Mikroenkapsülasyon

Mikroenkapsülasyon, ilaç ve gıda sanayi gibi özellikle daha çok belirli alanlarda kullanılan ve büyük bir hızla gelişen teknolojidir. Yaklaşık 60 yıldır gıda endüstrisinde kullanılmaktadır [38], [39].

Mikrokapsülleme, gıda bileşenlerinin dışında; enzimlerin, hücrelerin veya diğer materyallerin de küçük kapsüller içine kapsüllenmesini içerir. Mikrokapsüller, gıda işlemede hassas gıda bileşenlerini bozunma reaksiyonlarına karşı korumak, besin kaybını minimuma indirmek, hassas bileşenleri işlemeyi kolaylaştırmak, alışılmadık veya hızlı salınım mekanizmalarını formülasyonlara dahil etmek, istenmeyen tatları ve aromaları maskeleyerek veya istenenleri korumak gibi birçok olarak sağlamaktadır[39]. Kapsülleme, hassas probiyotik kültürlerle karşı koruma sağlayabilen, gıda ürünlerinde stabilitesini ve canlılığını artıran ve gastrointestinal kanalda hedef dağıtımını gerçekleştirebilen bir teknoloji olarak kullanılmaktadır [40]. Teoride mikrokapsüllerin çapları 0,01 ile 1000 µm arasında ve duvar kalınlıkları ise 0,5 ile 150 µm arasında değişmektedir [41].



Şekil 2.1 Mikrokapsüllerde iç faz ve kaplama materyali gösterimi [38]

Mikrokapsüllemede kaplama materyalinin özellikleri çok önemlidir. Bu özellikler; kaplama materyalinin yüksek konsantrasyondaki reolojik özellikleri iyi olmalı, kaplama materyali kapsülleme esnasında kolay işlenebilmeli, emülsiyon ve dispersiyon özelliği olmalı ve emülsiyon stabilitesi yüksek olmalı, çekirdek materyali ile kaplama işlemi esnasında ve depolama sırasında özellikleri etkileyecek şekilde reaksiyona girmemeli, çekirdek materyalini kaplayabilmeli ve bunu stabil bir şekilde hem işlem esnasında hem de depolama esnasında korumalı, istenilen çözücüde çözünebilmeli, ucuz ve kolay bulunabilir olmalıdır [2]. Kapsülleme için kullanılacak kaplama malzemesin seçimi, kapsülleme işlemi için en önemli kriterlerin başında gelmektedir. Çünkü seçilen kaplama malzemesinin özellikleri, kapsüllenmiş bileşiğin depolama süresi, kapsülleme verimliliği ve kapsülleme kapasitesi üzerinde etki göstermektedir. Ayrıca kapsülleme yöntemi de kapsüllenen ürünün ömrünü, kapsülleme verimliliğini, kapsülleme kapasitesini ve kapsülleme verimini etkileyebilecek faktörlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır [42]. Kapsülleme için farklı malzemeler kullanılabilmekte, bunlara en çok bilinen ve kullanılanlar arasında proteinler (jelatin, albümin gibi), karbonhidratlar ve türevleri (selüloz, karboksi metil selüloz, metil selüloz, nişasta, maltodekstrin, sükroz gibi), lipidler (stearik asit, fosfolipitler gibi) ve gumlar (Arap sakızı, sodyum aljinat, karragenan örnek olarak verilebilmektedir [43], [44]. Nişastaların kısmi hidrolizi ile oluşan karbonhidratlar olan maltodekstrinler, düşük maliyet ve yüksek etkinlikleri nedeniyle probiyotiklerin püskürtülerek kurutulmasında kapsülleyici ajanlar olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [45], [46], [47].

2.3.1.1 Probiyotik Mikroorganizmaların Mikroenkapsülasyonunda

Kullanılan Yöntemler

Tarihi çok eski olmasa da farklı amaç ve uygulamalara yönelik birçok mikrokapsülleme yöntemi bulunmaktadır. Uygun bir yöntem seçilirken istenilen fonksiyonel özelliğin elde edilebilmesi için kapsül oluşumunda kullanılan malzeme ve membranın özellikleri dikkate alınmalıdır. Mikroenkapsülasyonda kapsül oluşturmak için püskürterek kurutma, püskürterek soğutma, püskürterek dondurma, emülsiyon polimerizasyonu, lipozom ile kaplama, koazervasyon, çapraz bağlama süspansiyonu, ekstrüzyon kaplama gibi farklı teknikler kullanılabilir. Bu yöntemlerden probiyotik bakterilerin enkapsülasyonu için en uygun olanı ve çok kullanılanları; püskürterek kurutma, emülsiyon ve ekstrüzyon yöntemleridir [48], [49], [50], [51]. Farklı maddelerin kaplanması için farklı kapsülleme yöntemleri uygulanmaktadır. Literatüre göre özellikle püskürterek kurutma en popüler, uygun ve etkili kapsülleme tekniklerinden biri olarak öne çıkmaktadır [42].

- **Püskürterek Kurutma ile Mikroenkapsülasyon**

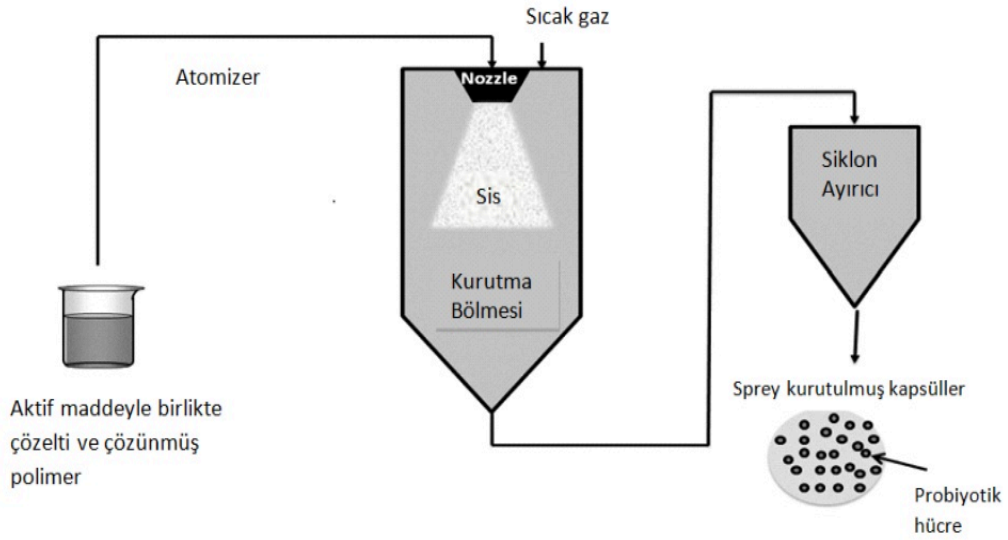
Probiyotiklerin gıda üretimi ve depolanması sırasındaki çevresel koşullara duyarlılığı nedeniyle, probiyotik hücrelerin canlılığını koruyacağı ve arzu edilen raf ömrüne sahip olacak probiyotik ürünlerin geliştirilmesi zor bir işittir. Bakterilerin püskürtülerek kurutulması sürdürülebilir bir işlemdir ve daha düşük enerji maliyetleriyle toplu üretime olanak sağlamaktadır. Bu aynı zamanda bakterileri çeşitli koruyucu matrisler içine kapsülleyerek depolama, teknolojik süreçler ve sindirim stresleri sırasında dirençlerinin artmasını sağlamak için uygun bir yöntemdir [52].

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, püskürterek kurutma, probiyotik mikroorganizmaların kaplama malzemelerinin sulu veya yağlı süspansiyonunun bir kurutma odasına atomizasyonunu sonucunda suyun hızla buharlaşması metoduna dayanır. Atomizasyon için basınçlı nozullara ve döner atomizörlere sahip farklı atomizasyon cihazları kullanılabilir. Hava giriş ve çıkış sıcaklıkları, ürün besleme özellikleri ve gaz akış hızı, atomizasyon sürecini modelleyen parametrelerden bazılarıdır [53], [54].

Püskürtmeli kurutma, canlı mikroorganizmalar için çeşitli kapsülleme yöntemlerine göre daha az maliyetlerle ortalama çapı <100 µm olan küçük kapsüller sağlamaktadır. Püskürterek kurutma; kısa işlem süresi, düşük su aktivitesi (aw),

düşük enerji tüketimi, taşımayı kolaylaştırması, esneklik, yüksek işlem verimi, kolay saklama, ürün boyunca homojen dağılım gibi avantajları nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [55].

Mikroorganizmaların sıcaklıktan etkilenme riski önemli bir risk olmasına rağmen, püskürterek kurutma ile kapsülleme teknolojisinin birçok avantajı vardır. Örneğin, işlem sırasında kullanılan enerji miktarı, dondurarak kurutma sırasında kullanılan 6-10 kat daha azdır. Ayrıca, püskürterek kurutma dondurarak kurutmadan 30-50 kat daha ucuzdur [56].



Şekil 2.2 Püskürterek kurutma yöntemi ile probiyotik bakterilerin mikroenkapsülasyonu şekilsel gösterimi [48], [57]

2.4 Yanıt Yüzey Metodu (YYM)

Yanıt yüzeyi metodolojisi (YYM), son yıllarda gıda bilimi ve teknolojisinde kullanılan en popüler optimizasyon yöntemidir. YYM'nin kimyasal ve biyokimyasal işlemlerde uygulanmasına dayanan pek çok çalışma vardır. Geleneksel optimizasyon işlemlerinde parametrelerden biri değiştirilip diğerleri genelde sabit tutulur, bu nedenle değişkenler arasındaki etkileşimi incelemek çok mümkün değildir. Fakat YYM metodunda birden fazla parametre arasındaki etkileşime dair tüm sonuçlar, hızlı ve kolay şekilde gözlemlenebilmektedir. Aynı zamanda geleneksel metotlarda zaman ve malzeme tüketimi daha fazla olacağı için bu yönden de YYM kullanıcıya avantaj sağlamaktadır [58]. YYM, deneyler yaparak ve sonuçlara bakarak bir şeyi yapmanın en iyi yolunu bulmaya yardımcı

olmaktadır. YYM’de farklı faktörlere bağılı olarak uygulamanın nasıl değıştığını açıklamak için özel bir denklem kullanılmaktadır. Bu, doğıru tahminler yapılmasına ve yapılacak işlemin en iyi şekilde sonuçlanmasına yardımcı olmaktadır [58], [59].

YYM'yi kullanmadan önce denemelerin yapılabilmesi için bir plan seçmeniz gerekmektedir. Plan uygulamasıyla hangi deneylerin yapılacağı belirlenmektedir [56], [57]. Veriler lineer fonksiyonlarla ifade edilebilen karmaşık olmayan birinci dereceden modellerse deneysel tasarımları kullanabilmekteyken, veriler daha karmaşık ve lineer fonksiyonlarla ifade edilemiyorsa Merkezi Kompozit Dizayn, Doehlert Tasarımı, Üç Seviye Faktörlü Dizayn veya Box-Behnken gibi planlar kullanabilmektedir [59], [60].

2.5 Probiyotik Bakterilerin Püskürterek Kurutma ile Enkapsülasyonu ile İlgili Çalışmalar

Son dönemlerde probiyotik içerikli ürünlere olan talep artmıştır. Birçok çalışma, bu ürünlerde probiyotik bakterilerin canlı kalma oranının zayıf olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu bakterilerin insan mide-bağırsak sisteminde canlı kalma oranları da net olmayabilir. Olumsuz çevresel koşullarına karşı canlı probiyotik hücrelere fiziksel bir bariyer sağlama düşüncesi bu şekilde ortaya çıkmıştır [61]. Bu düşünceden yola çıkarak probiyotik bakterilerin farklı kaplama materyalleri kullanılarak çeşitli yöntemlerle kaplanmasıyla ilgili çok sayıda çalışma yapılmaya başlanmıştır. Püskürterek kurutma, ekonomik ve esnek olması nedeniyle gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan mikrokapsülleme yöntemidir [62].

Öğütme hava basıncı ve besleme hızı gibi proses faktörlerinin toz partikül çapı ve hücre canlılığı üzerindeki etkisinin yanı sıra püskürterek kurtma işlemi sırasında toz partikül boyutunun küçültülmesinin (mikronizasyon) bakteri hücrelerinin ısı direncine etkisi değerlendirilen bir çalışmada; homojen emülsiyon sistemine ulaşmak için mikronizasyon gerekli görülmüştür; ancak partikül boyutunun aşırı derecede küçülmesinin hücrelerin mekanik hasarına yol açtığı ve özellikle yüksek sıcaklıklar kullanıldığında püskürterek kurtma işlemi sırasında ısı direncinin önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, söz konusu zararların oluşmaması için mikronizasyon işleminin dikkatli ve belirli bir limitte yapılması gerektiğı kanısına varılmıştır. Araştırmada *Bifidobacterium* spp.'nin (*Bifidobacterium breve* R070 (BB R070) ve *Bifidobacterium longum* R023 (BL R023)) ilave edildiğı,

süt yağı damlacıkları içeren ısıtılmış işlem görmüş peynir altı suyu proteini bazlı süspansiyonun püskürtürerek kurutulmasının hücrelerin canlılığı bakımından ve ekonomik açıdan endüstriyel ölçekte uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır [40], [63]. Yapılan diğer bir çalışmada, *Lactobacillus acidophilus*'un bir suşunun püskürtmeli kurutma işlemi sonucunda, elde edilen tozun, ürün nem içeriği %10'un altında olacak şekilde $10^8 - 10^9$ (KOB/g) aralığında kurutulmuş suş canlılığı bulunduğu gösterilmektedir. Ek olarak, kurutulmuş suş, 4°C'de saklandığında canlılığını iki ay boyunca korunduğu, ancak 25°C'de 1 ay süreyle saklandığında canlılığın 1 log azaldığı gözlemlenmiştir. Kurutma sırasında çalışılan çalışma koşulları aralığının (örn. basınç, besleme konsantrasyonu ve katkı maddesi), artan hava kurutma sıcaklığı dışında bakteri canlılığını etkilemediği gözlemlenirken, suşun morfolojisinde veya probiyotik özelliklerinde püskürtürerek kurutma işlemi nedeniyle önemli değişiklikler yaşanmadığı bildirilmiştir [64]. Yapılan bir çalışmada, *L. paraplantarum*, gıda sınıfı kapsülleyici maddeler (inulin: maltodekstrin ve simüle edilmiş süt tozu) kullanılarak püskürtmeli kurutucu ile kapsüllendi ve kapsülleme sonucunda yüksek ürün kalitesi ve bakteriyel hücre canlılığının korunmasının verimli bir şekilde sağlandığı ortaya koyuldu. Sonuçlar simüle edilmiş yağsız sütün 80 °C'de daha yüksek probiyotik canlılığını desteklediğini göstermiştir. Bu koruyucu ile giriş sıcaklığı arttıkça probiyotik canlılığı, nem içeriği ve su aktivitesi (A_w) azalmıştır. Probiyotiklerin canlılığının kurutma sıcaklığıyla ters orantılı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. 120 °C'ye yakın sıcaklıklarda, probiyotik içeren son üründe %90 civarında canlılık, %4,6 nem içeriği ve 0,26 a_w tespit edilmiştir [65]. *Streptococcus* türleri, püskürtürerek kurutmaya karşı genellikle *Lactobacillus*'tan daha dayanıklıdır; örneğin yapılan bir çalışmada, püskürtürerek kurutulmuş yoğurtta, *S. thermophilus*'un, *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus*'dan daha iyi canlılık oranı gösterdiği gözlemlenmiştir [66], [67]

Süt ve süt ürünlerinde probiyotik bakteri ilavesi uzun yıllardır çalışılan bir konudur. Son zamanlarda laktoz intoleransı, vegan-vejetaryen tüketici seçimleri gibi nedenlerle meyve sebze bazlı fonksiyonel ürünlere ilgi artmıştır. Tablo 2.1 püskürtmeli kurutucu ile enkapsüle edilmiş probiyotik bakterilerin farklı fonksiyonel meyve sebze bazlı ürünlere uygulamaları hakkında bilgi vermektedir. Tablo; Sharma vd. tarafından belirtilen kaynaklar ve farklı kaynakların birleştirilmesiyle oluşturulmuştur [45], [52], [68], [69], [70], [71], [72], [73], [74],

[75]. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi maltodekstrin probiyotik enkapsülasyonu ürün uygulamalarında çok tercih edilen bir kaplama materyalidir.



Tablo 2.1 Püskürtmeli kurutucu ile enkapsüle edilmiş probiyotik bakterilerin farklı meyve sebze bazlı matrislerde uygulanması

Ürün	Enkapsüle bakteri	Enkapsülasyon Materyali	Püskürtmeli Şartları	Kurutucu	Enkapsülasyon Etkinliği/Canlı Probiyotik sayısı	Bulgular	Referanslar
Çarkıfelek Meyvesi suyu	- <i>Bifidobacterium animalis</i> ssp. <i>lactis</i> BB-12	-Maltodekstrin -İnülin	Giriş: 130°C, Çıkış: 45 °C Besleme akış oranı: 6 mL/dk		-79.11- 86.67%, -8.08-8.41 KOB/g	Probiyotik canlılığı 4 °C'de saklandığında korundu. 25 °C'de maltodekstrin kapsüllü Bifidobakteriler canlılık kaybı gösterirken, inulin kapsülleme bakterileri korumuştur.	[45]
-Portakal suyu tozu	- <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> (eski adıyla <i>Lactobacillus plantarum</i>) 299v - <i>Pediococcus acidilactici</i> HA-6111-2	-Maltodekstrin	Giriş: 150°C, Çıkış: 70 °C Akış oranı: 25 mL/dk		- <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> 299v 9.5 log KOB /mL - <i>Pediococcus acidilactici</i> HA-6111-2 9.4 log KOB /mL	Farklı metotlarla kaplanan probiyotik bakterilerin ikisinde de püskürtmeli kurutucuda bakterilerin daha iyi korunduğu gözlemlenmiştir.	[46]
Açelora Nektarı	- <i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> BB-12	-Selüloz asetat	-Giriş: 110 °C, -Hava akışı: 439 L/sa -Akış oranı: 6 mL/dk		-Bilgi yok -8 log KOB/ 200 mL	Kontrol numunesindeki canlı probiyotik sayısı 5 log KOB/mL iken, Kapsüllemiş probiyotik, 30 günlük depolamanın ardından 8 log KOB/mL sayısını göstermiştir.	[68]

Tablo 2.2 Püskürtmeli kurutucu ile enkapsüle edilmiş probiyotik bakterilerin farklı meyve sebze matrislerde uygulanması (devamı)

Elma Suyu	- <i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> (eski adıyla <i>Lactobacillus rhamnosus</i>) GG	-Modifiye dirençli nişasta, -Peynir altı suyu protein izolatı (WPI) -Dirençli nişasta (RS)	-Giriş: 160 °C -Çıkış: 65 °C	-Bilgi yok -8.3/8,8 log10 KOB/g	WPI veya WPI-RS kapsüllemesi hücreleri 25 °C' de 5 hafta boyunca korumuştur.	[69]
Havuç Suyu	- <i>Lactobacillus casei</i> 01	-Aljinat -Kitosan	-Giriş: 120°C -Çıkış: 60°C Akış oranı: 6 mL/dk	-Bilgi yok -8.1 ± 0.6log KOB/g	Kapsülenmiş hücrelerin havuç suyunda zenginleştirilmesi, soğuk hava deposunda 6 hafta süreyle saklandığında <i>Lactobacillus casei</i> 'nin canlılığını korumuştur.	[70]
Ahududu Suyu	- <i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> NRRL B-442 - <i>Lactobacillus acidophilus</i> NRRL B-4495	-Maltodekstrin	-Giriş: 115°C, 130°C, 100°C -Çıkış: 68 °C, 97°C -Giriş besleme oranı: 40, 50, 60(mL/dk)	- 33%, -5 log KOB/mL	Mikrokapsülleyici malzeme konsantrasyonundaki artışla probiyotiklerin hayatta kalma oranında bir artış olduğu bildirildi.	[71]
Liçi Suyu	<i>Lactobacillus casei</i> 359	- Peynir altı suyu proteini konsantresi -inülin, akasya sakızı-oligo-fruktoz	-Giriş: 165 °C, -Çıkış: 75 °C	- Bilgi yok -6.9/ 8.12 log KOB/mL	Çalışma, peynir altı suyu protein konsantresi tozu ve inülinde canlı hücre sayımlarının olduğunu göstermiştir.	[72]

Tablo 2.3 Püskürtmeli kurutucu ile enkapsüle edilmiş probiyotik bakterilerin farklı meyve sebze bazlı matrislerde uygulanması (devamı)

Ananas Reçeli	- <i>Lactobacillus casei</i> - <i>Bifidobacterium longum</i>	-Pektin	Bilgi yok	-Bilgi yok	Sonuçlar, ananas reçeliindeki kapsüllemiş probiyotiklerin daha yüksek bir performans sergilediğini göstermiştir.	[73]
Ac1 kabak suyu	- <i>Lactobacillus casei</i>	-Maltodekstrin -Arap gamı	Giriş: 140, 150, 160 °C, Çıkış: 85 °C Akış oranı: 2mL/dk	-Bilgi yok	Maltodekstrin ile kapsüllemiş <i>L. casei</i> , 4 hafta boyunca saklandığında en yüksek canlı sayıları göstermiştir.	[74]
Yıldız meyvesi suyu	- <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subspp <i>bulgaricus</i>	-Maltodekstrin	Giriş: 140 °C	-Bilgi yok	-Bilgi yok	[75]

2.6 Meyve Pestilleri ile İlgili Çalışmalar

Meyve pestilleri atıştırılabilirlik veya tatlı olarak yenen kurutulmuş meyve ürünleridir. Konsantre edilmiş meyve aromasına ve besleyici özelliğe sahip esnek tabakalardır. Farklı ürünler katılarak ve farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan pestiller; genellikle nem içeriği %12- 20 arasına ulaşılan kadar 30 ila 80°C'de 24 saate kadar kurutularak hazırlanmaktadır [76]. Geçmişten günümüze farklı meyvelerden birçok meyve pestili çalışması yapılmıştır. Bunlardan bazıları ilave ürünlerle fonksiyonelleştirilirken bazıları sadece pestil üretimi ve değerlendirilmesiyle ilgilidir. Ülkemizde geleneksel olarak genellikle üzüm ve duttan pestil yapılırken son zamanlarda farklı yöntemlerle başka meyvelerden de pestil çalışmaları yapılmaktadır. Örneğin 2012'de; elma, mango ve guava pestillerinin üretimi, fiziksel, duyuşal ve tüketici tercihlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. 3 aylık depolama süresi sonunda pestil örneklerinin özelliklerinin genel olarak değişmediği ve duyuşal analizlerde genel kabul edilebilirlik değerlerinin mango pestili için daha yüksek olduğu ve bunu sırasıyla guava ve elmanın takip ettiği bildirilmiştir [77]. 2016 yılında yapılan bir çalışmada; papaya meyvesinin besin değerini ve duyuşal kalitesini korumak veya geliştirmek için üç ek bileşen (bal, pektin ve sitrik asit) kullanılarak iki farklı papaya çeşidinden pestil üretilmiştir. Çalışmada iki farklı çeşit papaya meyvesinin işlenerek pestil haline getirilmesiyle papaya pestilinin nem içeriklerinin son üründe %14,31 ve %15,42 olarak bulunduğu aynı zamanda kurutma ile birlikte fenolik içerik ve antioksidan aktivitenin arttığı bildirilmiştir [78]. Kurutma özellikleri pestiller için son ürün kalitesinde önemli bir parametredir, çilek pestilinin kuruma kinetiği üzerine yapılan bir çalışmada, hava sıcaklığı ve numune kalınlığının etkileri incelenmiş, kuruma süreçleri üç farklı ince tabaka kuruma modeliyle matematiksel olarak modellenmiştir. Çalışmada iki terimli üstel model, kuruma kinetiğini en iyi açıklayan model olarak bulunmuştur [79]. Diğer bir çalışmada, toplam fenolik içerik, askorbik asit, toplam flavonoid ve antioksidan aktivite açısından proses parametrelerinin optimize edilmesi için Yanıt yüzey metodolojisi (YYM) ve DMKDT'nin kullanıldığı ananas meyve pestili ürünü üretimi gerçekleştirilmiştir [80]. Çalışmada, ekstrüzyon yöntemiyle kurutma işlemi gerçekleştirilirken optimum işlem parametreleri vida hızı 70,30 rpm (dakikadaki devir sayısı), sıcaklık 68,10 °C ve briks 18,0° olarak elde edilmiştir. Optimum koşullarda üretilen

örneklerde; toplam fenolik içerik, askorbik asit içeriği, flavonoid içeriği ve antioksidan aktivite değerleri sırasıyla 46,91 mg GAE/100 g, 51,97 mg/100 g, 48,75 µg kuersetin/g ve %95,95 bulunmuştur [80]. Yapılan başka bir çalışmada; nar meyve pestilinin vakumla, buz dolabı şartlarında ve açık havada kurutulmasının çeşitli özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir [81]. Kurutma koşulları, ürün kalınlığı ve çalışma sıcaklığının; ürünün kuruma hızı ve nihai kalitesi üzerinde çeşitli etkileri olmuştur. Kurutma kinetiği ve ürünün nihai kalitesi açısından, vakumlu kurutma, daha hızlı kuruma koşulu ve oksijenin yetersiz olduğu ortama bağlı olarak fenolik, antosiyanin ve askorbik asitin daha yüksek korunmasıyla avantajlı olan kurutma tekniği olarak bildirilmiştir. Ürünün antosiyanin içeriği; kurutma yöntemi, kurutma sıcaklığı ve ürün kalınlığından önemli ölçüde etkilenmiştir [81]. Yapılan başka bir çalışmada; şeftali (*Prunus persica* L. Batsch) meyvesinden mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE) ile biyoaktif bileşikleri maksimum verimle elde etmek için Box-Behnken tasarımı kullanılarak optimize edilmiş ve meyve pestilinde kullanılmıştır [82]. 2022’de yapılan bir çalışmada; probiyotik içeren muz pestillerinin geliştirilmesi üzerine çalışma yapılmıştır [21]. İki probiyotik bakteri (spor oluşturan *Bacillus coagulans* ve geleneksel spor oluşturmeyen *Lactobacillus acidophilus*) ve iki polimerik matris (manyok nişastası ve bakteriyel selüloz (BC)) kullanılmıştır [21]. Probiyotik bakterilerin (özellikle *L. acidophilus*) varlığı pestillerin çekme mukavemetini, elastik modülünü ve kesme kuvvetini azaltırken, BC bazlı pestiller nişasta bazlı olanlara göre daha güçlü, daha sert ve kayma stresine karşı daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir ve ürünün tüketici tarafından kabul edilebilir olduğu gözlemlenmiştir [21]. 2021’de Kuria vd. tarafından yapılan bir çalışmada; LAB tarafından fermente edilen fonksiyonel mango (*Mangifera indica* L.) pestilinin fizikokimyasal, antioksidan ve duyuşal özellikleri incelenmiştir [83]. Mango çeşidinin ve LAB suşunun, pestilin fizikokimyasal, antioksidan ve duyuşal özelliklerini etkilediği bildirilmiştir. Genel olarak toplam fenolik içeriğin, fermentasyonun ilk 48 saatinde arttığını belirtirken; 72. Saatin sonunda başlangıç değerinin altına düştüğünü bildirmişlerdir [83]. *L. casei* suşu kullanılarak fermente edilen mango pestilleri, ortalama titre edilebilir asitlik, kül ve lif içerikleri (%) açısından *L. plantarum* tarafından fermente edilenlere göre önemli ölçüde ($p < 0,05$) daha yüksek bulunmuşken; *L. plantarum* tarafından fermente edilen mango pestillerinin, *L. casei* tarafından fermente

edilenlere göre önemli ölçüde ($p < 0,05$) daha yüksek pH, toplam kuru madde (%) ve toplam fenolik içeriğe sahip oldukları belirtilmiştir [83].

Yukarıda sıralanan çalışmalardan anlaşılabildiği gibi, probiyotik taşıyıcısı pestil üretimine yönelik bugüne kadar yapılan çalışmaların sınırlı olduğu ve enkapsüle probiyotik toz içeren pestillerle ilgili olarak herhangi bir çalışmanın yapılmadığı görülmektedir. Ayrıca, yapılan sınırlı sayıdaki çalışmada, pestil matrisi olarak kayısının kullanımına rastlanmamıştır. Hem probiyotiklerin YYM ile optimize edilen püskürtmeli kurutma koşullarında enkapsüle edilmesi hem de probiyotik taşıyıcısı olarak kayısı pestilinin kullanılmasıyla çalışmamız literatüre katkı sağlamıştır. Ayrıca önceki çalışmalardan farklı olarak kullanılan LAB'ler pestil üretiminde bakterilerin canlılığının korunmasına uygun olacak şekilde; sıcaklık dayanımı, sükroz ve fruktoz dayanımı testleri uygulanarak seçilmiştir.

Farklı meyve pestillerine probiyotik ilavesiyle ilgili kısıtlı olsa da çalışmalar bulunurken [21], [83]; pestil şartlarına göre optimizasyonu ve enkapsüle şekilde uygulanması hakkında literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bunlardan Niro vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, *Bacillus coagulans* ve *Lactobacillus acidophilus* ilaveli muz pestili üretilmiştir [21]. Kuria vd. (2021) tarafından yapılmış çalışmada, *L. casei* and *L. plantarum* ilave edilerek mango püresi fermente edilmiş ve fonksiyonel mango pestili üretimi gerçekleştirilmiştir [83]. Söz konusu çalışmalarda, probiyotik bakterilerin enkapsülasyon optimizasyonu yapılmamış ve bakteriler meyve pestillerine sadece serbest formda ilave edilmiştir. Enkapsülasyonla probiyotiklerin pestil içerisinde kurutma şartlarına daha iyi dayanımı ve depolama boyunca canlılığını daha uzun süre koruyabileceği ön görülerek çalışmamızın diğer çalışmalardan farklılaştırılması sağlanmıştır.

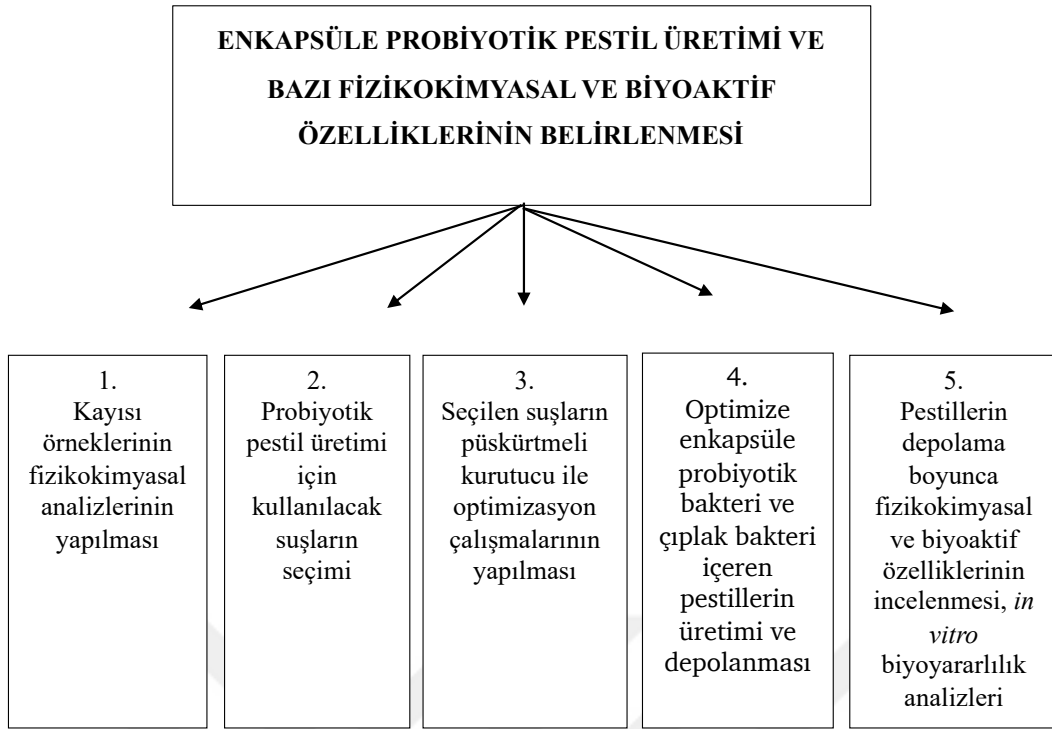
Probiyotiklerle zenginleştirilmiş meyve veya sebze bazlı atıştırmalıkların tasarımı laboratuvar ölçeğinde değerli bir strateji gibi görünmektedir, ancak sonuçların hem pilot hem de endüstriyel ölçekte doğrulanması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır [84]. Farklı ölçeklerde probiyotik pestil ürünlerinin üretimine yönelik bir çalışmaya da rastlanmamıştır.

3.1 Materyaller

Pestil üretimi için; Malatya ilinde hasat edilen aynı olgunluktaki taze Türk Hacıhaliloğlu kayısıları (*Prunus armeniaca*) Öztürkler Gıda'dan satın alınmıştır. Buğday nişastası ticari olarak, baharat piyasasından temin edilmiştir. Bu çalışmada, kullanılan LAB' ler, 120O203 numaralı TÜBİTAK projesi (geleneksel şalgam ve gilaburu içeceklerinden izole edilmiş) çalışmaları sonucu probiyotik özellikleri Akman vd. (2021) tarafından tanımlanmış izolatlar arasından seçilmiş olup bunlar Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü stok kültürleri içerisinde yer almaktadır. Kültürleri geliştirmek için MRS (de Man Rogosa and Sharpe) agar besiyeri (Merck, Almanya) ve MRS broth (Merck, Almanya) besiyeri kullanılmıştır. Peptonlu su (Merck, 107224, Almanya). Püskürtmeli kurutucuda kaplama materyali olarak maltodekstrin (ISOLAB/ Türkiye) kullanılmıştır. Örneklerin hazırlanması için; Pedallı Blender / Stomacher Cihazı / Homojenizatör cihazı (ISOLAB/ Türkiye) kullanılmıştır. Pestil kurutma öncesi kayısı bazlı herlenin serilmesinde Koroplast marka yağlı kâğıt ve pestillerin depolanması için Koroplast marka ağzı kilitli poşetler kullanılmıştır. Pestil kurutma için etüv (Memmert UF110, Almanya) cihazı kullanılmıştır. Örneklerin pH tayini ve *in vitro* biyoyararlılık analizlerinde pH ayarlanması için Meterlab PHM210 pH-metre (Radiometer, Fransa) kullanılmıştır. Örneklerin renk analizi için; Minolta CR-400 Kromametre (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japonya) cihazı kullanılmıştır. *In vitro* biyoyararlılık analizleri için; pepsin (domuz mide mukozasından elde edilmiş, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, ABD), lipaz (*Rhizopus oryzae* kökenli Amano lipaz F-AP15, Aldrich Chemical Company, Milwaukee, WI, ABD), safra (sığır safrası, Sigma-Aldrich, ABD) ve pankreatin (domuz pankreasından elde edilmiş, Sigma-Aldrich, ABD) ve çalkalamalı su banyosu (Metabolik Su Banyosu Dubnoff MA-095, Marconi, Piracicaba, Brezilya) cihazı kullanılmıştır. Şeker analizi için HPLC (Agilent 1200 Serisi, ABD) cihazı kullanılmıştır.

3.2 Yöntemler

Bu çalışmada öncelikle kullanılacak kayısı örneklerinin fizikokimyasal analizleri yapılmıştır ve HPLC ile şeker içerikleri belirlenmiştir. Enkapsüle probiyotik bakteri içeren fonksiyonel sağlıklı atıştırılabilirlik olarak üretilmesi planlanan kayısı pestilleri için şalgam ve gilaburudan elde edilen ve probiyotik özellikleri bilinen 10 farklı LAB seçilmiştir [85]. Pestil ortamı esas alınarak, bu bakterilerden en uygun olanlarını seçmek için yüksek sükrözlü, yüksek fruktozlu ortama dayanım testi ve yüksek sıcaklık dayanım testleri uygulanmıştır. Yanıt yüzey yöntemiyle belirlenen deneme noktaları kullanılarak, seçilen bakterilerin püskürtmeli kurutucuda enkapsülasyonu sırasında optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Enkapsülasyon optimizasyonunda yanıt olarak % canlılık ve % verim seçilmiştir. Enkapsüle bakteriler altın kaplama yapılarak, alan emisyonlu- çevresel taramalı elektron mikroskopu- enerji dağılım spektrometresi (FE-ESEM-EDS) cihazında incelenmiştir. Kayısı püresinden elde edilen pestillere optimum şartlarda üretilmiş enkapsüle probiyotik bakteri içeren tozlar ilave edilmiştir. Enkapsüle edilmemiş serbest haldeki bakterilerin ilave edildiği örnekler de pozitif kontrol olarak üretilmiştir. Üretilen pestillerin 4 ay boyunca oda sıcaklığında depolama boyunca toplam probiyotik bakteri, toplam mezofilik aerobik bakteri, toplam maya ve küf sayımları yapılmıştır. Depolama sürecinde mikrobiyolojik özelliklerin yanı sıra pestillerin fizikokimyasal (nem, kül, aw, pH, tekstür), biyoaktif (Toplam Fenolik (TF) madde ve 1.1-difenil-2-pikril hidrazil (DPPH) radikal yakalama aktivitesi) ve duyu özelliklerine de bakılmıştır. Ürünlerde yer alan probiyotiklerin *in vitro* sindirim koşullarında canlılıkları, yapay sindirim sistemi modellerinde incelenmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar özet şeklinde Şekil 3.1’de şematize edilmiştir.



Şekil 3.1 Gerçekleştirilen çalışmaların özet gösterimi

3.2.1 Kullanılan Suşların Saklanması, Aktivasyonu ve Suşlara Uygulanan Testler

Bu çalışmada, geleneksel şalgam ve gilaburu içeceklerinden izole edilmiş ve probiyotik özellikleri Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarlarında tespit edilmiş ve Akman' ın tezinde ve çalışmasında yayınlanmış [85] LAB suşları (Tablo 3.1) kullanılmıştır. Bu suşların seçilmesinde en önemli faktörlerden biri Akman vd. (2021) tarafından bazı probiyotik özelliklerinin belirlenmiş olmasıdır[85]. Bu özellikler; Caco-2 hücrelerine tutunma yetenekleri, asit dayanım toleransları, safra tuzu toleransları, TDC (Taurodeoksikolat) hidroliz aktiviteleri, antimikrobiyal aktiviteleri, antibiyotik dirençleri, pepsin ve pankreatin toleransları gibi özelliklerdir. Suşların seçilmesindeki diğer bir faktör de şalgam ve gilaburu gibi laktofermente ürünlerden izole edilmiş olmalarıdır. Akman vd. (2021) tarafından izole edilen ve bu çalışmada kullanılan suşların tümü Tablo 3.1' de verilmiştir [85]. Bakterilerin kültürasyonu için MRS besiyeri, MRS agar ve PBS kullanılmıştır. LAB, -80 °C'de 400 µL gliserol içeren MRS sıvı besiyerinde muhafaza edilmiştir. Örneğin 600 µL'si, 400 µL gliserol içeren 1,5 mL'lik vidalı kapaklı tüpe aktarılmış ve ileri analizler için -80 °C'de saklanmıştır ve 2 ayda bir alt kültürleri yapılmıştır. Her bakteri kültürü, 24 saatte 37 °C'de MRS besiyerinde iki kez alt kültürlenerek

aktive edilmiştir. Tablo 3.1’ de verilen probiyotik bakteri suşlarına yüksek fruktoz veya sükroz ortamında canlı kalma yeteneklerini belirlemek ve sıcaklık dayanımlarına göre en dayanıklı olan suşları seçmek için çeşitli analizler yapılmıştır. Bu analizlerin uygulanmasında; pestile ilave edilecek bakterilerin pestil ortamı ve üretim şartlarına uygunluğu açısından en dayanıklı olanların seçilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 3.1 Şalgam ve gilaburudan izole edilmiş probiyotik özellikleri bilinen ve sükroz dayanım, fruktoz dayanım ve sıcaklık tolerans testlerinde kullanılan laktik asit bakterileri

İzolat	Bakteri Adı	Çalışmada Kullanılan Kod
G4C	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> G4C	LP1
G4D	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> G4D	LP2
SH5	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH5	LP3
SH11	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11	LP4
SH23	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH23	LP5
SH35	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH35	LP6
G4B	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i> G4B	LPE1
SH14	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i> SH14	LPE2
1G1	<i>Limosilactobacillus fermentum</i> 1G1	LF1
SH10	<i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10	LF2

3.2.1.1 Yüksek Sükrozlu Ortamda Canlılık Testi

Bu analiz, belirtilen LAB’lerin (Tablo 3.1) sükroz ilave edilerek üretildiği için yüksek sükroz içeren pestilde canlı kalabilme özelliklerini belirlemek için uygulanmıştır. Troller vd.’ nin çalışmasında kullandığı besiyeri aw ayarlama yöntemi uyarlanarak, MRS broth (modifiye şeker içermeyen) besiyerine kayısı püresinde belirlenen miktarlarla orantılı olacak şekilde (%2,18±0,11) sükroz karıştırılmıştır [86]. Karışım steril edildikten sonra 18 saat süreyle aktifleştirilmiş taze LAB kültürü, sükroz içeren besiyerine %1 oranında inoküle edilmiştir. 37 °C’de 20 saatlik inkübasyon öncesinde ve sonunda kültürlerden MRS agara yayma

plak yöntemiyle ekim yapılarak 35 °C'de 48 saat inkübasyon sonunda koloni sayımı ile bakterilerin sükroz içeren ortamlardaki canlılık düzeyleri belirlenmiştir [86].

3.2.1.2 Yüksek Fruktozlu Ortamda Canlılık Testi

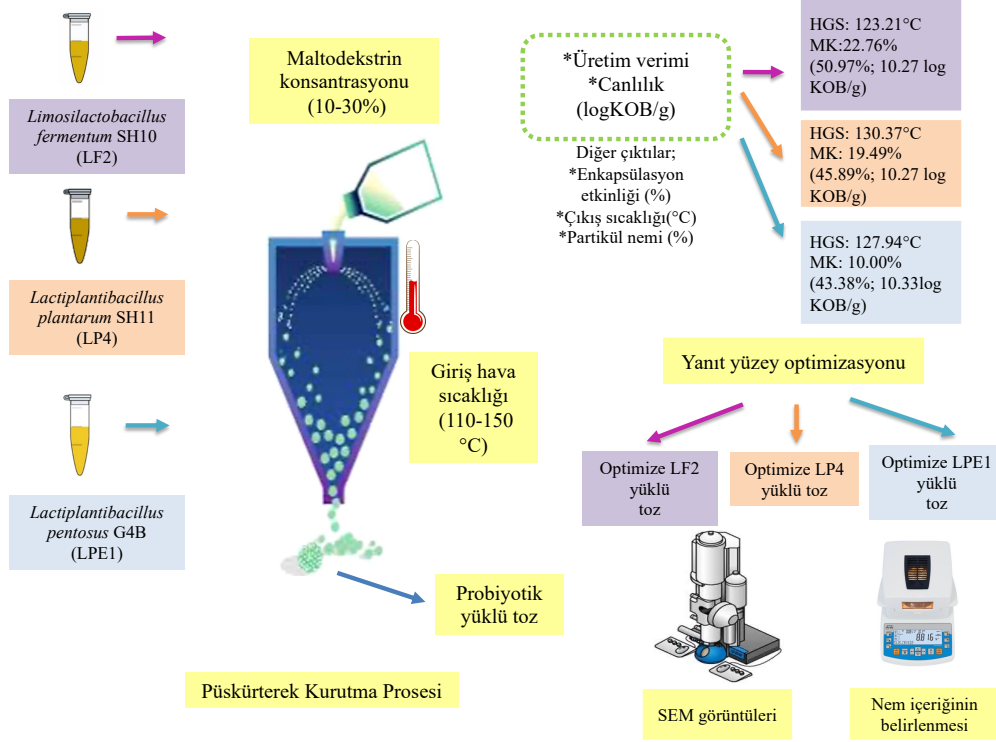
Yüksek sükrozlu ortamda canlılık testinde uygulanan yöntem fruktoza uyarlanarak gerçekleştirilmiştir [86]. MRS broth besiyeri, kayısı püresinde belirlenen miktarda (%0,80±0,08) fruktoz katılarak modifiye MRS broth besiyeri olarak hazırlanmıştır. Devamında başlık 3.2.1.1' de bahsedildiği gibi analiz gerçekleştirilerek bakterilerin fruktoz içeren ortamlardaki en yüksek canlılık düzeyleri belirlenmiştir.

3.2.1.3 Yüksek Sıcaklık Tolerans Testi

Bu amaçla Gündüz (2010) tarafından kullanılan yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. İlk olarak, 10 farklı LAB suşu, 18 saat süreyle aktifleştirilerek taze kültüründen %1 oranında MRS sıvı besiyerlerine inoküle edilmiştir [87]. 50°C'de 20 saatlik inkübasyon öncesinde ve sonunda kültürlerden MRS agara yayma plak yöntemiyle ekim yapılarak koloni sayımı ile en yüksek canlılığı gösteren suşlar belirlenmiştir. Böylece püskürterek kurtma ile enkapsülasyon ve pestil kurutma sürecine en dayanıklı olabilecek bakteri suşları belirlenmiştir [8], [88].

3.2.2 Püskürtmeli Kurutucu ile Laktik Asit Bakterilerinin Enkapsülasyonu

10 farklı suşun içerisinde fruktoz, sükroz ve sıcaklık dayanımına göre en uygun üç farklı türü temsilen birer LAB suşu optimizasyon çalışmaları için seçilmiştir. LAB'lerin enkapsülasyonu için püskürterek kurutma işlemi uygulanmıştır. Kurutma koşullarının optimizasyonu için YYM'den faydalanılmış ve belirlenen noktalarda kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Optimum şartlarda üretilen enkapsüle probiyotik tozlarda uygulanan analizler Şekil 3.2'de özetlenmiştir.



Şekil 3.2 Optimum şartlarda enkapsüle probiyotik toz (LF2, LP4, LPE1 içeren) üretimi ve uygulanan analizler

3.2.2.1 YYM ile Deneme Noktalarının Belirlenmesi

Püskürtmeli kurutma işlemi laboratuvar ölçekli bir püskürtmeli kurutucuda (Buchi B-290, İsviçre) gerçekleştirilmiştir. Proses parametreleri literatürdeki önceki çalışmalara [89], [90] ve ön laboratuvar denemelerimize dayanarak seçilmiştir. Regresyon analizi ve model optimizasyonu, Design Expert yazılımı (versiyon 7.0.0., Stat-Ease, Minneapolis, MN) kullanılarak yapılmıştır. Enkapsülasyon için öncelikle kullanılacak olan optimum kaplayıcı konsantrasyonu ve püskürtmeli kurutucu koşullarının belirlenmesinde YYM kullanılmıştır. Püskürtmeli kurutma ile maltodekstrin kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyon çalışması için DMKDT’de kullanılan değişkenlerin kodlanmış ve kodlanmamış değerleri ve düzeyleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Bağımsız değişkenler Tablo 3.2’de verilen en düşük (-1), orta (0) ve en yüksek (+1) olmak üzere üç düzeyde kodlanmıştır. DMKDT’ nin döner yapısı, modelin tüm yönlerde eşit doğrulukta tahminler yapmasını sağlamaktadır. Model olarak Kuadratik (Karesel) Model seçilmiştir. Karesel model, birçok farklı faktör ve seviyede uygulanabilmektedir. Maltodekstrin konsantrasyonu (X1, MK, %10–30) ve hava giriş sıcaklığı (X2, HGS, 110–150 °C)

dahil olmak üzere püskürterek kurtma işlemi parametreleri, seçilen her suş için optimize edilmiştir (Tablo 3.2). Kullanılan bu bağımsız değişkenlerin, % canlılık ve % verim üzerine etkileri araştırılmıştır.

Tablo 3.2 Püskürtmeli kurutma ile maltodekstrin kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyon çalışması için deney tasarımında kullanılan değişkenlerin kodlanmış ve kodlanmamış değerleri ve düzeyleri

Faktör (bağımsız değişkenler)	Birimler	Semboller	Kodlanmış Seviyeler		
			Düşük (-1)	Orta (0)	Yüksek (+1)
Maltodekstrin konsantrasyonu	%	X1	10	20	30
Hava Giriş Sıcaklığı	°C	X2	110	130	150

*X1, Maltodekstrin konsantrasyonu; X2; Hava giriş sıcaklığı

DMKDT kullanılarak optimizasyon deneme planı oluşturulmuş ve bu plan dahilinde bağımsız değişkenlerin yanıtlar üzerine etkileri varyans analizi (ANOVA) tablosundan yararlanarak belirlenmiştir. Merkez noktada 3 tekrarlı 11 farklı deneme noktasında (Tablo3.3), üretim verimi (%) ve canlılık (log KOB/g) üzerindeki etkiler değerlendirilmiştir. Bağımsız değişkenlerin etkilerini değerlendirmek amacıyla ikinci dereceden polinom denklemi kullanılmıştır. Denklemden bağımsız olarak deneme noktalarında farklı çıktılar da incelenmiştir; püskürtmeli kurutucu dijital ekranından çıkış sıcaklığı değerleri not edilmiştir. Ayrıca seçilen yöntemle üretilen kapsüllerde nem içeriğine bakılmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Püskürtmeli kurutma ile maltodekstrin kullanılarak gerçekleştirilen enkapsülasyon çalışması için DMKDT deneme planı

Deneme Noktaları	X1	X2	Canlılık (log KOB/g)	Verim (%)	Nem (%)	Çıkış sıcaklığı (°C)
1	20	130				
2	20	150				
3	10	150				
4	20	110				
5	30	150				
6	20	130				
7	20	130				
8	10	130				
9	10	110				
10	30	130				
11	30	110				

*X1, Kaplayıcı konsantrasyonu (%); X2, Hava giriş sıcaklığı (°C)

3.2.2.2 Besleme Çözeltisinin Hazırlanması

Maltodekstrin çözeltisinin hazırlanması için maltodekstrin oda sıcaklığında steril distile su içerisinde modelde belirlenen oranlarda (%10–30) tamamen çözülmüştür. Çözelti hazırlama aşamasında otoklavda 121°C'de 15 dakika sterilize edilmiş cam beher, distile su, spatula ve dereceli ölçüm silindiri kullanılmıştır. Tüm çalışma biyogüvenlik kabininde bek alevi varlığında gerçekleştirilmiştir ve hazırlanan çözelti su banyosunda (Memmert WTB50, İsviçre) 90 °C'de 10 dakika süreyle pastörize edilmiştir. Probiyotik bakteri preparasyonu ile ilgili olarak, seçilen üç probiyotik suşun (*Lactiplantibacillus plantarum* SH11 (LP4), *Lactiplantibacillus pentosus* G4B (LPE1) ve *Limosilactobacillus fermentum* SH10 (LF2)) 18 saat aktivasyona tabi tutulan taze kültür ilk olarak %1 oranında 50 mL'lik MRS sıvı besiyerine aşılanmıştır ve 18 saat inkübe edilmiştir. Sonrasında 300 mL'lik şişelere bu bakteri kültürünün %1'i aktararak inkübasyon tekrarlanmıştır. Inkübasyondan sonra, her numune 50 mL'lik steril santrifüj tüplerine aktarılmış ve ardından 4 °C'de, 8000 rpm'de 10 dakika boyunca santrifüjlenmiştir (Centrifuge Multifuge X3 FR, Thermo Scientific, İsveç). Santrifüj sonunda supernatant dökülüp iki kez 30 mL PBS ilave edilmiş ve aynı şartlarda santrifüj edilmiştir. Santrifüjden sonra dibe çöken bakteri hücreleri, PBS'nin santrifüj tüplerinden dökülmesi sonrasında pellet şeklinde elde edilmiş ve bir santrifüj tüpünde toplanmıştır. Toplanan bakteriler püskürtmeli kurutucuda enkapsülasyon için belirlenen miktarlarda hazırlanmış

maltodekstrin çözeltisine (%10–30) ilave edilip püskürtmeli kurutucu cihazına verilmiştir.

3.2.2.3 Verim Hesaplanması

Üretim verimi (%) aşağıdaki denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır [91].

$$\text{Üretim verimi (\%)} = \frac{W_a}{W_b} * 100 \quad (3.1)$$

Burada W_a , kapsülleme işlemiyle elde edilen katı parçacıkların miktarıdır (g) ve W_b , hazırlanan karışımdaki (g) toplam kuru madde miktarıdır.

3.2.2.4 Canlılık Hesaplanması ve Enkapsülasyon Etkinliği

Püskürterek kurutma aşamasından önceki hücre sayısı, MRS Agar besiyerinde yayma plak yöntemiyle belirlenmiştir ve bulgular, log koloni oluşturan birim (log KOB/g) olarak ifade edilmiştir. Püskürterek kurtmadan sonra canlı hücre sayılarını belirlemek için; kapsüllenmiş bakteri numuneleri referans makalede önerilen yöntemle göre hazırlanmıştır [92]. Bu amaçla 1 g toz, 9 mL FTS solüsyonu (fizyolojik tuzlu su) ile yeniden süspanse edilmiş, 10 dakika peristaltik karıştırıcı (Stomacher, ISOLAB, Türkiye) ile homojen hale getirilmiş ve steril %0,1 peptonlu su ile seri olarak dilüsyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan dilüsyonlar, MRS agar üzerine yayma plak tekniği kullanılarak ekilmiş ve 37 °C'de 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonrasında kapsülleme verimliliği % olarak aşağıdaki denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Enkapsülasyon etkinliği(\%)} = \left(\frac{N_a}{N_b} \right) * 100 \quad (3.2)$$

*Burada N_a (log KOB/g) ve N_b (log KOB/g), sırasıyla kapsüllemeden sonraki ve önceki hücre sayısıdır.

3.2.2.5 Enkapsüle Probiyotik Tozun Çıkış Sıcaklığının Hesaplanması

Tozların çıkış sıcaklıkları püskürtmeli kurutucu cihazının gösterge panelinden okunarak kaydedilmiştir.

3.2.3 Enkapsüle Probiyotik Tozlara Uygulanan Diğer Analizler

Enkapsüle probiyotik tozların nem içeriğine bakılmıştır. Enkapsüle probiyotik tozlar taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir.

3.2.3.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması

Tozların nem içeriği, otomatik nem tayin cihazı (RADWAG, model MA 50.R, Radom, Polonya) kullanılarak hesaplanmıştır [93].

3.2.3.2 Enkapsüle Probiyotik Tozların SEM (Taramalı Elektron

Mikroskobu) Analizi

Optimum koşullarda püskürtmeli kurutma yöntemiyle üretilen LF2, LP4 ve LPE1 yüklü toz numuneleri viyallere yerleştirilerek nitrojenle kurutulmuş ve argon gazı altında (20mA akım, 10–3 basınç uygulanarak) altın alaşımla kaplanmıştır. Ardından morfolojik özellikleri incelenmiştir. Morfolojik özelliklerin ve parçacık boyutunun belirlenmesi, alan emisyonu-çevresel taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılımı spektrometresi (FE-ESEM-EDS) (FEI, Quanta FEG 450) kullanılarak gerçekleştirilmiştir [94].

3.2.4 Kayısı püresi üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi

Kayısılar çekirdekleri çıkarılarak ev tipi karıştırıcı (SHB-3100S model, Sinbo, Türkiye) kullanılarak homojen hale getirilmiştir. Ayrıca kayısı ve kayısı püresinin pH'sı, Meterlab PHM210 pH-metre (Radiometer, Fransa) ile belirlenmiştir [95]. Kayısı ve kayısı püresinin kuru madde ve kül içeriği, AOAC (2000)'e göre belirlenmiştir [93]. Ek olarak, kayısı ve kayısı püresinin suda çözünür kuru maddesi el refraktometresi kullanılarak ölçülmüştür [95]. Kayısı ve kayısı püresinin örneklerinin (10 mL) 0,1 N NaOH ile titre edilmesiyle titre edilebilir asitlik değerleri belirlenmiş ve bulgular kayısıda hâkim organik asit olan malik asit yüzdesi cinsinden ifade edilmiştir cinsinden toplam asitlik miktarı (%) aşağıdaki denklem (3.3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A(\%) = \frac{V.N.F.E}{\ddot{O}} \times 100 \quad (3.3)$$

A: % Asitlik miktarı

V: Kullanılan sodyum hidroksitin miktarı, mL

N: Kullanılan sodyum hidroksitin normalitesi

F: Kullanılan sodyum hidroksitin faktörü

Ö: Alınan örnek miktarı, mL

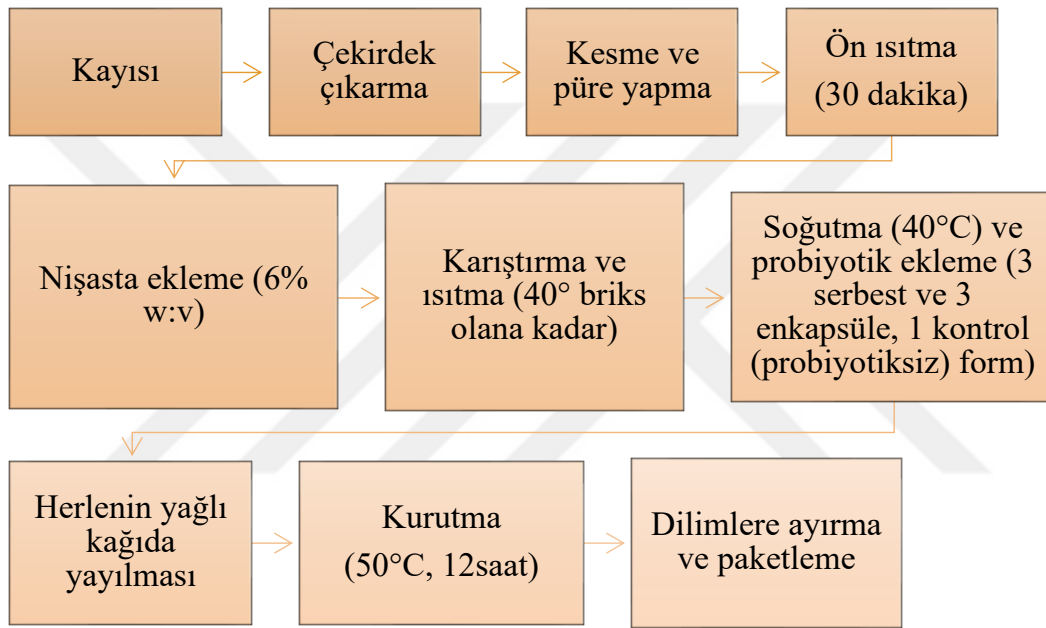
E: İlgili asidin equivalent değeri; malik asit için: 0.067

Kayısı ve kayısı püresinin renk özellikleri (L^* (renk parlaklığı; açıklık (beyaz, $L^*=100$), koyuluk (siyah, $L^*=0$)), a^* (kırmızı ($+a^*$)-yeşil ($-a^*$)) ve b^* (sarı ($+b^*$)-mavi ($-b^*$)), Minolta CR-400 Kromametre (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japonya) kullanılarak Karabulut vd.'nin kullandığı yöntemle göre belirlenmiştir [96]. İndirgen şekerler, Alnuwaiser (2017) tarafından kullanılan yöntem modifiye edilerek solvent izokratik pompa, otomatik numune alıcı ve gaz giderme ünitesinden oluşan bir HPLC (Agilent 1200 Serisi, ABD) cihazıyla tayin edilmiştir [97]. Homojenize edilen numuneler 12.000 rpm'de 2 dakika santrifüj edilmiş ve

ardından 0,45 µm membran filtreden süzölmüştür. Kromatografik ayırma, mobil faz olarak %80 asetonitril %20 ultra saf su karışımı ile izokratik elüsyon kullanılarak 0,5 mL/dakika akış hızıyla 25 °C'de bir Aminex-HPX-87C, 300 mm x 7,8 mm kolon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şeker standardı olarak fruktoz, glukoz ve sükroz kullanılmıştır.

3.2.5 Kayısı Pestillerinin Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Kayısı pestilleri Niro vd.' nin çalışmalarında tarif ettiğı yöntem modifiye edilerek üretilmiştir ve bu amaçla öncelikle taze kayısı meyveleri püre haline getirilmiştir [81]. Pestil üretiminin genel adımları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Pestil örneklerinin üretim akış diyagramı

İlk olarak, hazırlanan kayısı püresi (800 mL) bir cam beher içerisine konulmuş, alüminyum folyo ile kaplanmış ve ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda (IKA C-MAG HS 7, Almanya) sürekli karıştırılarak 30 dakika boyunca anlık kaynama sıcaklığında (~90 °C) tutulmuştur. Hazırlanan püreler hermetikli olarak kapatılarak saklanmıştır. Püreye %6 oranında nişasta (ağırlık/ hacim) ilavesinin ardından karışım, çözünür kuru madde içeriğı 40° Briks olana kadar 85°C'de tutulmuştur. İşlem ısıtıcılı karıştırıcıda sabit sıcaklıkta sürekli briks değeri ölçölerek yapılmıştır. Karışım, 40 °C'ye soğutulduktan sonra serbest veya enkapsüllenmiş probiyotik bakteriler karışımlara hedeflenen seviyede eklenmiştir. Hedeflenen seviyeyi bulmak için; ön denemelerle belirli serbest ve enkapsüle bakteri miktarlarının pestil herlesine ilavesi yapılarak pestilde 10¹⁰⁻¹¹ kob/g seviyesini yakaladığı miktarlar

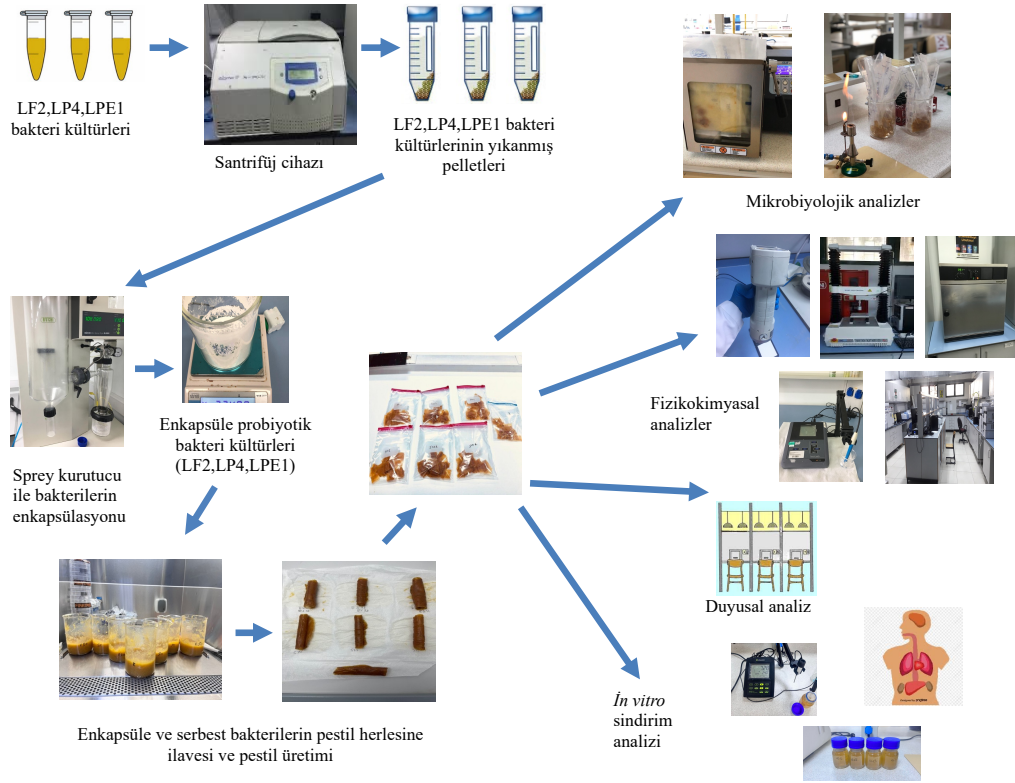
belirlenmiştir. Bu miktarlar serbest bakteri için %1 (pellet yıkama çöz içerisinde) ve enkapsüle probiyotik toz için %5 olarak belirlenmiştir. Kontrol örneğine probiyotik ilave edilmemiştir. Tüm bu işlemler çevreden kontaminasyonu önlemek için biyogüvenlik kabini içinde gerçekleştirilmiştir. Son olarak karışım yağlı kâğıt üzerine 0,8 mm kalınlığında yayılmış ve 50 °C'de 12 saat kurutulmuştur. Kurutulan numuneler, kare (20 mm çap x 20 mm yükseklik) dilimler halinde kesilerek polietilen kilitli poşetlere (19 x 25 cm) ~100 gram örnek konularak oda sıcaklığında (22±2 °C) 120 gün süreyle depolanmıştır. Şekil 3.4'te pestillerin depolama şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Pestil örneklerinin B) depolanma şekli

Örneklerin adlandırılmasında serbest bakteri (SB) ve enkapsüle bakteri (EB) ifadeleri kullanılmıştır. Kontrol örneği; K, enkapsüle LF2 bakterisi içeren pestil örneği; LF2-EB, serbest LF2 bakterisi içeren pestil örneği; LF2-SB, enkapsüle LP4 bakterisi içeren pestil örneği; LP4-EB, serbest LP4 bakterisi içeren pestil örneği; LP4-SB, enkapsüle LPE1 bakterisi içeren pestil örneği; LPE1-EB, serbest LPE1 bakterisi içeren pestil örneği; LPE1-SB yazılarak kodlanmıştır. 0.gün, 30.gün,

60.gün, 90.gün ve 120.günlerde analizler gerçekleştirilmiştir. Pestil üretimi ve uygulanan analizlerin akış şeması Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Pestil örneklerinin üretimi ve uygulanan analizler görsel özet gösterimi

3.2.6 Pestillerin Fizikokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.6.1 Pestillerin Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Pestillerin nem içeriğinin belirlenmesi için standart nem tayin metodu kullanılmıştır [93]. Pestil örneklerinin kuru madde tayini için, önceden darası alınan kaplara yaklaşık 1,5 g örnek tartılarak 105 °C'de 3 saat boyunca etüvde (Mettler UF110, Münih, Almanya) bekletilmiştir. Ardından örnekler desikatörde sabit tartıma getirilip, son tartımları alınarak yüzde olarak kuru madde miktarları hesaplanmıştır.

3.2.6.2 Pestillerin Su Aktivitesinin Belirlenmesi

Su aktivitesi (aw) ölçümleri, Novasina Thermoconstanter modeli Labswift-aw (Novasina, İsviçre) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [22].

3.2.6.3 Pestillerin pH Değerlerinin Belirlenmesi

Pestil örneklerinin pH değerleri, Meterlab PHM210 pH-metre (Radiometer, Fransa) kullanılarak ölçülmüştür [95]. PH ölçümü için hazırlanan pestil örneklerinin 50mL'lik süspansiyonları; 5 gram pestil 45 mL saf su ile süspanse edilerek hazırlanır. Peristaltik karıştırıcı (Stomacher, ISOLAB, Türkiye) kullanılarak

homojenleştirildikten sonra pH metre probu homojen karışımın içine daldırılarak ölçüm yapılmıştır. Ölçümler üç tekrarlı yapılmıştır ve ölçüm aralarında prob saf su temizlenmiştir.

3.2.6.4 Pestillerin Şeker İçeriğinin Belirlenmesi

Pestillerdeki indirgen şekerlerin tespiti, bölüm 3.2.4'te bahsedildiği gibi Alnuwaiser (2017) tarafından belirtilen yöntemde bazı modifikasyonlarla; solvent izokratik pompa, otomatik numune alıcı ve gaz giderme ünitesinden oluşan bir HPLC (Agilent 1200 Serisi, ABD) cihazı kullanılarak belirlenmiştir [97].

3.2.6.5 Pestillerin Renk (L^* , a^* , b^*) Özelliklerinin Belirlenmesi

Pestil örneklerinin renk ölçümü, beyaz bir referans plaka ile kalibre bir Minolta CR-400 Kromametre (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japonya) kullanılarak analiz edilmiştir [96]. Her numuneden en az üç ölçüm alınarak numunelerin L^* (renk parlaklığı; açıklık (beyaz, $L^*=100$), koyuluk (siyah, $L^*=0$)), a^* (kırmızı ($+a^*$)-yeşil ($-a^*$)) ve b^* (sarı ($+b^*$)-mavi ($-b^*$)) değerleri belirlenmiştir. ΔE^* (toplam renk farkı) değerleri (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) denklemleriyle hesaplanmıştır.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (3.4)$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_0^* \quad (3.5)$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_0^* \quad (3.6)$$

$$\Delta L^* = L_1^* - L_0^* \quad (3.7)$$

3.2.7 Pestillerinin Biyoaktif Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.7.1 Ekstraktların Hazırlanması

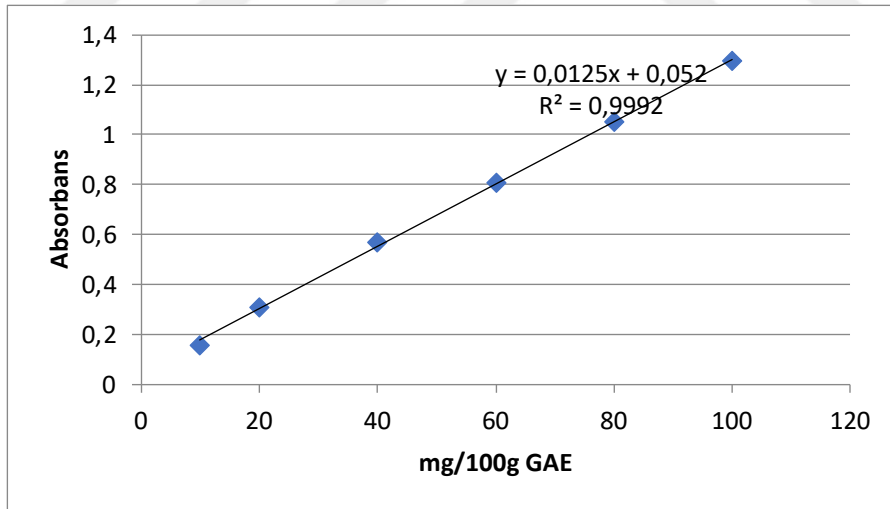
Ekstraktlar; Eyiz vd.'nin (2020) çalışmalarındaki örnek hazırlama metodu modifiye edilerek hazırlanmıştır [98]. Örneklerin ekstraksiyonu ve hidrolizi için metanol ve HCl kullanılmıştır. Numuneler (1 g), 10 mL solvent karışımı (metanol:su: HCl, 80:20:0.1 (v: v: v)) ile birleştirilmiş ve sonrasında 400 rpm 'de çalkalamalı su banyosunda 4 saat karıştırılmıştır. Kaba filtre kağıdından süzildükten sonra karışım, 1935xg' de, 25°C'de 10 dakika boyunca santrifüj (Hettich 320R, Almanya) edilmiştir. Elde edilen filtrelenmiş ekstrakt, pestillerin biyoaktif özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır.

3.2.7.2 Toplam Fenolik Madde Analizi

Ekstraktların (0,5 mL) toplam fenolik madde (TPC) miktarını belirlemek için Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılmıştır [7]. Bu amaçla, 2,5 mL 0,2 N Folin-Ciocalteu çözeltisi, 0,5 mL örnek ekstraktı ile karıştırılmış ve vortekslelendikten sonra üzerine 3 dakika sonra 2 mL Na₂CO₃ ilave edilmiştir. Daha sonra, elde edilen karışım karanlık ortamda oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edilmiştir. Numunelerin absorbans değerleri UV-görünür spektrofotometre (Shimadzu UV-1800, Japonya) kullanılarak 760 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Sonuçlar, 100 gram başına miligram gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Toplam Fenolik Madde Miktarı} \left(\text{mg} \frac{\text{GAE}}{100\text{g}} \right) = \left(\frac{\text{Absorbans} - 0,052}{0,0125} \right) \times \text{dilüsyon faktörü} \quad (3.4)$$

Gallik asidin kalibrasyon eğrisinin çizilmesi için %80 metanol:su (v/v) çözeltisi kullanılmıştır. Bu amaçla farklı konsantrasyonlarda gallik asit çözeltileri hazırlanmıştır. Elde edilen kalibrasyon eğrisi Şekil 3.6'da sunulmuş ve denklemi $y = 0,0125x + 0,052$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6 Fenolik madde miktarı tespiti için gallik asit cinsinden standart kalibrasyon eğrisi

3.2.7.3 1,1-Difenil 2-Pikril Hidrazil (DPPH) Serbest Radikal Süpürücü

Antioksidan Aktivite Tayini

Ekstraktların (0,1 mL) antioksidan aktiviteleri Subaşı-Zarbaliyev vd.'nin çalışmalarında uyguladığı yöntem esas alınarak DPPH radikal temizleme

yöntemiyle belirlenmiştir [99]. 0,1 mL ekstrakt, 4,9 mL 0,1 mM DPPH radikali ile karıştırılmış ve karışım, vortekslenerek homojen hale getirilmiştir. Karanlıkta 27 °C'de 20 dakika inkübasyonun ardından numunenin absorbansı, UV-görünür spektrofotometre (Shimadzu UV-1800, Japonya) kullanılarak 517 nm'de ölçülmüştür. Kör örnek olarak metanol kullanılmıştır. DPPH radikal temizleme aktivitesinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmış ve bulgular kuru ağırlıkça % olarak aşağıdaki denklem (3.5) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{DPPH radikal yakalama aktivitesi (\%)} = \frac{\text{Absorbsiyon}_{\text{Kör}} - \text{Absorbsiyon}_{\text{Örnek}}}{\text{Absorbsiyon}_{\text{Kör}}} * 100$$

(3.5)

3.2.8 Pestillerin Mikrobiyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu amaçla, 10 g numune steril stomacher torbalarına yerleştirilip, her torbaya aseptik olarak 90 mL %0,1'lik peptonlu su eklenmiştir. Karışım peristaltik karıştırıcı (Stomacher, ISOLAB, Türkiye) kullanılarak 20 dakika homojen hale getirilmiştir. Homojen hale getirilen örneklerin 1:10 oranında seri dilüsyonları hazırlanmıştır. Örneklerdeki toplam LAB sayılarını belirlemek için, MRS agar besiyerine yayma plak yöntemiyle ekim yapılarak 37°C'de 48 saat anaerob koşullarda inkübasyon gerçekleştirilmiştir. Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımları, Plate Count Agar (PCA)'a yayma plak yöntemiyle ekim yapılarak, 30°C'de 24-48 saat aerob koşullarda inkübasyonla gerçekleştirilmiştir. Toplam maya/küf (TYM) sayısını belirlemek için Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol (DRBC) agar kullanılarak yayma plak yöntemi ile ekim yapılmış ve 25°C'de 72-120 saat aerobik koşullarda inkübasyonlar gerçekleştirilmiştir. Inkübasyon sonucunda koloniler sayılarak sonuç log₁₀ KOB/g olarak ifade edilmiştir.

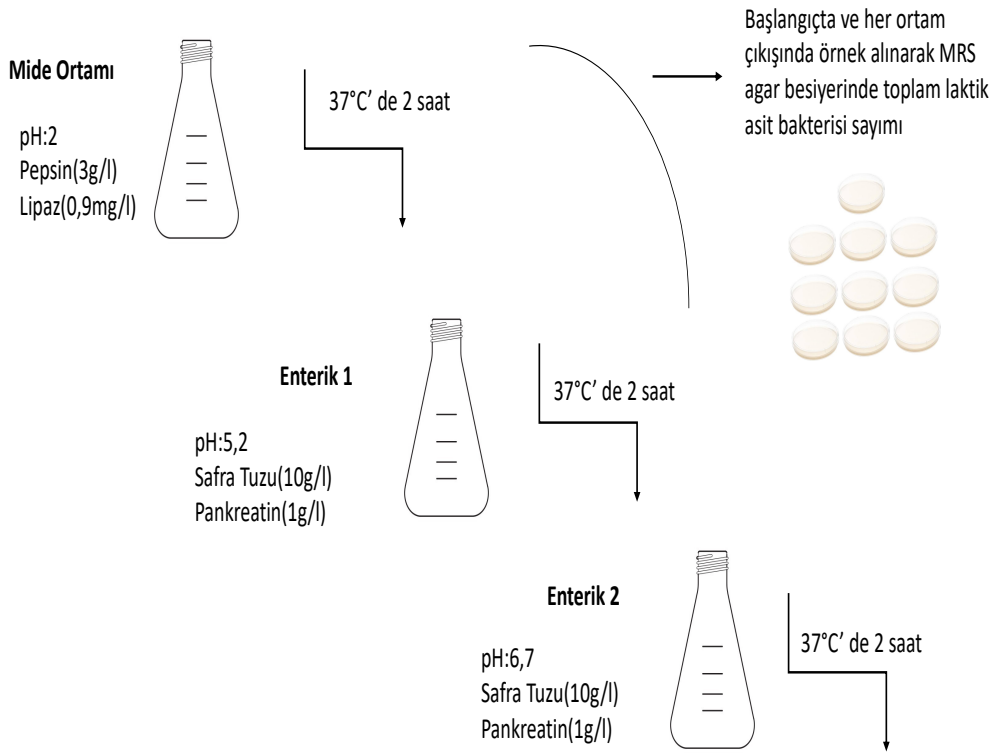
3.2.9 Pestillerin Tekstürel Özelliklerinin Belirlenmesi

Pestillerin dokusal özellikleri (20 mm çap x 20 mm yükseklik), Singh vd.'nin prosedürüne dayalı olarak 5 kg'lık yük hücresine sahip bir doku analiz cihazı (TPA, Micro Stabil Systems TA. XDplus Texture Analyzer, Birleşik Krallık) kullanılarak belirlenmiştir [100]. Alet platformunun ortasına yerleştirilen kare pestil levhalara (20 mm çap x 20 mm yükseklik) 36 mm çapında silindirik bir sıkıştırma probu ile baskı uygulanmıştır. Numuneler analiz boyunca iki kez sıkıştırılmış ve tüm deneyler oda sıcaklığında (25 ± 2°C) gerçekleştirilmiştir.

Sertlik, esneklik (%), iç yapışkanlık, yapışkanlık (N), çiğnenebilirlik (N), elastikiyet gibi dokusal parametreler TPA grafiğinden hesaplanmıştır.

3.2.10 Pestillerde *in vitro* Sindirim Sırasında Probiyotik Canlılığının Belirlenmesi

Gastrik ve enterik ortamların simüle edildiği koşullarla muamele edilen pestil örneklerinde probiyotik canlılığının tespiti için Liserre vd. ve Buritti vd. tarafından açıklanan yöntemler modifiye edilerek uygulanmıştır [101], [102]. Sindirim modelinin her aşamasında bir önceki fazın üzerine pH ayarlaması yapılarak yeni ortam oluşturulmuştur. *In vitro* sindirim testi özet gösterimi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 7 *In vitro* sindirim testi özet gösterimi

Örnekler 1'er gram olacak şekilde steril örnek kaplarına alınmış ve 100 mL %0,5 NaCl çözeltisiyle seyreltme yapılmıştır. Öncelikle pH 1 N HCl ile 2'ye ayarlanmıştır. Pepsin ve lipaz çözeltileri, sırasıyla 3 g/L ve 0,9 g/L olmak üzere mide ortamını simüle etmek için eklenmiştir. Şişeler, 37°C'de, 150 rpm'lik

çalkalamalı su banyosunda (Metabolik Su Banyosu Dubnoff MA-095, Marconi, Piracicaba, Brezilya), 2 saat boyunca (gastrik faz) inkübe edilmiştir.

Bir sonraki aşamada, alkalın bir çözelti (150 mL 1 N NaOH, 14 g PO₄H₂Na.2H₂O ve 1 L'ye kadar damıtılmış su) kullanılarak numunelerin pH'sı 5,2'ye yükseltilmiştir. Safra ve pankreatin sırasıyla 10 g/L ve 1 g/L konsantrasyona ulaşacak şekilde ilave edilmiştir. Numuneler tekrar, 37 °C'de 2 saat boyunca (enterik faz 1) inkübe edilmiştir.

Son aşamada, aynı alkali çözelti kullanılarak pH değeri 6,7'ye yükseltilmiş, safra ve pankreatin konsantrasyonları ayarlanmıştır (sırasıyla 10 g/L ve 1 g/L ve örnekler tekrar 37 °C'de 2 saat boyunca (enterik faz 2) inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda 6 saatlik gastrik ve enterik ortam simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Toplam LAB sayımı için numunelerden 0. dakikada sindirimin başında, 2 saat' te mide ortamının sonunda, 4 saatte enterik faz 1 ortamının sonunda ve 6 saatte enterik faz 2 ortamının sonunda örnekler alınmış ardından uygun seyreltmeler yapılarak MRS agar besiyerinde 37°C'de 2 gün anaerobik koşullarda tutularak inkübe edilmiştir.

Probiyotik suşların canlılık oranları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Canlılık} = \left[\frac{N \log \text{son zaman}(6.\text{saat})}{N \log \text{başlangıç zaman} (0.\text{saat})} \right] \times 100\% \quad (4)$$

3.2.11 Kayısı Pestillerinin Duyusal Özelliklerinin Belirlenmesi

Pestil örneklerinin duyusal değerlendirmesi, 9 noktalı hedonik skala (9, çok beğendim; 1, hiç beğenmedim) kullanılarak 24-40 yaş aralığındaki 12 yarı eğitimli panelist tarafından gerçekleştirilmiştir [103]. Tüm pestil örnekleri rastgele kodlanmış ve panelistlere sunulmuştur. Panelistlerin örnekler arasında ağızlarını su ile çalkalamaları istenmiştir. Örneklerin koku, renk, yapı/tekstür, tat/aroma, çiğnenebilirlik ve genel kabul edilebilirlik parametreleri değerlendirmeye alınmıştır. Pestil örneklerinin duyusal analizinde kullanılan değerlendirme formu, Şekil 3.8'de verilmiştir.

Cinsiyet: Yaş:	Panel Tarihi:								
Duyusal Özellikler	Örnek kodu...								
	Değerlendirme								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Koku									
Renk									
Yapı/ Tekstür									
Tat/ Aroma									
Çiğnenebilirlik									
Genel kabul edilebilirlik									
Puanlama	1: “çok kötü”, 2: “oldukça kötü”, 3: “kötü”, 4: “biraz kötü”, 5: “yorumsuz”, 6: “biraz iyi”, 7: “iyi”, 8: “oldukça iyi”, 9: “çok iyi”								

Şekil 3. 8 Duyusal değerlendirme formu

3.2.12 İstatistiksel Analizler

Tüm deneyler üç paralelli ve iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar ortalama değer ve standart sapma (ortalama $\pm$ SD) olarak sunulmuştur. Bulgular, JMP 6.0 istatistiksel analiz yazılımı (SAS Institute, Inc., Cary, ABD) kullanılarak varyans analizi (tek yönlü ANOVA) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Farklılıklar Student's t-testi kullanılarak 0,05 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, geleneksel gilaburu ve şalgam içeceklerinden izole edilmiş ve probiyotik özellikleri belirlenmiş 10 adet laktik asit bakterisi (LAB) izolatu arasında sükröz, fruktoz ve sıcaklık dayanımlarına bakılarak en iyi özelliklere sahip üç adet izolat seçilmiş ve YYM ile püskürterek kurutma koşulları optimize edilmiştir. Optimum koşullarda kurutularak enkapsüle edilen probiyotik bakteriler, kayısı pestili formülasyonuna dahil edilerek probiyotik kayısı pestilleri üretilmiş ve 120 günlük depolama boyunca kalite özellikleri incelenmiştir. Karşılaştırma amacıyla enkapsüle edilmemiş ((serbest formda) probiyotik bakteri ilaveli kayısı pestilleri de üretilmiştir. Elde edilen bütün bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1 Optimum Özelliklere Sahip Suşlar

Çalışmanın ilk aşamasında, pestile ilave edilecek bakterilerin pestil ortamı ve üretim şartlarına uygunluğu açısından en dayanıklı olanlarının seçilmesi hedeflenmiştir. Tablo 4.1'de listelenen sonuçlara göre, test edilen 10 suştan yüksek sıcaklık (50 °C), yüksek sükröz ve fruktoz ortamına en dayanıklı üç tanesi seçilmiştir. Nihai sonuçlara göre şalgam ve gilaburu izolatlarının her ikisinde de 50 °C' de 12 saatlik sürede canlılıkların bazı suşlarda çok düşük bazı suşlarda yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda sükröz ve fruktoz dayanımı testlerinde de her suş için farklı canlılık değerleri gözlemlenmiştir. Bu değerler Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablo 4.1'de belirtilen canlılık değerlerinden yüksek sükröz ve fruktoz ortamında ve yüksek sıcaklık ortamında canlılığı en yüksek olanlar sıralanıp üç özelliğe karşı optimum direnç gösteren bakteriler seçilmiştir. En yüksek canlılığı gösterenler arasında istatistiksel olarak fark olmadığı durumda; seçilen bakteriler farklı türde olacak şekilde seçim yapılmıştır. Bakterilerin test edilen kriterlere tolerans ve direnç özellikleri incelenerek seçilen bu izolatlar; *L. plantarum* subsp. *plantarum* SH11 (LP4), *L. pentosus* G4B (LPE1) ve *L. fermentum* SH10 (LF2) suşlarıdır.

Tablo 4.1 Fruktoz, sükröz ve ısı stresine bağlı olarak çeşitli LAB izolatları için canlılık değişim yüzdeleri (%),

Kodu	Bakteri adı	LAB canlılığındaki değişim (%)		
		Yüksek fruktozlu ortam	Yüksek sükrözlü ortam	Yüksek sıcaklık ortamı (50 °C)
LP1	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> G4C	- 14,77±3,70 ^b	9,73±0,68 ^{cd}	- 45,89±4,86 ^e
LP2	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> G4D	- 15,16±2,16 ^b	- 11,36±1,11 ^f	- 20,53±1,98 ^b
LP3	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH5	- 38,24±0,24 ^d	8,72 ± 0,23 ^{cd}	- 24,29±3,82 ^b
LP4	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH11	- 13,29±1,09 ^b	16,24±2,99 ^{ab}	-21,78±5,05 ^b
LP5	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH23	- 14,03±0,03 ^b	- 3,38±1,87 ^e	- 20,72±8,10 ^b
LP6	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SH35	- 13,51±3,40 ^b	9,64±0,55 ^{cd}	-35,69±2,06 ^d
LPE1	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i> G4B	- 1,47±0,72 ^a	20,35 ± 0,80 ^a	- 27,26±1,07 ^{bcd}
LPE2	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i> SH14	- 14,10±0,10 ^b	13,75 ± 2,36 ^{bc}	- 27,53±5,72 ^{bc}
LF1	<i>Limosilactobacillus fermentum</i> G1G	- 27,46±0,37 ^c	8,07 ± 1,73 ^d	- 34,40±4,14 ^{cd}
LF2	<i>Limosilactobacillus fermentum</i> SH10	- 3,75±0,25 ^b	11,60±0,18 ^{bcd}	- 2,88±1,65 ^a

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler, ortalamalar arasındaki istatistiksel farklılığı gösterir (p < 0,05).

4.1.1 Yüksek Sükroz ve Fruktozlu Ortamda Canlılık Testi Sonuçları

Değerlendirilen probiyotik mikroorganizmaların tümü yüksek sükroz/fruktoz ortamında çoğalmasına rağmen, değişen mikrobiyal adaptasyon ve hücre canlılık dereceleri gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre LPE1'in yüksek fruktoz ortamında hücre canlılığı azalma oranı (-%1,47) en düşükken, bunu sırasıyla LF2 (-%3,75) ve LP4 (-%13,29) izlemiştir. Ayrıca, test edilen suşlar arasında LPE1, yüksek sükroz ortamına en yüksek adaptasyonu göstermiş ve hücre canlılığını yaklaşık %20,35 oranında artmıştır. Bunu %16,24 artış oranıyla LP4 ve %13,75 artış oranıyla LPE2 izlemiştir. Benzer bulgular Pato vd. [104] tarafından da rapor edilmiştir; sonuçlar, kullanılan sükroz konsantrasyonunun ürünün toplam LAB'sini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir ($p < 0,05$) .

4.1.2 Yüksek Sıcaklık Tolerans Testi Sonuçları

LAB' ler içerisinde yer alan çoğu probiyotik mikroorganizmanın optimum gelişme sıcaklığı 37 ila 43 °C arasındadır [105]. *L. acidophilus* gibi bazı türler 45 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gelişebilse de optimum sıcaklık istekleri 40–42 °C aralığındadır. Probiyotiklerin canlılığı, gıda işleme sırasında 45–50 °C'nin üzerindeki sıcaklıklardan olumsuz etkilenebilmektedir. LAB' lerde ısı stresi; gelişme, ısı toleransı ve protein sentezi üzerindeki etkisi incelenerek tespit edilmektedir. Suşlar arasındaki genetik çeşitlilik, hücre popülasyonunun fizyolojik durumları ve gelişme ortamı, pH, su aktivitesi, tuz içeriği, koruyucular gibi diğer çevresel faktörler, suşlarının ısı stresine karşı direncini etkilemektedir [106].

Tablo 4.1'deki analiz sonuçlarına göre, test edilen suşlar arasında yüksek sıcaklığa, yüksek sukroz ve fruktoz ortamına en dayanıklı suşlar olarak LF2, LP4 ve LPE1 olarak tespit edilmiş ve belirlenen bu izolatlar kullanılarak püskürterek kurutma optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, test sonuçlarına göre LF2 kodlu izolat en yüksek ısı toleransına sahip suş olup bu suşun canlılığı %2,88 oranında azalmıştır. Bunu %20,53 azalma oranıyla *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* CGLBL69 ve %20,72'lik bir azalma oranıyla *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* gp16 izlemiştir. Sonuçlar, sıcaklık artışının bakterilerde ısı stresi nedeniyle canlılık oranlarında bir azalmaya sebep olabileceğini göstermiştir.

4.2 Seçilen Suşların YYM Modeli ile Kurutma Optimizasyonu

DMKDT kullanılarak püskürtmeli kurutucuda probiyotik bakteri enkapsülasyonunun optimizasyonu, merkezde üç tekrarlı olarak iki faktör (verim (%) ve canlılık (log KOB/g) ile gerçekleştirilmiştir. Aynı anda proses parametrelerinin bireysel ve etkileşimli etkilerini analiz edebilme imkânı sunmasından dolayı bu deneyde DMKDT'nin kullanımı tercih edilmiştir. Kuadratik (karesel) model, yanıt değişkenini optimize etmek için kullanılmıştır. Bu, maksimum yanıt değerlerini bulmayı hedeflemiştir.

4.2.1 Seçilen Suşların Püskürtmeli Kurutucu ile Enkapsülasyonu Optimizasyon Deneme Noktaları Sonuçları

İki faktörün; toz verimi (%) ve püskürtmek kurutma sonrası canlılık (log KOB/g) üzerindeki etkileri, Tablo 4.2' da gösterildiği gibi bir YYM-DMKDT: HGS (Hava giriş sıcaklığı) (°C) ve MK (Maltodekstrin konsantrasyonu) (%) kullanılarak araştırılmıştır. Karesel model, deneysel verileri tahmin etmek için en uygun model olarak seçilmiştir ve elde edilen tüm değerler için istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,05$). Kodlanmış faktörler açısından geliştirilen tahmini modeller (anlamlı kodlanmış terimler not edilmiştir) ve çıktıları Tablo 4.2' da verilmiştir. Yazılım programında iki faktör (HGS ve MK) ölçüm aralığında tutularak çoklu yanıt optimizasyonu yapılmış ve yanıt değişkenleri (üretim verimi ve canlılık) maksimum olarak seçilmiştir. Kapsülleme verimliliği, çıkış sıcaklığı ve nem içeriği YYM için değişkenlerden biri değildir. Sadece değişkenlere bağlı olarak nasıl değiştiğini karşılaştırmak için tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4. 2 *Lactiplantibacillus plantarum* SH11, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B ve *Limosilactobacillus fermentum* SH10 merkezi kompozit dönebilen tasarıma göre; üretim verimi (%), canlılığı (log KOB/g), kapstülleme verimliliği (%), çıkış sıcaklığı (°C) ve nem miktarı (%)

Faktörler (Bağımsız değişkenler)					Sonuçlar (Bağımlı Değişkenler)						Diğer Çıktılar								
Kodlanmamış Değişkenler		Kodlanmış Değişkenler			Verim (%)			Canlılık (log KOB/g)			Enkapsülasyon Etkinliği (%)			Çıkış Sıcaklığı (°C)			Nem Miktarı (%)		
R	MK (%)	HGS (°C)	X ₁	X ₂	LF2	LP4	LPE ₁	LF2	LP4	LPE ₁	LF2	LP4	LPE ₁	LF2	LP4	LPE ₁	LF2	LP4	LPE ₁
1	20	130	0	0	53,00	47,35	32,40	10,11	10,70	9,98	91,56	96,64	90,54	77,00	70,00	74,00	5,20	5,86	5,75
2	20	150	0	+1	45,40	62,15	40,45	9,54	7,30	7,90	86,45	65,95	71,66	88,00	87,00	89,00	5,19	5,03	4,70
3	10	150	-1	+1	40,00	48,30	48,00	8,73	6,85	7,70	79,08	61,87	69,85	95,00	93,00	92,00	5,21	5,08	4,42
4	20	110	0	-1	41,04	38,25	29,45	10,84	10,59	10,46	98,17	95,65	94,90	60,00	59,00	60,00	9,05	7,70	7,34
5	30	150	+1	+1	50,00	49,27	42,00	9,35	7,09	7,00	84,68	64,03	63,52	83,00	83,00	86,00	5,38	4,99	4,72
6	20	130	0	0	51,00	44,05	32,70	10,00	9,70	10,40	90,58	87,61	94,35	79,00	72,00	73,00	5,20	5,97	5,24
7	20	130	0	0	52,30	46,35	33,25	10,00	10,63	10,44	90,58	96,00	94,71	78,00	71,00	73,00	5,18	5,98	5,53
8	10	130	-1	0	51,88	38,40	45,70	9,67	10,05	10,29	87,63	90,77	93,35	80,00	74,00	80,00	6,45	5,34	4,48
9	10	110	-1	-1	37,00	32,40	38,30	10,30	10,89	10,51	93,31	98,36	95,37	61,00	60,00	62,00	9,30	7,34	6,29
10	30	130	+1	0	53,06	35,50	36,76	9,43	9,35	9,16	85,42	84,45	83,13	71,00	69,00	72,00	5,10	6,43	6,12
11	30	110	+1	-1	41,60	37,63	30,20	10,63	9,39	9,68	96,26	84,81	87,80	59,00	56,00	58,00	7,26	7,71	7,34

* R, bağımsız değişkenler için her bir deneme noktasını gösterir. MK, maltodekstrin konsantrasyonu; HGS, hava giriş sıcaklığı; X₁, maltodekstrin konsantrasyonu (%); X₂, giriş hava sıcaklığı (°C); LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B

Elde edilen bulgulara göre; toz verimi, LF2 yüklü mikrokapsüller için %37,00 (R9) ile %53,06 (R10), LP4 yüklü mikrokapsüller için %32,40 (R9) ile %62,15 (R2) ve %29,45 (R4) ile %48,00 (R3) arasında değişmektedir. LPE1 yüklü mikrokapsüller için toz verimi deneysel koşullara göre değişiklik göstermektedir. Araştırma bulgularımız Bommasamudram vd.'nin (2022) ve Vivek vd.'nin (2021) elde ettiği sonuçları desteklemektedir [107], [108]. 2022'de yapılan başka bir çalışmada, simbiyotik baklagil bazlı içeceklere püskürterek kurtma tekniği kullanılarak kapsüllenmiş *Lactocaseibacillus casei* ATCC 335 eklenmiş ve toz verimi %11-23 aralığında olduğu ifade edilmiştir [109]. Ayrıca, LF2, LP4 ve LPE1 yüklü tozlar için püskürterek kurutma sonrasında canlı hücre sayılarına (log KOB/ g) ilişkin bağımlı değişkenler sırasıyla; 8,73 (R3) ila 10,84 (R4), 7,09 (R5) ila 10,89 (R9) ve 7,00 (R5) ile 10,51 (R9) arasında değişmektedir. Bulgularımız, *L. paracasei* FNU tozlarının yağsız süt ve peynir altı suyu kullanarak püskürterek kurtmayla mikrokapsüllenmesini inceleyen ve mikrokapsül tozunun canlı hücre sayısını 9,49 (log KOB/ g) olarak bulan İlha vd. (2015) ile benzerlik göstermektedir [110].

LF2, LP4 ve LPE1'in toz verimi ve canlılığı için negatif katsayı değerleri, HGS (°C) ve/veya MK arttığında; LF2, LP4 ve LPE1 yüklü tozların hepsinde toz verimi/canlılık değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Tablo 4.2). LF2, LP4 ve LPE1 yüklü tozların çıkış sıcaklığı (°C) değerleri sırasıyla 59–95°C, 56–93°C ve 58–89°C aralığında ölçülmüş ve bulgular Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Ayrıca optimum şartlarda üretilen mikrokapsüllerin çıkış sıcaklığı LF2 yüklü toz için 72°C, LP4 yüklü toz için 74°C ve LPE1 yüklü toz için 75°C olarak ölçülmüştür. Dayanıklılık ve toz kalitesi de çıkış sıcaklığından etkilenebilen parametrelerdir. Daha yüksek çıkış sıcaklığının, tozdaki su aktivitesinin ve nem içeriğinin daha düşük olmasına yol açtığı ve ürün stabilitesini aynı zamanda probiyotik bakterinin canlılığını etkilediği bilinmektedir [67].

Mikrokapsüllerin nem içeriği Tablo 4.2' de verilen deney koşullarına göre LF2 yüklü toz için %5,10-%9,30, LP4 yüklü toz için %5,03-%7,71 ve S32 yüklü toz için %4,48-%7,34 arasında değişmiştir. Bu bulgular değerlendirildiğinde, maltodekstrinin çevredeki nem emiliminden dolayı higroskopik yapıda olduğu ve bu da ürünün genel nemini yükselttiği şeklinde düşünülmektedir. Çalışmamızdaki bulgulara göre tozların düşük çıkış sıcaklıklarında üretimi nem içeriğinin artmasına neden olmuştur. Bu bulgular Minj vd. (2022) ve Arepally vd. (2019)

çalışmalarındaki çıkış sıcaklığı ve nem içeriği ilişkisiyle uyumlu bulunmuştur [4], [12]. Tozların nem içeriği; giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığı, kaplama maddesi özellikleri ve atomizasyon koşulları gibi proses değişkenlerinden etkilenebilmektedir. Optimum noktalarda üretilen mikrokapsüllerin nem içeriği; LF2 yüklü toz için %5,30, LP4 yüklü toz için %5,96 ve LPE1 yüklü toz için %5,42 ölçülmüştür. Farklı deney koşullarında (Tablo 4.2) göre LF2, LP4 ve LPE1 yüklü mikrokapsüllerin kapsülleme verimliliği yüzdesi sırasıyla %79,08–98,17, %61,87–98,36 ve %71,66–95,37 aralığında bulunmuştur. Bazı püskürtmeli kurutucu ile bakteri enkapsülasyonu çalışmaları incelendiğinde; verimlilik ile ilgili sonuçlarımızın incelenen önceki çalışmalarla tutarlı olduğu görülmüştür [110], [111], [112], [113]. Tablo 4.2' de aynı MK koşulları altında daha yüksek bir HGS' nin daha yüksek bir çıkış sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum bakterinin canlılığı üzerinde de etkili olmaktadır. Sonuçların İlha ve ark.'nın çalışmasında elde ettiği hava giriş ve çıkış sıcaklığının etkileşimi sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir [110]. Termoprotektif bileşenin (maltodekstrin) konsantrasyonları, zorlu çevre koşullarının korunması ve hücre inaktivasyonunun önlenmesi nedeniyle püskürterek kurtma sırasında probiyotiklerin kapsülleme verimliliğini de etkilemiştir. Probiyotik bakterilerin maltodekstrin matrisi içerisinde kapsüllenmesinin, orta düzeyde bir prebiyotik olması nedeniyle probiyotiklerin yüksek canlılığını sağlayabileceği diğer çalışmalarda da gösterilmektedir [111]. Ayrıca optimum koşullarda üretilen tozların enkapsülasyon etkinliği değerleri LF2 yüklü toz için %93,03, LP4 yüklü toz için %92,77 ve LPE1 yüklü toz için %93,01 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler de püskürtmeli kurutucuda probiyotik enkapsülasyonu için istenen şekilde yüksek değerlerdir.

4.2.2 Püskürtmeli Kurutucu ile Enkapsüle Edilen Probiyotik Tozların Canlılık Varyans Analiz Sonuçları

LF2, LP4, LPE1 bakterilerinin püskürtmeli kurutucu ile enkapsülasyonunda canlılığa ilişkin ANOVA (varyans analizi) tabloları sırasıyla Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4' de sunulmuştur.

Tablo 4. 3 Karesel modele göre LF2 bakterisi canlılık varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F Değeri	p-değeri Prob >F
Model	3,51	5	0,70	18,89	0,0029
A-MK	0,082	1	0,082	2,20	0,1978
B-HGS	2,86	1	2,86	76,97	0,0003
AB	0,021	1	0,021	0,58	0,4816
A ²	0,54	1	0,54	14,45	0,0126
B ²	0,081	1	0,081	2,17	0,2005
Kalıntı	0,19	5	0,037		
Uyum Eksikliği	0,18	3	0,059	15,27	0,0621
Saf Hata	7,776E-003	2	3,888E-003		
Düzeltilmiş Toplam	3,70	10			

A: Maltodekstrin konsantrasyonu (MK), B: Hava giriş sıcaklığı (HGS), Df: serbestlik derecesi

Tablo 4.3'e göre LF2 bakterisi canlılık değerleri için karesel model'in F değerinin 18,89 ve Prob>F değerinin ise 0,05'ten küçük (0,0029) olması, uygulanan modelin önemli olduğunun bir göstergesidir. Ayrıca uyumsuzluk derecesi ise 0,0621 ($p>0,05$) olarak bulunmuştur bu da modelin verilere uygunluğunu yansıtmaktadır. MK, MK ile HGS interaksiyonu, HGS'nin ikinci dereceden etkisi $p>0,05$ olduğundan dolayı önemsiz bulunmuştur. MK'nın ikinci dereceden etkisi ve HGS'nin etkisi önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Karesel modelin LF2 bakterisinin püskürterek kurutma ile enkapsülasyonu sırasında canlılığına olan etkilerinin önemli olduğu ($p<0,05$) ve modelin canlılığı önceden belirlemek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. 4 Karesel modele göre LP4 bakterisi canlılık varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F Değeri	p-değeri Prob >F
Model	22,85	5	4,57	34,17	0,0007
A-MK	0,64	1	0,64	4,79	0,0803
B-HGS	15,45	1	15,45	115,50	0,0001
AB	0,76	1	0,76	5,65	0,0634
A ²	0,66	1	0,66	4,93	0,0772
B ²	4,05	1	4,05	30,26	0,0027
Kalıntı	0,67	5	0,13		
Uyum eksikliği	0,046	3	0,015	0,049	0,9819
Saf hata	0,62	2	0,31		
Düzeltilmiş Toplam	23,52	10			

*A: Maltodekstrin konsantrasyonu(MK), B: Hava giriş sıcaklığı(HGS), Df: serbestlik derecesi

Tablo 4.4' e göre LF2 bakterisi canlılık değerleri için karesel Model'in F değerinin 34,17 ve Prob>F değerinin ise 0,05'ten küçük (0,0007) olması, uygulanan modelin önemli olduğunun bir göstergesi olmaktadır. Ayrıca uyumsuzluk derecesi ise 0,9819 ($p>0,05$) olarak bulunmuştur bu da modelin verilere uygunluğunu yansıtmaktadır. MK, MK ile HGS interaksyonu, MK'nın ikinci dereceden etkisi $p>0,05$ olduğundan dolayı önemsiz bulunmuştur. Ancak HGS ve HGS'nin ikinci dereceden etkisi önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Elde edilen bulgulara göre, karesel modelin LP4 bakterisinin püskürterek kurutma prosesinde canlılığına olan etkilerinin önemli olduğu ve modelin canlılığı önceden belirlemek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır ($p<0,05$).

Tablo 4. 5 Karesel modele göre LPE1 bakterisi canlılık varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F Değeri	p-değeri Prob >F
Model	16,40	5	3,28	86,62	< 0,0001
A-MK	1,18	1	1,18	31,10	0,0026
B-HGS	10,80	1	10,80	285,16	< 0,0001
AB	4,624E-003	1	4,624E-003	0,12	0,7410
A ²	0,63	1	0,63	16,66	0,0095
B ²	2,77	1	2,77	73,14	0,0004
Kalıntı	0,19	5	0,038		
Uyum Eksikliği	0,059	3	0,020	0,31	0,8240
Saf Hata	0,13	2	0,065		
Düzeltilmiş Toplam	16,59	10			

*A: Maltodekstrin konsantrasyonu(MK), B: Hava giriş sıcaklığı(HGS), Df: serbestlik derecesi

Tablo 4.5'e göre LPE1 bakterisi canlılık değerleri için karesel model'in F değerinin 86,62 ve Prob>F değerinin ise < 0,0001 olması, uygulanan modelin önemli olduğunun bir göstergesi olmaktadır ($p<0,05$). Ayrıca uyumsuzluk derecesi ise 0,8240 p değeri $p>0,05$ olarak bulunmuştur bu sonuç da modelin verilere iyi uyduğunun bir göstergesidir. MK, MK'nin ikinci dereceden etkisi, HGS ve HGS'nin ikinci dereceden etkisi $p< 0,05$ olduğundan dolayı önemli bulunmuştur. Ancak MK ile HGS interaksyonu, $p>0,05$ olduğundan dolayı önemsiz bulunmuştur. Elde edilen bulgulara göre, karesel modelin LPE1 bakterisinin püskürterek kurutma prosesinde canlılığına olan etkilerinin önemli olduğu ve

modelin canlılığını önceden belirlemek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır ($p<0,05$).



Tablo 4. 6 Tahmin edilen model için canlılık denklemleri; *Lactiplantibacillus plantarum* SH11, *Lactiplantibacillus pentosus* G4Bve *Limosilactobacillus fermentum* SH10 için R², adj-R², CV ve AP değerleri

Parametreler	Örnek Adı	Tahmini Model Eşitliği	R ²	R ² -Adj	CV (%)	AP
Canlılık (%)	LF2-yüklü toz	$Y = + 20,93547 - 0,15791 * X_2 - 4,60447E-003 * X_1^2$	0,9497	0,8994	1,9500	14,270
	LP4-yüklü toz	$Y = - 28,42058 + 0,69789 * X_2 + 2,17375E-003 X_1^2 - 3,16000E-003 * X_2^2$	0,9716	0,9431	3,9200	15,100
	LPE1-yüklü toz	$Y = - 25,87164 + 0,13322 * X_1 + 0,60913 * X_2 - 4,99053E-003 * X_1^2 - 2,61388E-003 * X_2^2$	0,9886	0,9772	2,0700	24,990

*LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* strain G4B, her faktör seviyesi kombinasyonu ile ilişkili hesaplanan yanıt; X1, maltodekstrin konsantrasyonu (%); X2, giriş hava sıcaklığı (°C); R², belirleme katsayısı; R²-Adj, düzeltilmiş belirleme katsayısı; CV, varyasyon katsayısı; AP, yeterli kesinlik.

Tablo 4.6; LF2, LP4 ve LPE1'in canlılığı için determinasyon katsayısını (R^2), düzeltilmiş determinasyon katsayısını (R^2 -Adj), varyasyon katsayısını (C.V, %) ve yeterlilik hassasiyetini (AP) göstermektedir. Yüksek F değerleri, düşük önemli p değerleri ($p < 0,05$), önemsiz uyum eksikliği değerleri ($p > 0,05$), %10' un altında C.V değerleri, 4'ten büyük AP değerleri, yüksek R^2 ve yüksek R^2 -Adj değeriyle seçilen modelin istatistiksel olarak anlamlı ve doğruluğunun yüksek olduğunu göstermektedir [7]. Uygulanan modellere göre (Tablo 4.6) determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla LF2 için; 0,95, LP4 için; 0,97, LPE1 için; 0,99 olarak bulunmuştur. Bu sonuç LF2 için; toplam varyasyonun %95' inin bu modelle açıklanabileceğini sadece %5' inin tanımlanamayacağını, LP4 için; %97' sinin bu modelle açıklanabileceğini sadece %3' ünün tanımlanamayacağını, LPE1 içinse; %99' unun bu modelle açıklanabileceğini sadece %1' inin tanımlanamayacağını göstermektedir.

LF2, LP4 ve LPE1 yüklü enkapsüle bakteri içeren tozların; canlılık değerleri, hesaplanan değişkenlerin ana bileşenleri (X_1 , X_2), bileşen etkileşimi ($X_1 * X_2$) ve ikinci dereceden (X_1^2 , X_2^2) etkileri için Design Expert yazılımı ile ikinci dereceden (karesel) regresyon denklemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Elde edilen denklemlerin negatif katsayıları, LF2, LP4 ve LPE1 yüklü mikrokapsüllerin canlılığı üzerindeki değişkenler arasındaki antagonistik etkileri gösterirken, pozitif katsayılar sinerjistik etkileri göstermektedir [7]. Seçilen model, deneysel verileri tahmin etmek için en uygun model olarak seçilmiştir ve elde edilen tüm değerler için istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,05$). ANOVA sonuçları, LF2 yüklü mikrokapsüllerde canlılığın; HGS'nin doğrusal terimleri ve MK'nın (X_1^2) ikinci dereceden terimleri tarafından önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir ($p \leq 0,05$). Tablo 4.6'da görülebileceği gibi iki önemli parametre de LF2 yüklü mikrokapsüllerde canlılık üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bustamante ve ark.'nın bulgularına uygun olarak; önerilen model denklemi (Tablo 4.6), HGS'nin (X_2) LP4 yüklü tozun canlılığı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu, ardından en önemli etki faktörleri MK' nin (X_1^2) ikinci dereceden etkileri ve HGS'nin (X_2^2) ikinci dereceden etkileri olarak gözlemlenmiştir [114]. Yalnızca HGS'nin ikinci dereceden teriminin (X_2^2), LP4 yüklü tozun canlılığı üzerinde antagonistik etkilere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca polinom denklemi, LPE1 yüklü toz için doğrusal katsayıların (X_1 ve X_2) canlılık üzerinde olumlu etkilere sahip olduğunu ve bu

terimlerin canlılık oranlarını arttırdığını göstermiştir. Öte yandan, HGS'nin ikinci dereceden etkisi (X_2^2), LPE1 yüklü tozun canlılığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu gösteren negatif katsayıya sahiptir.

4.2.3 Püskürtmeli Kurutucu ile Enkapsüle Edilen Probiyotik Tozların Verim Varyans Analiz Sonuçları

LF2, LP4, LPE1 bakterilerinin püskürtmeli kurutucu ile enkapsülasyonunda verime ilişkin ANOVA (varyans analizi) tabloları sırasıyla Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'da sunulmuştur.

Tablo 4. 7 Karesel modele göre LF2 bakterisi verimine ilişkin varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F Değeri	p-değeri Prob >F
Model	349,37	5	69,87	21,23	0,0022
A-KK	41,50	1	41,50	12,61	0,0164
B-HGS	41,40	1	41,40	12,58	0,0164
AB	7,29	1	7,29	2,22	0,1968
A ²	0,38	1	0,38	0,12	0,7474
B ²	235,32	1	235,32	71,51	0,0004
Kalıntı	16,45	5	3,29		
Uyum Eksikliği	14,39	3	4,80	4,66	0,1818
Saf Hata	2,06	2	1,03		
Düzeltilmiş Toplam	365,82	10			

A: Kaplayıcı konsantrasyonu(KK), B: Hava giriş sıcaklığı(HGS), Df: serbestlik derecesi

Tablo 4.7'ye göre LF2 bakterisi verim değerleri için karesel model'in F değerinin 21,23 ve Prob>F değerinin ise 0,002 olması, uygulanan modelin önemli olduğunu bir göstergesi olmaktadır ($p < 0,05$). Ayrıca uyumsuzluk derecesi ise 0,1818 düzeyinde önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). MK ile HGS interaksiyonu ve MK'nın ikinci dereceden etkisi $p > 0,05$ olduğundan dolayı önemsiz bulunmuştur. Ancak MK, HGS VE HGS'nin ikinci dereceden etkisi $p < 0,05$ olduğundan dolayı önemli bulunmuştur. Elde edilen bulgulara göre, karesel modelin LF2 bakterisinin püskürterek kurutma prosesinde verimine olan etkilerinin önemli olduğu ve modelin verimini önceden belirlemek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır ($p < 0,05$).

Tablo 4. 8 Karesel modele göre LP4 bakterisi verimine ilişkin varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F Değeri	p-değeri Prob >F
Model	650,21	5	130,04	12,45	0,0075
A-MK	1,81	1	1,81	0,17	0,6942
B-HGS	440,89	1	440,89	42,20	0,0013
AB	4,55	1	4,55	0,44	0,5384
A ²	188,06	1	188,06	18,00	0,0081
B ²	54,40	1	54,40	5,21	0,0714
Kalıntı	52,23	5	10,45		
Uyum Eksikliği	46,51	3	15,50	5,41	0,1599
Saf Hata	5,73	2	2,86		
Düzeltilmiş Toplam	702,44	10			

*A: Maltodekstrin konsantrasyonu (MK), B: Hava giriş sıcaklığı (HGS), Df: serbestlik derecesi

Tablo 4.8’ de görüldüğü gibi LP4 bakterisi verim değerleri için karesel model’in F değerinin 12,45 ve Prob>F değerinin ise 0,0075 olması, uygulanan modelin önemli olduğunun bir göstergesi olmaktadır ($p<0,05$). Ayrıca uyumsuzluk derecesi ise 0,1599 değeriyle önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). MK, MK ile HGS etkileşimi, ve HGS’nin ikinci dereceden etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Ancak HGS’nin etkisi ve MK’nın ikinci dereceden etkisi önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Elde edilen bulgulara göre, karesel modelin LP4 bakterisinin püskürterek kurutma prosesinde verimine olan etkilerinin önemli olduğu ve modelin verimini önceden belirlemek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır ($p<0,05$).

Tablo 4. 9 Karesel modele göre LPE1 bakterisi verimine ilişkin varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F Değeri	p-değeri Prob >F
Model	381,28	5	76,26	36,08	0,0006
A-MK	88,47	1	88,47	41,86	0,0013
B-HGS	176,04	1	176,04	83,29	0,0003
AB	1,10	1	1,10	0,52	0,5025
A ²	105,77	1	105,77	50,04	0,0009
B ²	0,084	1	0,084	0,040	0,8503
Kalıntı	10,57	5	2,11		
Uyum Eksikliği	10,20	3	3,40	18,29	0,0523
Saf Hata	0,37	2	0,19		
Düzeltilmiş Toplam	391,85	10			

*A: Kaplayıcı konsantrasyonu(KK), B: Hava giriş sıcaklığı(HGS), Df: serbestlik derecesi

Tablo 4.9' a göre LF2 bakterisi canlılık değerleri için karesel Model'in F değerinin 36,08 ve Prob>F değerinin; 0,0006 olması, uygulanan modelin önemli olduğunun bir göstergesi olmuştur ($p < 0,05$). Modelin uyum eksikliği değeri 0,0523 değeriyle önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). MK, HGS ve MK'nın ikinci dereceden etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). MK ile HGS interaksiyonu, ve HGS'nin ikinci dereceden etkisi önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Elde edilen bulgulara göre, karesel modelin LPE1 bakterisinin püskürterek kurutma prosesinde verimine olan etkilerinin önemli olduğu ve modelin verimini önceden belirlemek amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır ($p < 0,05$).

Tablo 4. 10 Tahmin edilen model için toz verimi denklemleri; *Lactiplantibacillus plantarum* SH11, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B ve *Limosilactobacillus fermentum* SH10 için R2, adj-R2, CV ve AP değerleri.

Parametreler	Örnek Adı	Tahmini Model Eşitliği	R ²	R ² -Adj	CV (%)	AP
Toz verimi (%)	LF2-yüklü toz	$Y = 361,13281 - 0,45934 * X_1 + 6,26096 * X_2 - 0,024095 * X_2^2$	0,9550	0,9100	3,8600	12,070
	LP4-yüklü toz	$Y = + 136,41602 - 2,47687 * X_2 - 0,086159 * X_1^2$	0,9256	0,8513	7,4100	11,470
	LPE1-yüklü toz	$Y = + 46,39206 - 3,30988 * X_1 + 0,10031 * X_2 + 0,064616 * X_1^2$	0,9730	0,9461	3,9100	19,200

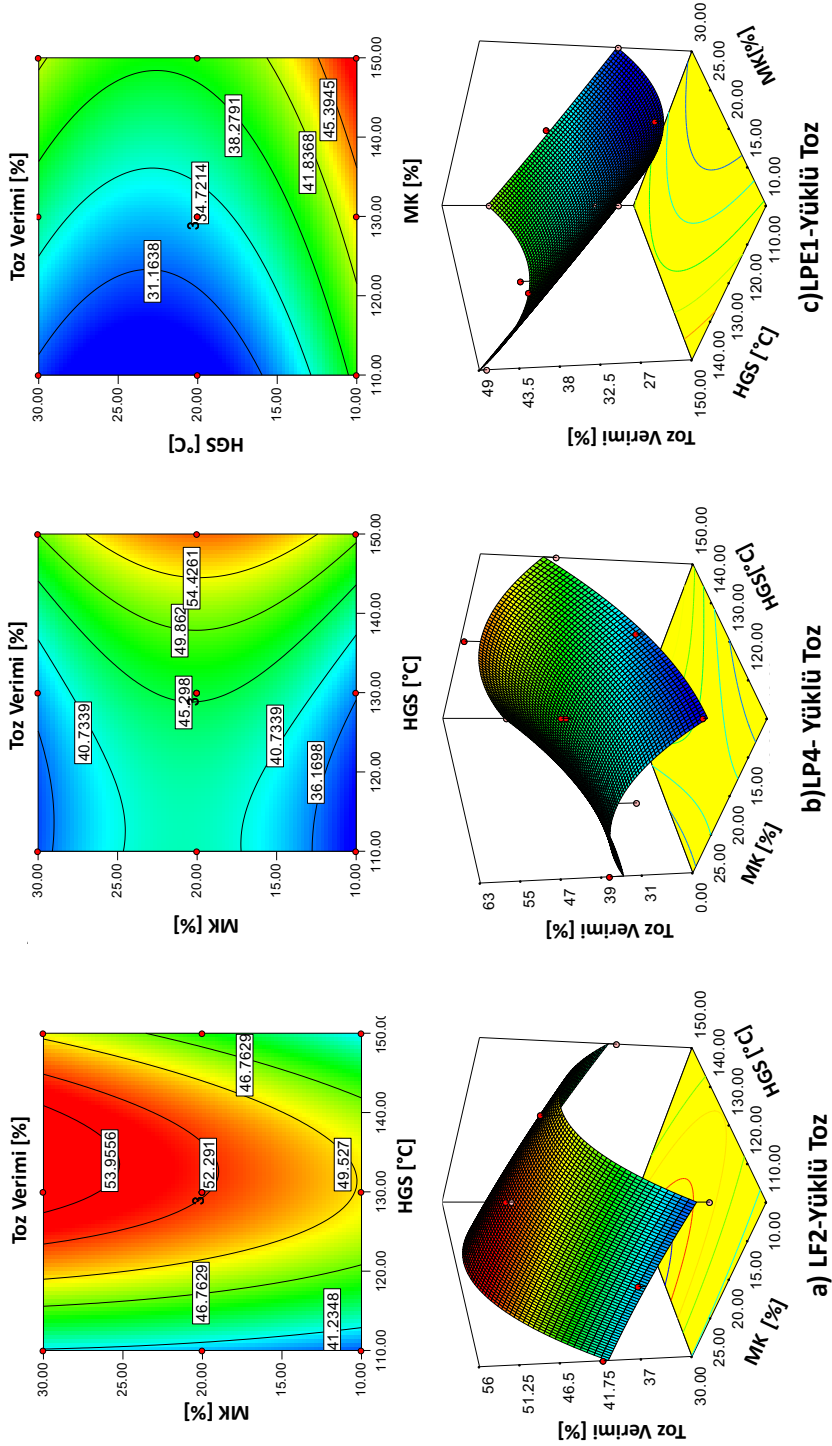
*LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B, her faktör seviyesi kombinasyonu ile ilişkili hesaplanan yanıt; X1, MK; maltodekstrin konsantrasyonu (%); X2, HGS; giriş hava sıcaklığı (°C); R², belirleme katsayısı; R²-Adj, düzeltilmiş belirleme katsayısı; CV, varyasyon katsayısı; AP, yeterli kesinlik.

Tablo 4.10; LF2, LP4 ve LPE1'in toz verimi için determinasyon katsayısını (R^2), düzeltilmiş determinasyon katsayısını (R^2 -Adj), varyasyon katsayısını (C.V, %) ve yeterlilik hassasiyetini (AP) göstermektedir. Yüksek F değerleri, düşük önemli p değerleri ($p < 0,05$), önemsiz uyum eksikliği değerleri ($p > 0,05$), %10'un altında C.V değerleri, 4'ten büyük AP değerleri, yüksek R^2 ve yüksek R^2 -Adj değeriyle seçilen modelin istatistiksel anlamlılığı ve kesinliği onaylanmıştır [7]. Uygulanan modellere göre determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla LF2 için; 0,96, LP4 için; 0,93, LPE1 için; 0,97 olarak bulunmuştur. Bu sonuç LF2 için; toplam varyasyonun %96' sının bu modelle açıklanabileceğini sadece %4'ünün tanımlanamayacağını, LP4 için; %93'ünün bu modelle açıklanabileceğini sadece %7'sinin tanımlanamayacağını, LPE1 içinse; %97'sinin bu modelle açıklanabileceğini sadece %3'ünün tanımlanamayacağını göstermektedir.

LF2, LP4 ve LPE1 yüklü enkapsüle bakteri içeren tozların; toz verimi değerleri hesaplanan değişkenlerin ana bileşenleri (X_1 , X_2), bileşen etkileşimi ($X_1 \cdot X_2$) ve ikinci dereceden (X_1^2 , X_2^2) etkileri için Design Expert yazılımı ile ikinci dereceden (kuadratik; karesel) regresyon denklemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Elde edilen denklemlerin negatif katsayıları, LF2, LP4 ve LPE1 yüklü mikrokapsüllerin üretim verimi üzerindeki değişkenler arasındaki antagonistik etkileri gösterirken, pozitif katsayılar sinerjistik etkileri göstermiştir [7]. LF2 yüklü tozun verimine ilişkin varyans sonuçlarının analizi, MK (X_1), HGS (X_2) ve MK'nın ikinci dereceden teriminin (X_1^2) anlamlı olduğunu ortaya çıkarmıştır ($p < 0,05$). Ayrıca, tahmin edilen model denklemleri (Tablo 4.10) (önemli model terimleri kaydedilmiştir), HGS' nin LF2 yüklü tozun verimi üzerinde en etkili faktörler (+ 6,26096) olduğunun bulunduğunu göstermiştir. Diğer önemli parametrelerin (X_1 ve X_2^2), LF2 yüklü mikrokapsüllerin toz verimi üzerinde olumsuz etkileri gözlenmiştir. Ayrıca LP4 yüklü toz için model denklemlerine göre (Tablo 4.10), hem HGS (X_2) hem de MK' nın ikinci dereceden terimi (X_1^2) toz verimi üzerinde olumsuz etki göstermiştir. Geriye kalan faktörler, LP4 yüklü tozun verimi üzerinde önemli olmayan etkiler sergilemiştir. LPE1 yüklü toz için ANOVA sonuçlarına dayanarak, MK' nın doğrusal teriminin (X_1), HGS' nin doğrusal teriminin (X_2) ve MK' 'nın ikinci dereceden teriminin (X_1^2) anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır ($p < 0,05$). MK' nın doğrusal terimi, LPE1 yüklü tozun verimi üzerinde sinerjistik etkilere sahipken,

HGS' nin doğrusal terimi ve MK' nin ikinci derece teriminin antogonistik etkilere sahip olduğu görülmüştür.

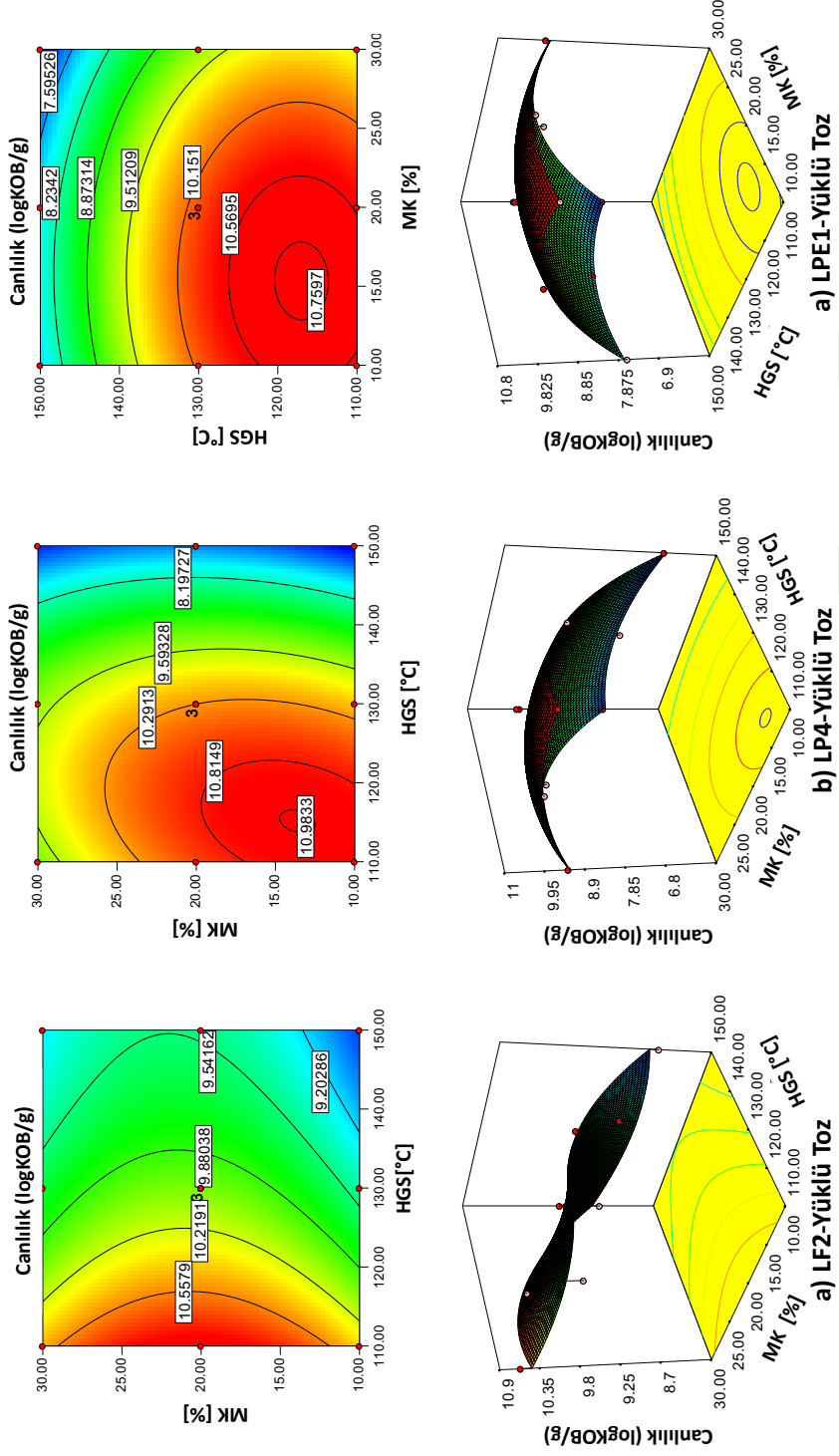
HGS (°C) ve MK' nin (%) bir fonksiyonu olarak LF2, LP4 ve LPE1 yüklü mikrokapsüller için toz verimi yanıtlarının üç boyutlu yüzey grafikleri ve iki boyutlu kontur grafikleri, sırasıyla; Şekil 4.1a, b ve c'de sunulmaktadır. Şekil 4.1a'da gösterildiği gibi, LF2 yüklü tozun, toz verimi (%), MK %10'dan %30'a arttığında önemli ölçüde artmıştır ancak; hava giriş sıcaklığının ~135 °C'den 150 °C'ye artmasıyla ters yönde eğilim göstermiştir. Maltodekstrin kullanılarak gıda bileşenlerinin camsı geçiş sıcaklığının yükseltilmesi ile, tozun yapışkanlık probleminin giderilebildiği ve toz veriminin artırılabilirdiği rapor edilmiştir [108]. Şekil 4.1b'de görülebileceği gibi, artan hava giriş sıcaklığı ve ~%20'ye kadar maltodekstrin konsantrasyonu, LP4 yüklü tozun üretim verimi (%) üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Şekil 4.1c'ye göre artan HGS ile LPE1 yüklü tozun üretim veriminde kademeli bir artış belirlenmiştir ancak bu eğilim ~%20'ye kadar MK'dan olumsuz etkilenmiş ve bu konsantrasyon seviyesinden sonra artmaya başlamıştır.



Şekil 4.1 Maltodekstrin konsantrasyonu (MK) (%) ve hava giriş sıcaklığının (HGS) (°C) a) *Limosilactobacillus fermentum* SH10 (LP2-yüklü toz), b) *Lactiplantibacillus plantarum* SH11 (LP4-yüklü toz) ve c) *Lactiplantibacillus pentosus* G4B (LP2-yüklü toz) toz verimi (%) üzerindeki etkilerini gösteren kontur ve üç boyutlu yanıt yüzeyi grafiklerinin gösterimi

LF2, LP4 ve LPE1 yüklü tozların canlılığı (%) ile farklı HGS (°C) seviyeleri ve MK (%) arasındaki ilişki, Şekil 4.2a, b ve c' deki 2D konturlar ve 3D grafiklerle gösterilmiştir. Bu grafikler sayesinde bağımsız değişkenlere göre canlılığın nasıl değiştiği açık bir şekilde değerlendirilebilmektedir.

Şekil 4.2a grafiğinden, LF2 yüklü tozun canlılık değerlerinin, HGS 'nin 150°C'den 110°C'ye düşmesiyle ve maltodekstrin konsantrasyonunun ~%25'e kadar artmasıyla arttığını açıkça görülebilmektedir. Şekil 4.2b, düşük HGS ve MK'da daha yüksek canlılık değerlerini göstermiştir; HGS'de ~ 130 °C ve MK'da ~ %20'lik maksimum değere ulaşmaktadır. Şekil 4.2c'de görülebileceği gibi, HGS' nin ~130 °C'ye kadar ve MK' nın ~%25'e kadar artması, LPE1 yüklü tozun canlılık değerlerinde önemli bir artışa neden olabilmektedir. Belirtilen değerlerin aşılması durumunda, kapsülleme etkinliğinin azalması nedeniyle probiyotik bakterinin canlı kalması etkilenebilmektedir. Ayrıca püskürtmeli kurutma işlemi sırasında hücre içi maddelerin sızıntısı nedeniyle oluşan hücresel gözenekler yüksek sıcaklıklardan etkilenebilmektedir [111]. Probiyotikler 85-90 °C'nin altındaki çıkış sıcaklıklarında hayatta kalabilirler, probiyotik süspansiyonların atomizasyon koşulları ve kurutma havası sıcaklıkları ozmotik, mekanik, ısı ve oksidatif streslere yol açtığından, daha yüksek sıcaklıklar canlılığın ve aktivitenin azalmasına neden olmaktadır [114], [115], [116]. Ayrıca, probiyotik bakterilerin sitoplazmik membranı, hücre duvarları, DNA ve RNA'sı püskürtmeli kurutma işleminden etkilenebilmekte, bu da daha düşük metabolik aktiviteye ve hücre inaktivasyonuna yol açabilmektedir [117]. Öte yandan, genel olarak kuru madde içeriğinin artması, kaplama çözeltisinin viskozitesinin artmasına neden olmaktadır ve daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi bu durum damlacık boyutlarının büyük olmasına sebep olmaktadır [114].



Şekil 4.2 Maltodekstrin konsantrasyonu (MK) (%) ve hava giriş sıcaklığının (HGS) (°C) a) *Limosilactobacillus fermentum* SH10 (LP2-yüklü toz), b) *Lactiplantibacillus plantarum* SH11 (LP4-yüklü toz) ve c) *Lactiplantibacillus pentosus* G4B (LP1-yüklü toz) canlılık (%) üzerindeki etkilerini gösteren kontur ve üç boyutlu yanıt yüzeyi grafiklerinin gösterimi

4.2.4 DMKDT karesel modelin tahmini ve doğrulanması

DMKDT’de tahmin edilen karesel modelde maksimum sonuçların elde edilebilmesi için bağımsız değişken değerleri belirlenmiştir. Bu işleme koşullarında tahmin edilen sonuçlar ve elde edilen gerçek sonuçlar Tablo 4.11’de verilmiştir. LF2 yüklü toz için maksimum toz verimi (%50,97) ve maksimum canlılığın (10,27 log KOB/g) tahmin edilen seviyeleri: 123,21 °C HGS ve %22,76 MK olarak bulunmuştur. LP4 yüklü toz için maksimum toz verimi (%45,89) ve maksimum canlılık (10,27 log KOB/g) tahmin edilen seviyeleri: 130,37 °C' lik HGS ve %19,49'luk MK olarak bulunmuştur. Ayrıca LPE1 yüklü toz için maksimum toz verimi (%43,38) ve canlılık (10,33 log KOB/g) için en uygun koşullar 127,94 °C HGS ve %10,00 MK olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.11 LF2, LP4 ve LPE1 bakterilerini içeren enkapsüle tozların üretim modelinin doğrulanması

Bakteriler	Verim (%)		Canlılık (log KOB g)	
	Modelde tahmin edilen sonuçlar	Elde edilen gerçek sonuçlar	Modelde tahmin edilen sonuçlar	Elde edilen gerçek sonuçlar
LF2	50,97 ^a	49,19±2,92 ^a	10,27 ^a	10,31±0,05 ^a
LP4	45,89 ^a	44,75±1,41 ^a	10,27 ^a	10,22±0,10 ^a
LPE1	43,38 ^a	42,10±1,49 ^a	10,33 ^a	10,43±0,11 ^a

*Aynı satırdaki farklı küçük harfler aynı örnek için tahmin edilen ve gerçek sonuç arasındaki farkı göstermektedir (p<0,05).

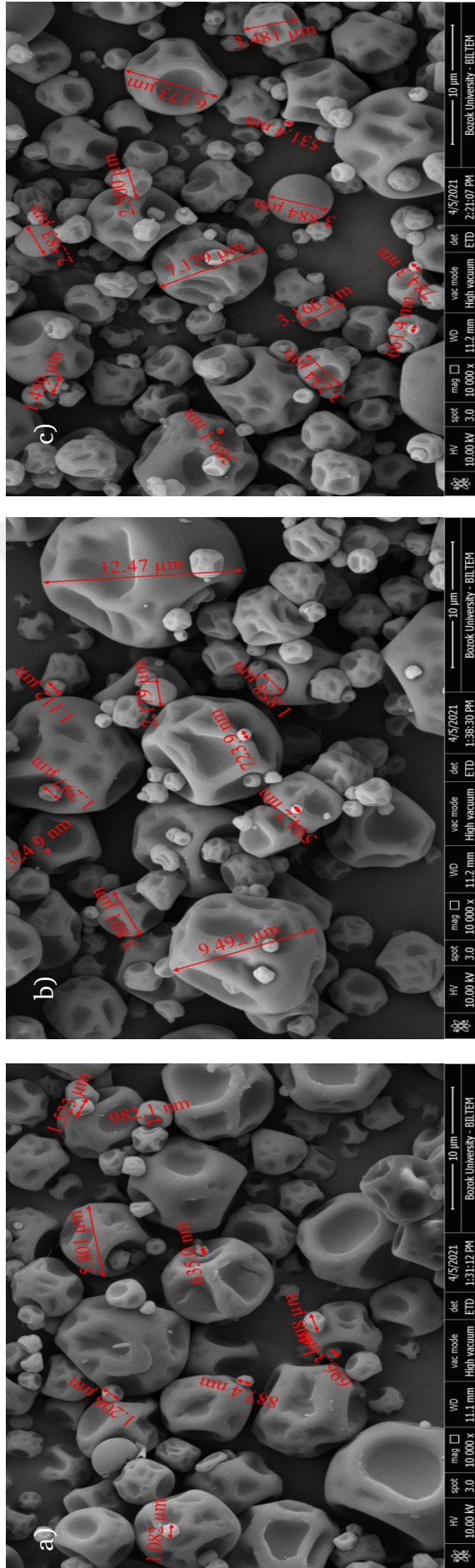
Modelde elde edilen gerçek sonuçlara göre LF2, LP4 ve LPE1 yüklü tozlar için sırasıyla maksimum toz verimi değerleri; %49,19, %4,75 ve %42,10 olarak bulunurken, maksimum canlılık değerleri ise sırasıyla 10,31 log KOB/g, 10,22 log KOB/g, 10,43 log KOB/g olarak belirlenmiştir. Gerçek değerlerle tahmin edilen değerlerin istatistiksel olarak fark olmadığı ve modelin doğrulandığı gözlemlenmiştir (Tablo 4.11) (p<0,05).

4.3 Optimum koşullarda üretilen bakteri yüklü tozların boyut ve morfolojiler

Optimum koşullarda üretilen LF2, LP4 ve LPE1 yüklü tozların morfolojik yapılarının gözlemlenebilmesi ve partikül boyut çaplarının belirlenmesi amacıyla SEM görüntüleri değerlendirilmiştir. Püskürtülerek kurutulan numuneler arasında en yüksek parçacık boyutu çapına sahip olan tozun ortalama $8,22 \pm 1,90 \mu\text{m}$

parçacık boyutu çapıyla; LP4 yüklü toz olduğu ardından $7,16 \pm 1,95 \mu\text{m}$ parçacık boyutu çapıyla; LF2 yüklü tozların geldiği ve $6,11 \pm 0,72 \mu\text{m}$ çapı ile en düşük partikül boyutuna; LPE1 yüklü tozların sahip olduğu gözlemlenmiştir. Püskürterek kurutulmuş LPE1 yüklü tozların formülasyonundaki katı kütlenin diğer örneklerden düşük olmasının daha düşük boyutta partikül oluşumuna neden olduğu söylenebilir. Bu durum, Li Ling vd. (2022) tarafından elde edilen bulguları da desteklemektedir [118]. Buna ek olarak Ilha vd. (2015), oluşan partikül boyutunun, kurutucuya beslenen çözeltinin toplam katı madde, viskozite gibi özelliklerine ve püskürtme memesi tipi, atomizasyon basıncı gibi püskürterek kurutma koşullarından etkilendiğini belirtmişlerdir [110]. Bu çalışmada da partikül boyutu beslemede kullanılan maltodekstrin miktarı ve besleme sıcaklık farkıyla değişkenlik göstermiştir.

LF2, LP4 ve LPE1 yüklü tozların SEM (10.000X büyütme) ile mikrografları sırasıyla Şekil 4.3a, Şekil 4.3b ve Şekil 4.3c 'de gösterilmiştir



Şekil 4.3 Püskürtülerek kurutulmuş; a): *Limosilactobacillus fermentum* SH10 suşu (LF2 yüklü toz), b): *Lactiplantibacillus fermentum* SH11 suşu (LP4 yüklü toz) ve c): *Lactobacillus pentosus* G4B suşu (LPE1 yüklü toz) mikrokapsüllerinin optimum koşullarda (10.000X büyütmeye) SEM görüntüleri

SEM görüntüleri mikrokapsül oluşumunun tipik küresel şekilde olduğunu doğrulamaktadır. Görüntülere göre atomize edilen ürünlerin yüzeyinde içbükeyliklerin olduğu açıkça görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar önceki çalışmalardaki SEM görüntüleriyle uyumludur [110], [114], [119]. Bustamante vd. (2020) çalışmalarında püskürterek kurutmada sıcaklık arttıkça daha hızlı buharlaşma sonucu parçacıkların büzülmesi ile mikrokapsüllerin yüzeyinde içbükeyliklerin oluştuğunu bildirilmiş bildirilmiştir [114]. İçbükeyliklerin oluşumu İlha vd. (2015) ve Lian (2002) tarafından "düz top etkisi" olarak adlandırılmış ve bu durumun taşıyıcı türlerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği rapor edilmiştir [51], [110]. Ek olarak, dış yüzeylerde herhangi bir çatlak veya kırılma belirtisi görülmemiştir; bu da kapsüllerin iyi yapısal bütünlükte ve iyi kapsülleme performansına sahip olduğunu, bunun yanı sıra oksijen ve su buharı açısından daha yüksek koruyucu davranış gösterdiğini açıklamaktadır [120].

4.4 Kayısı ve Kayısı Püresinin Fizikokimyasal Özellikleri

Kayısı ve kayısı püresinin fizikokimyasal analiz sonuçları, renk özellikleri ve şeker içeriği Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12 Kayısı ve kayısı püresinin kuru madde (%), kül (%), pH, titrasyon asitliği (% malik asit), toplam suda çözünebilir kuru madde (% brik), renk özellikleri ve şeker içeriği

Parametreler	Kayısı	Kayısı Püresi
Toplam kuru madde (%)	19,96 ± 0,01 ^b	20,85 ± 0,10 ^a
Kül (%)	1,39 ± 0,06 ^a	1,40 ± 0,10 ^a
pH	5,12 ± 0,01 ^a	4,83 ± 0,00 ^b
Titrasyon asitliği (% malik asit)	0,44 ± 0,00 ^b	0,45 ± 0,00 ^a
Toplam suda çözünebilir kuru madde (% brik)	21,00 ± 0,00 ^b	23,00 ± 0,00 ^a
<i>L</i> *	34,36 ± 0,23 ^b	40,02 ± 0,67 ^a
<i>a</i> *	6,94 ± 1,35 ^a	5,46 ± 0,58 ^a
<i>b</i> *	13,42 ± 4,23 ^b	25,46 ± 1,53 ^a
Fruktoz (%)	0,69±0,03 ^b	0,80±0,08 ^a
Glukoz (%)	1,56±0,22 ^b	2,90±0,31 ^a
Sükroz (%)	3,05±0,19 ^a	2,18±0,11 ^b

**L* *, açıklık (100, beyaz; 0, siyah); *a* *, kırmızılık (-, yeşil; +, kırmızı); *b* *, sarılık (-, mavi; +, sarı).

*Aynı satırdaki farklı küçük harfler örnekler arasındaki farkı göstermektedir (p<0,05).

Sonuçlar kayısı püresinin taze kayısıya (%19,96) kıyasla daha yüksek bir toplam kuru madde seviyesine (%20,85) sahip olduğunu göstermiştir. Bu bulgular Yıldız (1994) ile Ali vd. (2011) tarafından elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir [121], [122]. Ayrıca, kayısının kül içeriği kayısı püresiyle istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır ($p < 0,05$). Kayısının pH değeri 5,12 iken kayısı püresi 4,83 gibi daha düşük bir pH değeri sergilemiştir. Bu bulgular, Akın vd. (2008) tarafından yapılan çalışmayla uyumlu olarak bulunmuştur [123]. Ayrıca kayısı püresinin % malik asit olarak belirlenen titre edilebilir asitliği (%0,45) taze kayısıya (%0,44) göre daha yüksektir; bu da Ali vd.'nin (2011) sonuçlarını desteklemektedir [122]. Çözünür katı madde içeriği de daha önce Akın vd. (2008) tarafından bildirildiği gibi pürede (%23,00) taze kayısıya (%21,00) kıyasla daha yüksek bulunmuştur [123]. Taze kayısının L^* değeri (34,36), pürenin L^* değerinden (40,02) düşüktür. Bu da pürenin taze kayısından daha parlak ve açık bir görünüme sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca taze kayısının, püreden daha fazla kırmızılık (a^*) ve daha az sarılık (b^*) değerlerine sahip olduğu görülmüştür. İndirgen şekerler açısından, kayısı püresinde glikoz %2,90 ile baskın şekerken, bunu %2,18 sükroz ve %0,80 ile fruktoz izlemiştir. Taze kayısı için, en yüksek içeriğe sahip şeker %3,05 ile sükroz iken bunu %1,56 glukoz, %0,69 ile fruktoz izlemiştir. Bu sonuçlar Demirtaş vd.'nin (2020) bulgularıyla uyumlu olarak bulunmuştur [124]. Sükroz oranındaki azalış ayrıca fruktoz ve glukoz oranındaki artış pürenin eldesi sırasındaki sıcaklık uygulamasının şekerlerin parçalanmasıyla ilişkilendirilebileceğini açıklamaktadır.

4.5 Enkapsüle Probiyotik Bakteri ve Serbest Bakteri İlavesinin Kayısı Pestilinin Özelliklerine Etkisi

Enkapsüle probiyotik bakteri ve serbest bakteri ilaveli pestiller, bakteri içermeyen kontrol örneğiyle beraber 120 gün boyunca depolanmış ve fizikokimyasal, mikrobiyolojik, biyoaktif ve duyuşal özellikleri bakımından incelenmiştir.

4.5.1 Kayısı Pestillerinin Fizikokimyasal Özellikleri

Pestil örneklerinin (Kontrol, LF2-SB, LF2-EB, LP4-SB, LP4-EB, LPE1-SB, LPE1-EB) fizikokimyasal özellikleri Tablo 4.13'te verilmiştir. Pestillerin su aktivitesi (a_w), nem (%) ve pH özellikleri 120 günlük depolama boyunca incelenmiştir.

Tablo 4. 13 Pestil örneklerinin fizikokimyasal özelliklerinin 120 günlük depolama boyunca değişimi

Parametreler	Örnek Adı	Depolama Süresi				
		0.gün	30.gün	60. gün	90.gün	120.gün
Su aktivitesi (a _w)	Kontrol	0,37 ±0,00 ^{Fa}	0,36 ±0,00 ^{Ea}	0,35 ±0,00 ^{Db}	0,34 ±0,00 ^{Fc}	0,31 ±0,01 ^{Ed}
	LF2-SB	0,39±0,00 ^{DEa}	0,37 ±0,00 ^{Cb}	0,36 ±0,03 ^{Dcd}	0,37 ±0,00 ^{Cbc}	0,36 ±0,00 ^{Bd}
	LF2-EB	0,44 ±0,03 ^{Ba}	0,38 ±0,01 ^{Bb}	0,37 ±0,00 ^{Cc}	0,36 ±0,00 ^{Dd}	0,35 ±0,01 ^{BCd}
	LP4-SB	0,38 ±0,00 ^{EFa}	0,38 ±0,00 ^{Ba}	0,36 ±0,00 ^{Ebc}	0,36 ±0,00 ^{Eb}	0,35 ±0,00 ^{BCc}
	LP4-EB	0,43 ±0,05 ^{Ca}	0,37 ±0,00 ^{CDDb}	0,37 ±0,00 ^{Db}	0,35 ±0,03 ^{Ec}	0,35 ±0,01 ^{Cd}
	LPE1-SB	0,39 ±0,00 ^{Da}	0,38 ±0,00 ^{Bbc}	0,38 ±0,00 ^{Bb}	0,37 ±0,00 ^{Bbc}	0,37 ±0,00 ^{Ac}
	LPE1-EB	0,45 ±0,01 ^{Aa}	0,39 ±0,00 ^{Abc}	0,39 ±0,00 ^{Ab}	0,38 ±0,00 ^{Abc}	0,38 ±0,00 ^{Ac}
Nem (%)	Kontrol	13,40 ± 0,14 ^{Aa}	12,14 ± 0,55 ^{Ab}	8,96 ± 0,06 ^{Cc}	8,40±0,18 ^{Ccd}	8,05 ± 0,09 ^{Bd}
	LF2-SB	11,75 ± 0,22 ^{CDa}	10,95 ± 0,07 ^{BCb}	9,80 ± 0,20 ^{Bc}	9,74±0,23 ^{Ac}	9,71 ± 0,38 ^{Ac}
	LF2-EB	12,28 ± 0,27 ^{BCa}	11,60 ±0,36 ^{ABb}	10,36 ± 0,08 ^{Ac}	10,00±0,12 ^{AcD}	9,60 ± 0,05 ^{Ad}
	LP4-SB	10,79 ± 0,35 ^{Da}	9,99 ± 0,41 ^{Cab}	8,55 ± 0,40 ^{Cc}	8,78±0,47 ^{BCc}	9,10 ± 0,12 ^{Bbc}
	LP4-EB	12,00 ± 0,19 ^{BcA}	11,39 ± 0,26 ^{ABb}	8,93 ± 0,08 ^{Cc}	8,48±0,33 ^{Ccd}	8,30 ± 0,06 ^{Bd}
	LPE1-SB	11,89 ± 0,45 ^{BCa}	10,71 ± 0,32 ^{BCb}	9,81 ± 0,27 ^{Bc}	9,47±0,22 ^{ABc}	9,34 ± 0,04 ^{Ac}
	LPE1-EB	12,88 ± 0,49 ^{ABa}	11,63 ± 0,49 ^{ABb}	9,91 ± 0,08 ^{Bc}	9,55±0,11 ^{AcD}	8,93 ± 0,04 ^{Ad}
pH	Kontrol	4,74 ±0,05 ^{Dd}	4,87±0,01 ^{BCc}	4,92±0,02 ^{Ab}	4,96±0,01 ^{Aab}	4,97±0,01 ^{Aa}
	LF2-SB	4,92±0,00 ^{ABa}	4,83±0,01 ^{Dc}	4,92±0,02 ^{Aa}	4,90±0,01 ^{Ca}	4,88±0,00 ^{Bb}
	LF2-EB	4,90±0,01 ^{ABa}	4,86±0,03 ^{BCb}	4,88±0,01 ^{Bb}	4,86±0,01 ^{Db}	4,81±0,02 ^{Cc}
	LP4-SB	4,93±0,01 ^{Aa}	4,85±0,01 ^{Cc}	4,93±0,03 ^{Aa}	4,93±0,01 ^{Ba}	4,90±0,00 ^{Bb}
	LP4-EB	4,90±0,01 ^{ABa}	4,88±0,01 ^{Bb}	4,87±0,03 ^{Bb}	4,81±0,02 ^{Ec}	4,80±0,00 ^{Cc}
	LPE1-SB	4,90±0,00 ^{Bbc}	4,92±0,01 ^{Ab}	4,87±0,01 ^{Bc}	4,95±0,01 ^{Aa}	4,81±0,03 ^{Cd}
	LPE1-EB	4,79±0,01 ^{Cab}	4,81±0,02 ^{Da}	4,81±0,01 ^{Ca}	4,82±0,01 ^{Ea}	4,76±0,03 ^{Db}

*A_w; su aktivitesi, SB, serbest bakteri; EB, enkasüle bakteri; kontrol, serbest veya enkasüle bakteri içermeyen pestil; LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B. Belirtilen analiz için numuneler arasındaki farklar, aynı sütunda farklı büyük harflerle, p<0,05 anlamlılık düzeyiyle temsil edilir. Aynı satırdaki farklı küçük harfler aynı örneğin depolama günleri arasındaki farkı göstermektedir (p<0,05).

4.5.1.1 Pestillerin su aktivitesi (aw) değerleri

Gıda maddelerindeki aw'nin belirlenmesi, mikrobiyal çoğalma için mevcut su içeriğini anlamak açısından çok önemlidir [125]. Genel olarak düşük aw ($<0,60$), daha uzun raf ömrü anlamına gelmektedir [125]. Pestillerin aw değerlerinin 120 günlük depolama süresinde 0,31 ile 0,45 arasında olduğu (Tablo 4.13) ve örnekler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Bu bulgular da Silva-Simão vd.'nin (2018) çalışmasında ürettikleri pestil örneklerinin aw değerleriyle (0.42-0.46) benzerlik göstermektedir [126]. Depolama süresi arttıkça aw' de bir azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Kontrol örneklerinin, diğer örneklerle karşılaştırıldığında daha düşük aw değerlerine sahip olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Probiyotik katkılı pestil örnekleri incelendiğinde 0. günde serbest bakteri içeren örneklerin aw' sinin enkapsüle bakteri ile zenginleştirilen örneklere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. 60. güne kadar aw' nin enkapsüle LF2 bakterisiyle zenginleştirilmiş pestillerde, serbest LF2 ile zenginleştirilmiş olanlara göre daha yüksek olduğu görülürken, 90. ve 120. günlerde serbest bakteri ile zenginleştirilmiş örneklerde daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. LP4 içeren pestillerde; 0. günde aw değerleri enkapsüle formda bakteri içerenlerde daha yüksek bulunurken depolamanın sonlarında LP4-EB ve LP4-SB pestillerinde eşit seviyelere ulaşmıştır ($p>0,05$). LPE1 eklenen pestil örneklerinde depolama süresi boyunca serbest bakteri eklenen örneklerin aw'sinin enkapsüle bakteri eklenen örneklere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($p>0,05$).

4.5.1.2 Kayısı Pestillerinin nem değerleri

Su içeriği; uzun süreli depolamada, probiyotiklerin canlılık oranını etkileyen ve pestillerin ağızda çözünmesini kolaylaştıran kritik bir faktördür. Pestillerin nem değerleri 0. günde en yüksek iken depolamanın 120. gününde en düşük seviyeye ulaşmıştır. Pestillerin nem içeriği depolama süresi boyunca %8,05-13,40 arasında önemli düzeyde değişiklik göstermiştir (Tablo 4.13) ($p<0,05$). Pestillerin depolama boyunca gösterdiği nem değerlerinde görülen değişim sonuçları Yüksel vd. (2022) tarafından elde edilen bulgularla uyumluluk göstermiştir [22]. Suna vd. (2014); kayısı pestilinde yaptıkları çalışmada nem miktarını $\%14,39\pm0,41$ olduğunu bildirmişlerdir[127]. Ekşi ve Artık çalışmalarında kayısı pestilinin nem içeriğinin

17,3(%) olduğunu belirtmişlerdir [128]. Değerlerin %20' nin altında olması nedeniyle Türk Standartları Enstitüsü'nün 2023' de yenilediği TS 12679 numaralı kayısı pestili kriterlerine uygun olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca da-Silva-Simão vd. (2018), mikrobiyal gelişmeyi ve diğer bozulmaya neden olan reaksiyonları önlemek için pestillerin nem içeriğinin %15'in altında olması gerektiğini belirtmiştir [126]. Kontrol pestilleri 0. günde numuneler arasında en yüksek nem seviyesine sahipken, depolama sonunda en düşük nem seviyesine ulaşmıştır. 0. günde kontrol pestillerinin diğer pestillerden daha yüksek nem içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Depolama süresi sonunda kontrol numunesinin nem yüzdesinin diğer probiyotik ilaveli numunelere göre en düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu da kontrol pestillerinin depolamada diğer örneklerle göre daha fazla nem kaybettiğini göstermektedir. Genel olarak depolama sonunda en yüksek nem yüzdesi serbest LF2 içeren örneklerde bulunmuştur. Bakterilerin serbest formda eklenmesi nem seviyesinin en yüksek seviyede kalmasına neden olmuştur. Serbest veya kapsüllenmiş olmasına bakılmaksızın probiyotiklerin varlığı, pestil matrisi ile etkileşimi teşvik ederek hidrofilik maddelerin azalmasına neden olmaktadır [129]. 0. ve 60. gün ölçümleri karşılaştırıldığında, EB ile zenginleştirilen pestiller, SB ile zenginleştirilenlere göre daha yüksek nem içeriği göstermiştir. Bu olay, kaplama malzemesi olarak kullanılan maltodekstrinin su tutma özelliğine bağlanabilir.

4.5.1.3 Kayısı Pestillerinin pH değerleri

Meyve posası, suyu, içeriğindeki maddeler ve işleme koşulları pestillerin pH'ını etkileyen çeşitli faktörlerdir [130]. Pestillerin pH değerleri, 120 günlük depolama boyunca 4,74 ila 4,97 arasında değişmiştir ($p<0,05$) (Tablo 4.13). Bu sonuçlar da-Silva-Simão ve ark. (2019)'in bulgularına göre farklılık göstermiştir [126]. 0. günde, kontrol pestilinin, SB veya EB ilaveli diğer pestillerle karşılaştırıldığında belirgin şekilde daha düşük bir pH' a ($p<0,05$) sahip olduğu görülmektedir. Depolama sırasında pH değerleri değişkenlik göstermiştir. Depolama sonunda EB katkılı pestillerin pH değerleri genel olarak SB formlarından daha düşük olmuş ve depolama sonunda en düşük pH LPE1-EB pestil örneğinde görülmüştür. Kontrol örneğinin pH' ı artarken, zenginleştirilmiş pestillerin pH'ı bir miktar azalmıştır. Bu durum, pestildeki probiyotiklerin, karbonhidratları organik asit üretmek için

substrat olarak kullanmasıyla ilişkilendirilebilir. PH değerlerindeki benzer değişimler Irwandi vd. (1998) tarafından da kaydedilmiştir; çalışmada durian meyve pestilleri için depolama sırasında pH dalgalanmalarını ve depolama sonunda hafif bir pH artışı olduğunu bildirmişlerdir [131]

4.5.1.4 Kayısı Pestillerinin şeker içeriği

Pestil örneklerinin 0. güne ait şeker içerikleri; fruktoz, glukoz, sükroz ve maltoz olarak Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14 Pestil örneklerinin şeker içeriği

Örnekler	Fruktoz	Glukoz	Sükroz	Maltoz
Kontrol	8,69± 0,21 ^a	26,18±1,08 ^a	11,47±0,12 ^a	0,41±0,07 ^d
LF2-SB	7,10± 0,76 ^b	18,52±0,35 ^d	6,22±0,04 ^{cd}	1,37±0,12 ^c
LF2-EB	7,65±0,05 ^{ab}	20,83±0,61 ^{cd}	6,75±0,24 ^c	1,30±0,04 ^c
LP4-SB	8,46± 0,48 ^a	23,20±1,20 ^{bc}	7,77±0,16 ^b	2,53±0,11 ^a
LP4-EB	7,97± 0,17 ^{ab}	25,37±0,67 ^{ab}	11,35±0,15 ^a	2,41±0,18 ^a
LPE1-SB	7,08±0,74 ^b	18,56±1,24 ^d	6,00±0,42 ^d	1,71±0,11 ^b
LPE1-EB	7,89±0,09 ^{ab}	24,71±0,99 ^{ab}	10,90±0,10 ^a	1,40±0,13 ^{bc}

*SB; Serbest bakteri, EB; Enkapsüle bakteri, LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* XL64

*Aynı sütunda küçük harflerle gösterilen üstel ifadeler belirtilen şeker türünün miktarının örnekler arasındaki istatistiksel farkını belirtir (p<0,05).

Batu vd. (2007) dut, erik, kayısı ve üzüm pestilinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre; pestilde oranı %80,5-88,7 aralığında olan toplam kuru madde değerinin önemli bir kısmını şekerin oluşturduğunu belirtmiştir[132]. Bashir vd. yaptığı şeker ilavesiz pestillerle ilgili bir çalışmada yetiştirilmiş kayısılardan elde edilen kayısı pestillerinde toplam şeker oranını 33,55 mg/100mg olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da literatürle uyumlu olarak kayısı pestillerinin tümünde toplam şeker oranı 30- 47 mg/100mg aralığında bulunmuştur (Tablo 4.14). Fruktoz içeriği 8,69± 0,21 ve 8,46± 0,48 ile sırasıyla kontrol ve LP4-SB de en yüksek bulunmuştur. Glukoz içeriği en yüksek 26,18±1,08 değeri ile kontrol örneğinde bulunurken; maltoz içeriği 0,41± 0,07 değeri ile en düşük kontrol örneğinde bulunmuştur. SB içeren pestillerde aynı örneğin EB içeren pestiline göre glukoz daha düşük bulunmuştur (Tablo 4.14) (p<0,05).

4.5.1.5 Kayısı Pestillerinin renk (L^* , a^* , b^*) özellikleri

Probiyotik ilavesi, gıda matrisi, probiyotik canlılığı ve aşılama yöntemi gibi faktörler gıda ürününün renk özelliklerini etkilemektedir [133]. Pestillerin renk parametreleri Tablo 4.15 'de gösterilmiştir.



Tablo 4.15 Pestil örneklerinin renk özelliklerinin 120 günlük depolama boyunca değişimi

Renk Parametreleri	Örnek Adı	Depolama Süresi				
		0.gün	30.gün	60.gün	90.gün	120.gün
<i>L</i> *	Kontrol	67,42±1,49 ^{Aa}	62,46±2,27 ^{Aab}	58,98±0,40 ^{Cbc}	55,73±3,13 ^{CDe}	54,00±0,65 ^{De}
	LF2-SB	61,21±0,81 ^{Bab}	62,55±0,61 ^{Aa}	59,76±1,02 ^{ABCbc}	57,89±0,69 ^{BCDcd}	56,73±0,50 ^{Cd}
	LF2-EB	53,24±0,94 ^{Ca}	54,65±0,39 ^{Ba}	53,05±3,67 ^{Da}	53,68±3,04 ^{DEa}	51,87±1,14 ^{Ea}
	LP4-SB	64,40±0,24 ^{ABa}	63,49±0,53 ^{Aab}	62,30±0,23 ^{ABc}	62,67±0,53 ^{Abc}	62,65±0,83 ^{ABc}
	LP4-EB	61,51±4,19 ^{Ba}	61,69±0,07 ^{Aa}	59,38±0,27 ^{BCa}	60,01±0,96 ^{ABCa}	57,55±0,25 ^{BCa}
	LPE1-SB	59,87±1,69 ^{Bb}	60,44±0,21 ^{Aab}	62,61±0,71 ^{Aa}	60,51±0,51 ^{ABab}	58,87±0,49 ^{Bb}
	LPE1-EB	54,32±1,20 ^{Ca}	53,37±1,79 ^{Bab}	51,38±0,10 ^{Dbc}	50,18±0,16 ^{Ec}	49,93±0,50 ^{Fc}
	Kontrol	5,61±0,83 ^{Cc}	9,06±1,76 ^{BCb}	10,59±0,85 ^{ABab}	12,30±0,94 ^{ABCa}	11,57±0,18 ^{ABCab}
	LF2-SB	8,34±1,10 ^{ABCc}	10,35±0,40 ^{ABb}	10,31±0,87 ^{ABb}	12,64±0,60 ^{Aa}	12,77±0,03 ^{Aa}
	LF2-EB	10,90±1,14 ^{Aa}	12,75±0,94 ^{Aba}	11,24±1,85 ^{ABa}	12,34±2,21 ^{Aa}	12,92±1,22 ^{Aa}
<i>a</i> *	LP4-SB	7,47±0,20 ^{BCa}	9,57±1,53 ^{Aba}	9,56±0,96 ^{Ba}	7,99±2,22 ^{Ca}	8,82±0,53 ^{Ca}
	LP4-EB	7,34±1,55 ^{BCb}	8,13±1,58 ^{Bab}	9,53±0,20 ^{Bab}	9,18±0,35 ^{BCab}	9,81±0,43 ^{BCa}
	LPE1-SB	9,81±0,90 ^{ABa}	11,56±0,41 ^{Aba}	6,06±1,47 ^{Cb}	10,68±0,15 ^{Aba}	11,75±1,40 ^{ABa}
	LPE1-EB	10,02±1,43 ^{ABa}	15,18±5,13 ^{Aa}	12,16±0,84 ^{Aa}	11,60±1,33 ^{Aa}	12,92±2,00 ^{Aa}
	Kontrol	44,05±0,76 ^{Aa}	43,85±2,52 ^{Aa}	37,68±3,58 ^{Aab}	36,20±4,94 ^{ABab}	31,37±1,62 ^{Eb}
	LF2-SB	36,50±2,79 ^{ABb}	46,16±1,48 ^{Aa}	40,94±2,42 ^{Ab}	38,59±0,77 ^{Ab}	37,81±0,24 ^{Cb}
	LF2-EB	24,62±3,82 ^{Da}	30,56±1,07 ^{Ca}	28,06±4,99 ^{Ba}	29,53±4,60 ^{BCa}	27,27±1,31 ^{Fa}
	LP4-SB	42,09±0,71 ^{ABb}	45,54±0,24 ^{Aa}	41,08±3,35 ^{Ab}	41,66±0,82 ^{Ab}	43,21±0,49 ^{Aab}
	LP4-EB	36,43±6,26 ^{ABa}	39,42±0,36 ^{Ba}	36,12±1,98 ^{Aa}	36,76±1,33 ^{ABa}	34,06±0,27 ^{Da}
	LPE1-SB	34,11±3,34 ^{BCb}	39,25±0,34 ^{Ba}	39,93±0,28 ^{Aa}	42,77±1,68 ^{Aa}	40,26±0,59 ^{Ba}
<i>b</i> *	LPE1-EB	25,32±1,60 ^{CDa}	27,97±2,32 ^{Ca}	24,70±0,99 ^{Ba}	25,61±0,29 ^{Ca}	25,14±0,77 ^{Fa}
	Kontrol	0,00	6,05	11,69	15,59	19,40
	LF2-SB	10,15	7,12	9,51	13,04	14,30
	LF2-EB	24,63	19,90	22,22	21,09	24,02
	LP4-SB	4,05	5,77	7,12	5,83	5,81
	LP4-EB	9,80	7,79	11,95	10,99	14,66
	LPE1-SB	13,17	10,35	6,35	8,67	11,19
	LPE1-EB	23,28	23,40	25,97	25,94	26,78
	Kontrol	0,00	6,05	11,69	15,59	19,40
	LF2-SB	10,15	7,12	9,51	13,04	14,30
<i>ΔE</i> *	LF2-EB	24,63	19,90	22,22	21,09	24,02
	LP4-SB	4,05	5,77	7,12	5,83	5,81
	LP4-EB	9,80	7,79	11,95	10,99	14,66
	LPE1-SB	13,17	10,35	6,35	8,67	11,19
	LPE1-EB	23,28	23,40	25,97	25,94	26,78
	Kontrol	0,00	6,05	11,69	15,59	19,40
	LF2-SB	10,15	7,12	9,51	13,04	14,30
	LF2-EB	24,63	19,90	22,22	21,09	24,02
	LP4-SB	4,05	5,77	7,12	5,83	5,81
	LP4-EB	9,80	7,79	11,95	10,99	14,66

* *L**, açıklık (100, beyaz; 0, siyah); *a**, kırmızılık (-, yeşil; +, kırmızı); *b**, sarılık (-, mavi; +, sarı); SB, serbest bakteri; EB, enkapsüle bakteri; kontrol, serbest veya enkapsüle bakteri içermeyen pestil; LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B. Belirtilen analiz için numuneler arasındaki farklar, aynı sütunda farklı büyük harflerle, $p < 0,05$ anlamlılık düzeyiyle temsil edilir. Aynı satırdaki farklı küçük harfler aynı örneğin depolama günleri arasındaki farkı göstermektedir ($p < 0,05$).

L^* değerleri (açıklığını gösteren), formülasyona ve depolama süresine bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı farklılıklarla 49,93 ile 67,42 arasında değişmiştir (Tablo 4.14) ($p<0,05$). Kontrol ve LPE1-EB pestillerinde depolama süresince sürekli olarak L^* değerlerinde azalma gözlemlenmiştir (Tablo 4.15) ($p<0,05$). LF2-EB ve LP4-EB pestillerinde depolamada dalgalanmalar ve benzer bir eğilim gözlemlenmiştir. LF2-SB pestilleri için L^* değerleri 30. güne kadar önemli ölçüde artmış, daha sonra belirgin bir şekilde azalmıştır (Tablo 4.15) ($p<0,05$). LP4-SB pestillerinin L^* değerleri de değişkenlik göstermiş ancak başlangıç değerlerinden önemli ölçüde düşmüştür (Tablo 4.15) ($p<0,05$). LPE1-SB ile zenginleştirilmiş pestillerde 60. güne kadar L^* da anlamlı artış, 120. güne kadar ise anlamlı düşüş gözlemlenmiştir (Tablo 4.15) ($p<0,05$). Kontrol pestilleri, diğer pestillere kıyasla 0. günde önemli ölçüde daha yüksek L^* ve b^* değerleri ve daha düşük a^* değerleri göstermiştir (Tablo 4.15) ($p<0,05$). SB/EB'nin pestillere dahil edilmesi, L^* değerlerinde önemli bir düşüşe yol açmıştır ($p<0,05$), bu da SB/EB ilavesinden dolayı beyazlığın azaldığını göstermektedir. Renk farklılıkları aynı zamanda fenolik bileşiklere de ilişkilendirilebilir. SB'li pestiller, 120 günlük depolama sırasında EB'li pestillere göre daha koyu ve daha sarımsı olma eğilimi göstermiştir. Enkapsülasyonun depolama sırasında pestil renginin korunmasına etki ettiği görülmüştür. Depolama sonunda LPE1-SB pestilleri LPE1-EB pestillerine göre daha az kırmızılık (a^*) göstermiştir (Tablo 4.15) ($p<0,05$). Ayrıca LP4-SB pestillerinin kırmızılığı gösteren a^* değerleri 60. güne kadar LP4-EB pestillerine göre daha yüksek bulunmuştur (Tablo 4.15) ($p<0,05$). LF2-SB pestilleri 60. güne kadar LF2-EB-pestillerinden daha az kırmızılık göstermiş, 60. Günden sonra örneklerin kırmızılık değerlerinde birbirlerine kıyasla anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir (Tablo 4.15) ($p<0,05$). Depolama başında en yüksek sarılık değeri (b^*) kontrol örneğinde bulunmuşken, depolama sonunda kontrol örneğinde belirgin bir sarılık değeri düşüşü yaşanmış ve en yüksek sarılık değeri; depolama boyunca az bir sarılık değeri değişikliği gösteren LP4-SB pestillerinde gözlemlenmiştir. Örnekler arasındaki renk farklılıklarının nedeninin depolama sırasında nem içeriğindeki değişiklikler ve pestil yüzeylerindeki ışığın yansımaları olabileceği düşünülmektedir [134]. Hesaplanan toplam renk farklılığı (ΔE^*) değerleri 0,00 ile 26,78 arasında değişmektedir (Tablo 4.15). Kontrol ve LPE1-EB pestillerinde depolama sırasında ΔE^* değerlerinde önemli bir artış eğilimi gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Tüm pestiller 120. günde 0. güne kıyasla ΔE^* değerinde

önemli bir artış göstermiştir (Tablo 4.15) ($p<0,05$). Kontrol ve LPE1-EB pestilleri arasındaki renk farklılıkları, ΔE^* değerlerinin 3'ü aşması ($\Delta E^*> 3$) nedeniyle gözlemciler tarafından fark edilebilir niteliktedir [22], [135]. Li vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada LAB'lerin matrise eklenmesinden dolayı renk farklılıklarının ortaya çıkabileceği ifade edilmiştir [136].

4.5.2 Kayısı Pestillerinin Biyoaktif Özellikleri

Pestil örneklerinin (Kontrol, LF2-SB, LF2-EB, LP4-SB, LP4-EB, LPE1-SB, LPE1-EB) depolama boyunca toplam fenolik madde miktarı (TPC) (mg GAE/100g) ve DPPH (%) değerleri Tablo 4.16'da verilmiştir. Pestillerin TPC'leri 52,13-291,73 mg GAE/100g arasında değişmiştir ve depolama sırasında önemli değişiklikler gözlemlenmiştir (Tablo 4.16) ($p<0,05$). Tüm pestil örneklerinde TPC değeri 0. günde en yüksek seviyede iken, depolama boyunca hepsinde düşüş göstermiştir. Bu durumun sebebinin; fenolik bileşiklerin depolama süresince bozulması ve yapısal değişikliklere uğraması olduğu düşünülmektedir [137]. Yapılan çalışmalarda, ham madde çeşitliliği nedeniyle pestiller için farklı TPC bulguları ortaya koyulmuştur [130]. Depolama sonunda kontrol pestillerinde diğerlerine oranla daha düşük TPC değerleri gözlemlenmiştir. Bu durum, SB/EB ilavesiyle fenolik bileşik oksidasyonunun azalmasına ve ardından pestil matrisindeki oksijen geçirgenliğinin düşmesine bağlanabilir [126]. Pestillerin farklı depolama süreleri ve formülasyonları için DPPH radikal temizleme aktivitesi sonuçları Tablo 4.16'da sunulmuştur. Hem pestil formülasyonlarının hem de depolama sürelerinin DPPH radikal temizleme aktiviteleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Tontul ve Topuz' un (2017) çalışmalarıyla uyumlu olarak, pestillerde TPC ve DPPH radikal süpürme aktivitesi test sonuçları arasında pozitif korelasyonlar gözlemlenmiştir [130]. SB/EB'nin pestillere dahil edilmesinin, DPPH radikal temizleme aktivitelerini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Bu, SB/EB takviyesinin kayısı pestillerinde birincil bileşik bozulması ve serbest amino asitler, organik asitler, peptidler gibi ikincil bileşenlerin oluşumu nedeniyle moleküler değişikliklere neden olduğunu ve bunun da DPPH inhibisyon aktivitesinin artmasına yol açtığını göstermektedir [138]. Benzer şekilde da Silva-Simão vd. (2019) çalışmalarında, depolama süresi arttıkça pestillerin TPC ve antioksidan aktivitesinde azalma olduğunu belirtmiştir [126]. Tüm bu biyoaktif özellikler, pestil örneklerinin raf ömrünün uzatılması için önemli bir potansiyel olarak görülmektedir.

Tablo 4.16 Pestil örneklerinin TPC (mg GAE/100g) ve DPPH (%) radikal süpürme değerlerinin 120 günlük depolama boyunca değişimi

Parametreler	Örnek Adı	Depolama Süresi				
		0.gün	30.gün	60.gün	90.gün	120.gün
TPC (mg GAE/100g)	Kontrol	231,73±13,91 ^{Ca}	212,00±2,12 ^{DEb}	199,20±3,20 ^{BCb}	92,80±5,23 ^{BCc}	52,13±1,01 ^{Cd}
	LF2-SB	291,73±12,22 ^{Aa}	240,53±2,01 ^{ABb}	191,73±3,78 ^{Cc}	104,80±1,20 ^{Ad}	81,33±2,20 ^{Be}
	LF2-EB	274,40±6,93 ^{ABa}	234,93±15,02 ^{ABCb}	212,00±5,00 ^{ABc}	99,33±3,35 ^{ABd}	76,67±2,89 ^{Be}
	LP4-SB	239,20±6,84 ^{BCa}	219,73±4,89 ^{CDb}	209,33±4,55 ^{De}	84,40±1,74 ^{Cc}	73,33±3,63 ^{Be}
	LP4-EB	248,27±27,82 ^{BCa}	196,00±3,49 ^{Eb}	172,00±11,20 ^{Db}	88,93±3,72 ^{Cc}	73,87±5,33 ^{Be}
	LPE1-SB	274,93±10,00 ^{ABa}	243,47±6,42 ^{Ab}	216,27±2,01 ^{Ac}	103,47±4,03 ^{Ad}	101,33±4,41 ^{Ad}
	LPE1-EB	241,07±6,11 ^{BCa}	222,67±7,26 ^{BCDb}	213,33±6,21 ^{ABb}	100,47±0,50 ^{ABc}	82,40±1,06 ^{Bd}
	Kontrol	19,45±0,24 ^{Ba}	13,18±0,49 ^{De}	12,30±0,49 ^{ABc}	8,79±0,47 ^{Ac}	6,52±0,34 ^{Ad}
DPPH (%)	LF2-SB	21,16±0,14 ^{ABa}	16,50±0,37 ^{Ab}	15,43±0,96 ^{Ad}	12,28±0,19 ^{Ad}	7,29±0,49 ^{Ad}
	LF2-EB	21,67±0,23 ^{Aa}	16,38±0,23 ^{ABb}	15,80±1,32 ^{BCd}	12,41±0,38 ^{DEd}	7,34±0,08 ^{Ad}
	LP4-SB	20,12±0,59 ^{ABa}	13,85±0,38 ^{Db}	12,85±1,42 ^{ABd}	8,08±0,19 ^{Ed}	7,98±0,31 ^{Ad}
	LP4-EB	20,64±0,87 ^{ABa}	15,65±0,19 ^{BCb}	15,31±0,37 ^{ABc}	7,36±0,75 ^{BCc}	6,68±0,26 ^{Ad}
	LPE1-SB	21,19±0,24 ^{Aa}	16,32±0,21 ^{ABb}	15,37±0,76 ^{ABC}	9,40±0,35 ^{Bd}	6,52±0,32 ^{Ac}
	LPE1-EB	20,49±1,17 ^{ABa}	14,86±0,43 ^{Cb}	14,09±0,29 ^{Cc}	10,07±0,25 ^{CDd}	7,19±0,48 ^{Ac}
	Kontrol	19,45±0,24 ^{Ba}	13,18±0,49 ^{De}	12,30±0,49 ^{ABc}	8,79±0,47 ^{Ac}	6,52±0,34 ^{Ad}
	LF2-SB	21,16±0,14 ^{ABa}	16,50±0,37 ^{Ab}	15,43±0,96 ^{Ad}	12,28±0,19 ^{Ad}	7,29±0,49 ^{Ad}

*TPC, toplam fenolik madde miktarı; GAE, gallik asit eşdeğeri; DPPH, radikal yakalama aktivitesi; SB, serbest bakteri; EB, enkapsüle bakteri; kontrol, serbest veya enkapsüle bakteri içermeyen pestil; LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B. Belirtilen analiz için numuneler arasındaki farklar, aynı sütunda farklı büyük harflerle, p<0,05 anlamlılık düzeyiyle temsil edilir. Aynı satırdaki farklı küçük harfler aynı örneğin depolama günleri arasındaki farkı göstermektedir (p<0,05).

4.5.3 Kayısı Pestillerinin Mikrobiyolojik Özellikleri

4.5.3.1 Toplam laktik asit bakterisi (LAB) sayısı

Probiyotik gıda üretiminde; gıda matrisi, gıda işleme, üretim yöntemleri ve saklama koşulları probiyotik bakteri canlılığını etkileyen önemli faktörlerdir [134]. Pestil kurutulmadan önce ve sonra toplam LAB sayım sonuçları (log KOB/g) ile depolama sırasında LAB sayısındaki azalma yüzdesi Tablo 4.17' de verilmiştir. Pestil kurutulmadan önce toplam LAB sayımlarına göre; LPE1-EB en yüksek sayıya sahipken (10,91 log KOB/g), bunu sırayla LPE1-SB (10,80 log KOB/g), LF2-SB (10,72 log KOB/g), LF2-EB (10,60 log KOB/g), LP4-SB (10,44 log KOB/g) ve LP4-EB (10,30 log KOB/g) izlemiştir (Tablo 4.17). Kurutulmuş pestillerde yapılan sayım sonuçlarına göre; LPE1-EB en yüksek toplam LAB sayısını (10,67 log KOB/g) korumuş, bunu sırasıyla LPE1-SB (10,47 log KOB/g), LF2-EB (10,38 log KOB/g), LF2-SB (10,29 log KOB/g), LP4-EB (9,19 log KOB/g) ve LP4-SB (9,04 log KOB/g) takip etmiştir (Tablo 4.17). EB/SB'li pestiller için kurutma sonrası probiyotik bakteri sayısında 1 log KOB/g' dan daha az bir azalma görülmüştür. Benzer bulgular Niro vd. tarafından da rapor edilmiştir (2022); kuruduktan sonra *Bacillus coagulans* içeren muz pestillerinin LAB sayısında 1 log KOB/g azalma gözlemlenmiştir [21]. Aynı çalışmada, *Lactobacillus acidophilus* ile zenginleştirilmiş muz pestillerinde 50°C'de fırında kurutulduktan sonra bakteri sayısında kayıp gözlenmiş ve bakteri sayısındaki bu azalış ilave edilen bakteri türüne göre değişiklik göstermiştir [21] . Pestil kurumasına bağlı olarak toplam LAB sayılarındaki azalma yüzdesinin %2,20 - %13,41 arasında olduğu görülmüştür (Tablo 4.17). Bu azalmanın enkapsüle bakteri içeren pestil örneklerinde, serbest bakteri içeren pestil örneklerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum enkapsülasyonun kuruma sırasında bakterilerin canlılığını korumasına yardımcı olduğunu göstermektedir. Leylak vd. (2021) ve Arslan-Tontul & Erbas (2015) tarafından yapılan çalışmalarda da enkapsülasyonun probiyotik bakteri canlılığı üzerinde koruyucu etkisi olduğu ifade edilmiştir [47], [89]. Nişasta hidrolizinden elde edilen bir polisakkarit olan maltodekstrin, probiyotik bakterilerin ısı toleransını artırabilmektedir. Pestil herlelerinin kurutulması sırasında enkapsüllenmiş bakterilerle zenginleştirilmiş örnekleri probiyotik bakteri azalma yüzdelere göre sıraladığımızda; %10,78 oranıyla en yüksek azalma LP4-EB'de gözlemlenirken; sırasıyla %2,20 ve %2,08 oranlarıyla LPE1-EB ve LF2-EB

örneklerinde olduğu görülmüştür (Tablo 4.17). Bu, LP4'ün pestil içerisinde termal ve dehidrasyona bağlı strese karşı diğer türlere göre daha düşük dirence sahip olabileceğini düşündürmektedir. Depolama süresi boyunca LAB sayılarındaki azalmalar incelendiğinde, her bir bakteri için enkapsüle edilmiş formların daha iyi koruma sağladığı tespit edilmiştir. En iyi canlılık korunumunu, %33,5'lik LAB sayısı azalma oranıyla LP4-EB pestili gösterirken, en yüksek azalma oranı ise %43,05 ile LF2-SB'de gözlemlenmiştir. Ayrıca LF2-SB ve LF2-EB örneklerinde, depolama sırasında LAB sayısında yaklaşık 4 log KOB/g azalma görülmüştür. 120 gün sonra ise LP4-SB ve LP4-EB pestillerinde sırasıyla 3,67 ve 3,09 log KOB/g azalma görülmüştür (Tablo 4.17). LAB sayısındaki azalma LPE1-EB de 3, 91 log KOB/ g ile LPE1-SB'deki azalmadan (3,91 log KOB/g) daha düşük bulunmuştur (Tablo 4.17). Türk standartlarının 26221 sayılı resmi gazete' de yayınlanan tebliğine göre probiyotik gıda tanımında; son üründe canlı probiyotik bakteri sayısının minimum 6 log KOB/g olması ve canlı kalması gerektiği bildirilmiştir. Bu çalışmada; Probiyotik ile zenginleştirilmiş pestillerin tümünde, 90 günlük depolama süresi boyunca 6 log KOB/g seviyesini koruduğu görülmüştür. Ancak depolama süresinin 120 güne uzatılması, LF2-SB ve LP4-SB pestilleri için mevzuatın belirlediği sınırların aşılmasına neden olmuştur. Aynı bakterinin enkapsüle formda katıldığı, LF2-EB ve LP4-EB pestillerinde gerekli seviyeyi koruduğu gözlemlenmiştir. Bu da enkapsülasyonun olumlu etkisini göstermektedir. LF2-EB, LP4-EB, LPE1-SB ve LPE1-EB numuneleri 120 günlük depolama süresi boyunca yasal olarak belirlenen sınırlar dahilinde kalmıştır. Tüm suşlarda farklılık gösterse de genel olarak LAB canlılığı depolama sonunda kapsüllenen bakteri içeren formlarda daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada olduğu gibi, Sompach vd. (2022), raf ömrünün suşa bağlı olduğunu belirtmiştir [139]. 120. günde yapılan denemelerde pestil örneklerinde enkapsüle bakteri sayısının serbest olanlara göre anlamlı derecede yüksek olması, enkapsülasyonun bakteri canlılığı üzerine istatistiksel olarak anlamlı pozitif bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur ($p<0,05$). Bu bulgular, enkapsülasyonun bakterileri dış etkenlere karşı korumak ve potansiyel olarak canlılıklarını artırmak için etkili bir mekanizma olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.17 Pestil örneklerinin toplam LAB sayılarının 120 günlük depolama değişimi

Örnek Adı	Pestil Kurutma Öncesi (log KOB/g)	Pestil Kurutma Sonrası (log KOB/g)	Canlı LAB sayısı azalma oranı (%)	Depolama Boyunca LAB Sayısı (log KOB/g)						Azalma (%)
				0.Gün	7.Gün	30.Gün	60.Gün	90.Gün	120.Gün	
Kontrol	<2	<2	-	<2 ^{Da}	<2 ^{Ea}	<2 ^{Da}	<2 ^{Da}	<2 ^{Ea}	<2 ^{Fa}	-
LF2-SB	10,72±0,09 ^a	10,29±0,66 ^b	4,01	10,29±0,54 ^{Ba}	10,28±0,09 ^{ABa}	9,33±0,39 ^{Bcb}	8,91±0,14 ^B	6,12±0,11 ^{Dc}	5,86±0,12 ^{Dc}	43,05
LF2-EB	10,60±0,24 ^a	10,38±0,28 ^b	2,08	10,33±0,25 ^{Ab}	10,21±0,26 ^{Ba}	9,44±0,06 ^{Bb}	9,39±0,07 ^A	6,46±0,26 ^{Cc}	6,00±0,25 ^{CD}	41,92
LP4-SB	10,44±0,64 ^a	9,04±0,12 ^b	13,41	9,17±0,27 ^{Ca}	9,31±0,29 ^{Da}	8,95±0,29 ^{Ca}	8,22±0,32 ^C	6,22±0,10 ^{CDc}	5,50±0,18 ^{Ed}	40,02
LP4-EB	10,30±0,16 ^a	9,19±0,17 ^b	10,78	9,21±0,14 ^{Cab}	9,71±0,52 ^{Ca}	9,64±0,32 ^{Ba}	8,92±0,61 ^B	7,04±0,09 ^{Be}	6,12±0,14 ^{Cd}	33,55
LPE1-SB	10,80±0,03 ^a	10,47±0,18 ^b	3,10	10,49±0,15 ^{Ab}	10,51±0,14 ^{ABa}	9,59±0,16 ^{Bb}	9,48±0,12 ^A	7,24±0,36 ^{ABc}	6,45±0,29 ^{Bd}	38,51
LPE1-EB	10,91±0,23 ^a	10,67±0,03 ^b	2,20	10,68±0,03 ^{Aa}	10,60±0,04 ^{Aa}	10,27±0,40 ^{Ab}	9,60±0,05 ^A	7,36±0,12 ^{Ad}	6,77±0,15 ^{Ac}	36,61

*SB, serbest bakteri; EB, enkapsüle bakteri; kontrol, serbest veya enkapsüle bakteri içermeyen pestil; LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B. Azalma(%); depolama sonunda, başna göre canlı bakteri sayısındaki azalmayı göstermektedir. Belirtilen analiz için numuneler arasındaki farklar, aynı sütunda farklı büyük harflerle, p<0,05 anlamlılık düzeyiyle temsil edilir. Aynı satırdaki farklı küçük harfler aynı örneğin depolama günleri arasındaki farkı göstermektedir (p<0,05).

4.5.3.2 Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısı

Depolama sırasındaki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımları Tablo 4.18'de sunulmuştur. Sonuçlar, LF2-EB, LP4-SB ve LPE1-EB numuneleri için TMAB sayılarının 2 log KOB/g' nin altında kaldığını ve depolama boyunca bu sayılarda önemli bir değişiklik olmadığını göstermiştir ($p>0,05$). Kontrol numunelerinin TMAB sayısı ise 90. güne kadar <2 'den 4,74 log KOB/g' ye sürekli bir artış göstermiş ($p<0,05$) ve ardından 120 günde 4,37 log KOB/g' ye düşmüştür (Tablo 4.18). LF2-SB, 90. günde 5,22'den 4,02 log KOB/g' ye bir düşüş göstermiştir, bunu depolamanın sonunda hafif bir artış (4,12 log KOB/g) izlemiştir (Tablo 4.18). LP4-EB örneğinde TMAB sayısı; 30. güne kadar yaklaşık 5 log KOB/g seviyesinde kalmış, sonraki depolama sürecinde yaklaşık 3 log KOB/g seviyesine kadar düşmüştür (Tablo 4.18). LPE1-SB pestillerinde TMAB sayısı 90. güne kadar artış sergilemiş, 120 gün sonunda ise hafif bir düşüş gözlemlenmiştir (3,00 log KOB/g). Daha önce Safaei vd. (2019) çeşitli meyve pestillerinde TMAB sayılarını; erikde 10^1 - 3×10^2 KOB/g, kivide 10^1 - 3×10^2 KOB/g, kirazda 10^1 - 3×10^2 KOB/g, narda $<10^1$ - 4×10^1 KOB/g, elmada 10^1 - $1,2 \times 10^1$ KOB/g, kayısıda $1,4 \times 10^1$ - 4×10^1 KOB/g ve erik/elmada <10 - 10^1 KOB/g aralıklarında bildirmiştir ve bu bulgular çalışmamızla tutarlı bulunmuştur [140]. Irwandi vd.' nin (1998) de çalışmalarında çeşitli ambalaj malzemelerindeki durian pestilinin 12 haftalık depolama sırasında bildirdiği TMAB sayımları 16,57-50,53 KOB/g arasında bulunmuştur [131].

4.5.3.3 Toplam maya/ küf (TYM) sayısı

Pestil örneklerinin toplam maya ve küf (TYM) sayımları Tablo 4.18'de sunulmuştur. Sonuçlara göre, kontrol örneklerine yönelik TYM sayımları depolama süresi boyunca <2 ile 4,88 log KOB/g arasında değişmiştir. Bu sayımlar 90 güne kadar artmıştır ve daha sonra 4,85 log kob/g'a düşmüştür ($p<0,05$). LF2-SB örneklerinde TYM sayıları 30 gün boyunca sabit kalmıştır ($p>0,05$), ardından 120. günde 2,70'ten 3,00 log KOB/g' ye yükselmiştir (Tablo 4.18). Benzer şekilde, LF2-EB numuneleri için TYM sayıları 60. güne kadar 3,70'ten 4,12 log KOB/g' a yükselmiş ve depolama sonunda 3,65 log KOB/g' a düşmüştür. LP4-SB için TYM sayıları depolamada ilk 30 gün boyunca düşük kalmıştır (<2 log KOB/g), sonra 90. güne kadar artmış ve daha sonra 30. günde kiyle aynı değerlere geri dönmüştür (3,65 log KOB/g) (Tablo 4.18). LP4-EB için TYM sayıları depolamanın 7. gününe kadar

3,64'ten 3,70 log KOB/g' a yükselmiş, 30 günlük depolama dönemi boyunca da 3,52 log KOB/g' a düşmüştür, ardından 90. günde, 3,92 log KOB/g' a yükselmiştir (Tablo 4.18). Depolama sonunda ise neredeyse başlangıç değerlerine geri dönmüştür (3,65 log KOB/g). LPE1-SB ve LPE1-EB'ye yönelik TYM sayıları, depolama boyunca sürekli olarak 2 log KOB/g' dan düşük kalmıştır. Türk Gıda Kodeksine göre Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği' ne göre TYM için izin verilen maksimum mikrobiyal limit 4-5 log KOB/g olarak belirtilmiştir [141]. Bulgularımızın mevzuatta öngörülen toplam maya-küf limitlerinin altında olması, depolama sırasında pestillerimiz için kimyasal koruyucuların gereksiz olduğunu göstermiştir. Depolama sonunda, zenginleştirilmiş pestillerde maya küf sayısı kontrol örneğine göre daha düşük kalmıştır. Bu durum, ilave edilen LAB' nin varlığı ile ilişkilendirilebilir ve zenginleştirilmiş pestillerin daha uzun bir raf ömrüne sahip olabileceğini göstermektedir. Ayrıca LPE1 ilaveli pestiller hariç diğer pestillerin enkapsüle bakteri içeren pestil örneklerinde toplam maya küf sayısı depolama başında da sonunda da serbest bakteri içerenlerine göre daha fazla çıkmıştır bunun da kaplayıcı materyal olan maltodekstrinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Kontrol, LP4-SB ve LP4-EB pestillerinde 90. günde, LF2-EB pestilinde 60. günde ve LF2-SB pestilinde 120. günde en yüksek TYM sayılarına ulaşmıştır. Irwandi ve ark. (1998), 8. haftada durian meyve pestilinde küf ve maya gelişiminin en yüksek seviyeye ulaştığını ardından besin tükenmesi veya mikrobiyal metabolitlerin neden olduğu olumsuz koşullar nedeniyle bir düşüş olabileceğini ifade etmiştir [131]. Jeebit-Singh vd.' nin yaptığı bir çalışmada (2020), TYM sayısının 1×10^1 - 3×10^1 aralığında olduğunu, bazen sıfıra düştüğünü ve 4 aya kadar depolama süresince paketlenme malzemelerinden etkilendiğini belirtmişlerdir [142].

Safaei vd. (2019) tarafından çeşitli meyve pestilleri için TYM sayıları; erikde 10 ile $2,9 \times 10^2$ KOB/g aralığında (10^1 - $2,9 \times 10^2$ KOB/g), kivide 3×10^1 – $3,1 \times 10^2$ KOB/g, kirazda $<10^1$ - 4×10^2 KOB/g, narda $<10^1$ - 2×10^1 KOB/g, elmada 1×10^2 - $1,3 \times 10^2$, kayısıda $<10^1$ KOB/g ve erik/elmada 10^1 - $1,4 \times 10^1$ KOB/g olarak bulunmuştur [140]. Ayrıca Jeebit Singh ve ark. (2020) ve Irwandi vd. (1998), aw düzeyi 0,6'nın altında olduğunda mikroorganizmaların çoğu için hayatta kalmanın zor olduğunu bildirmiştir [131], [142]. Ayrıca; koruyucular, redoks potansiyeli, sıcaklık, pH ve aw gibi çeşitli koruyucu faktörler mikrobiyal büyümeyi geciktirmek veya önlemek için sinerjistik olarak etki edebilmektedir. Üretilen pestillerin genel olarak mikrobiyolojik kriterlere uygun olduğu ve güvenle tüketilebileceği bulunmuştur.

Tablo 4.18 Pestil örneklerinin TMAB (log KOB/g) ve TYM (log KOB/g) sayılarının 120 günlük depolama boyunca değişimi

Mikroorganizma sayısı	Örnek Adı	0.gün	7.gün	30.gün	60.gün	90.gün	120.gün
Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri (TMAB) (log KOB/g)	Kontrol	<2 ^{Ce}	3,63 ± 0,06 ^{Bd}	3,68 ± 0,03 ^{Bcd}	4,02 ± 0,28 ^{Cbc}	4,74 ± 0,06 ^{Aa}	4,37 ± 0,06 ^{Ab}
	LF2-SB	5,22 ± 0,08 ^{Aa}	5,11 ± 0,14 ^{Aa}	5,19 ± 0,11 ^{Aa}	5,00 ± 0,04 ^{Aa}	4,02 ± 0,33 ^{Bb}	4,12 ± 0,28 ^{Bb}
	LF2-EB	<2 ^{Ca}	<2 ^{Da}	<2 ^{Da}	<2 ^{Ea}	<2 ^{Da}	<2 ^{Ea}
	LP4-SB	<2 ^{Ca}	<2 ^{Da}	<2 ^{Da}	<2 ^{Ea}	<2 ^{Da}	<2 ^{Ea}
	LP4-EB	5,03 ± 0,09 ^{Ba}	5,03 ± 0,07 ^{Aa}	5,06 ± 0,23 ^{Aa}	4,75 ± 0,06 ^{Bb}	3,80 ± 0,17 ^{Bc}	3,71 ± 0,02 ^{Cc}
	LPE1-SB	<2 ^{Ce}	2,70 ± 0,00 ^{Cd}	2,78 ± 0,11 ^{Ccd}	2,87 ± 0,15 ^{Dbc}	3,12 ± 0,10 ^{Ca}	3,00 ± 0,00 ^{Dab}
	LPE1-EB	<2 ^{Ca}	<2 ^{Da}	<2 ^{Da}	<2 ^{Ea}	<2 ^{Da}	<2 ^{Ea}
Toplam Maya/ Küf (TYM) (log KOB/g)	Kontrol	<2 ^{Cd}	2,80 ± 0,17 ^{Bc}	3,00 ± 0,00 ^{Bc}	3,91 ± 0,18 ^{Bb}	4,88 ± 0,16 ^{Aa}	4,85 ± 0,05 ^{Aa}
	LF2-SB	<2 ^{Cc}	<2 ^{Cc}	<2 ^{Cc}	2,70 ± 0,00 ^{Cb}	2,80 ± 0,17 ^{Cb}	3,00 ± 0,00 ^{Da}
	LF2-EB	3,70 ± 0,00 ^{Ab}	3,80 ± 0,17 ^{Ab}	3,88 ± 0,16 ^{Ab}	4,12 ± 0,10 ^{Aa}	3,81 ± 0,19 ^{Bb}	3,65 ± 0,05 ^{Bb}
	LP4-SB	<2 ^{Cc}	<2 ^{Cc}	<2 ^{Cc}	2,70 ± 0,00 ^{Cb}	2,96 ± 0,24 ^{Ca}	2,70 ± 0,00 ^{Eb}
	LP4-EB	3,64 ± 0,03 ^{Ba}	3,70 ± 0,00 ^{Aa}	3,52 ± 0,68 ^{Aa}	3,90 ± 0,17 ^{Ba}	3,92 ± 0,01 ^{Ba}	3,65 ± 0,12 ^{Ca}
	LPE1-SB	<2 ^{Ca}	<2 ^{Ca}	<2 ^{Ca}	<2 ^{Da}	<2 ^{Da}	<2 ^{Fa}
	LPE1-EB	<2 ^{Ca}	<2 ^{Ca}	<2 ^{Ca}	<2 ^{Da}	<2 ^{Da}	<2 ^{Fa}

*SB, serbest bakteri; EB, enkapsüle bakteri; kontrol, serbest veya enkapsüle bakteri içermeyen pestil; LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B. Belirtilen analiz için numuneler arasındaki farklar, aynı sütunda farklı büyük harflerle, p<0,05 anlamlılık düzeyiyle temsil edilir. Aynı satırdaki farklı küçük harfler aynı örneğin depolama günleri arasındaki farkı göstermektedir (p<0,05).

4.5.4 Kayısı Pestillerinin *in vitro* Sindirimi Sırasında Probiyotik Canlılığı

Yapılan çalışmalara göre, probiyotik ilaveli gıda ürünlerinin beklenen faydaları sağlayabilmesi için ince bağırsağın ileum kısmına minimum 6 log KOB/g konsantrasyonunda ulaşması gerektiği bildirilmiştir [143], [144]. Gastrointestinal (GI) sistemden geçiş sırasında canlı suşların konsantrasyonunda 2 log KOB/g civarında bir azalma olması beklenmektedir, bu nedenle ilave edilen probiyotik konsantrasyonunun en az 8 log KOB/g olması tavsiye edilmektedir [145].

Enkapsülasyon ile probiyotiklerin kaplama malzemesi içerisine hapsedilmesi, probiyotikler için iyi bir koruma sağlayarak, probiyotikleri GI koşullarına karşı korumaktadır [146]. Bakterilerin asit ve safra toleransı, canlılık oranlarını arttırmaktadır. Yapılan bir çalışmada soya fasulyesi proteini bazlı partiküllere; inülin veya maltodekstrin eklenmesinin *L. casei* ve *L. plantarum*'u koruduğu gösterilmiştir [147]. Benzer şekilde, İran sakızının inülin ile karışımları *L. rhamnosus*' un korunumunu sağlayarak GI koşullarda canlılığını %85' in üzerinde tutmuştur [148]. Bu çalışmada, pestil örneklerinin *in vitro* sindirim sonucu taşıdıkları LAB sayısındaki değişimler Tablo 4.19'da gösterilmiştir.

Tablo 4.19 Pestil örneklerinin *in vitro* sindirimi sonucu LAB sayılarında meydana gelen değişim

Toplam Laktik Asit Bakteri Sayısı (Log KOB/g)					
Örnekler	Başlangıç	Mide	Enterik 1	Enterik 2	% Canlılık
Kontrol	<2 ^{cA}	<2 ^{cA}	<2 ^{cA}	<2 ^{dA}	-
LP4-SB	8,19±0,62 ^{bA}	6,50±0,10 ^{bB}	6,00±0,00 ^{dB}	5,98±0,02 ^{bcB}	73,02
LP4-EB	8,00±0,00 ^{bA}	7,73±0,07 ^{aAB}	7,18±0,52 ^{abBC}	6,52±0,11 ^{aC}	81,54
LF2-SB	8,60±0,014 ^{abA}	6,69±0,16 ^{bB}	6,16±0,09 ^{cdBC}	5,77±0,05 ^{cC}	67,14
LF2-EB	8,73±0,78 ^{abA}	7,63±0,02 ^{abB}	7,46±0,01 ^{aB}	6,16±0,12 ^{bC}	70,59
LPE1-SB	9,18±0,14 ^{aA}	7,00±0,00 ^{abB}	6,80±0,08 ^{bB}	5,69±0,06 ^{cC}	62,00
LPE1-EB	8,26±0,21 ^{abA}	7,13±1,10 ^{abAB}	6,74±0,03 ^{bcB}	6,64±0,09 ^{aB}	80,35

*SB, serbest bakteri; EB, enkapsüle bakteri; LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* XL64.

*Aynı sütunda küçük harflerle gösterilen üstel ifadeler aynı ortamdaki örnekler arasındaki istatistiksel farkı belirtir p<0,05.

*Aynı satırdaki büyük harflerle gösterilen üstel ifadeler aynı örneğin gastirik geçişteki ortamlar arasındaki istatistiksel farkı belirtir p<0,05.

Benzer çalışmalarla uyumlu olarak GI geçişte örneklerin toplam LAB sayılarında azalma olmuştur. Tablo 4.19'da görüldüğü gibi tüm pestil örneklerinde kapsüllenmiş bakteri ilaveli olanlar aynı bakterinin serbest formuna göre daha iyi canlılık oranı göstermiştir. Pestillerin *in vitro* sindirim simülasyonu sonunda LP4-EB pestilinde laktik asit bakteri canlılığı %81,54 ile en yüksek değerdeyken, LPE1-SB pestilinde %62,00 ile en düşük değerde olduğu görülmüştür (Tablo 4.19). Serbest bakteri ilaveli pestiller incelendiğinde yine en yüksek canlılığın LP4 bakterisi içeren pestillerde olduğu görülmüştür. Bu da hem kapsüllenmiş hem serbest formdaki LP4 bakterisinin GI sindirim koşullarına en dayanıklı izolat olduğunu göstermektedir. Niro vd. çalışmalarında *B. coagulans* ve *L. acidophilus* içeren bakteriyel selüloz veya nişasta ilaveli probiyotik muz pestili üretmişlerdir ve GI geçiş özelliklerini incelemişlerdir; başlangıçtaki bakteri konsantrasyonu 8,1 log KOB/g bulunurken, GI geçişi tamamlayan örneklerde *B. coagulans* ilaveli örneklerin hepsinin 6 log Kob/ g' ın üzerinde canlılık gösterdiğini bildirmişlerdir [21]. Ayrıca bakteriyel selülozün koruyucu matris olarak bakterileri koruduğunu bildirmişlerdir[21]. Çalışmamızda da benzer bir şekilde; GI geçiş sonunda koruyucu matristen dolayı aynı suş bakterilerin enkapsüle olanlarının serbest bakterilerden daha yüksek konsantrasyonda canlılık gösterdiği görülmüştür ($p<0,05$) (Tablo 4.19).

Daha önce yapılan çalışmalarda bu çalışmayla paralel olarak maltodekstrin kaplamanın özellikle mide ortamında bakterileri koruduğu tespit edilmiştir. Tüketimde probiyotik ürünlerin bağırsakta en az 6 log KOB/g olması beklendiği için enkapsüle formların probiyotik pestil için daha uygun olduğunu ve üç suşun kapsüllenmiş formlarının da en son aşamada beklenen miktarı yakaladığı görülmüştür.

4.5.5 Pestillerin Tekstürel Özellikleri

Tekstürel özellikler, pestil için önemli bir kriterdir ve hem tüketici kabulünü hem de ürünün işlenebilirliğini etkilemektedir. Enkapsüle edilmiş veya edilmemiş probiyotik bakteri içeren pestillerin tekstürel özellikleri Tablo 4.20'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, tekstürel özelliklerin; bakteri türünden, enkapsülasyondan ve depolama süresinden önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür ($p<0,05$).

Sertlik; bir ürünün dış kuvvetlere dayanma yeteneğini gösteren, dokunun önemli bir özelliğidir ve gıda maddelerindeki sertlik veya yumuşaklık düzeylerini ifade etmektedir [22]. Pestil, Türkiye'de yaygın olarak sade veya kuru yemişlere sarılarak

tüketilen bir gıdadır, dolayısıyla arzu edilen dokusu, katlanmaya ve bükülmeye izin verecek derecede elastik özellikte olmalıdır [17], [130]. Çalışmamızda üretilen pestillerin sertlik değerleri 0,60-4,44 N arasında olup, tüm pestillerde depolama süresi boyunca bu değerlerde artış eğilimi gözlemlenmiştir (Tablo 4.20). Depolama başlangıcında enkapsüle bakteri içeren pestillerin daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun enkapsülasyonda kullanılan maltodekstrin kaplama materyalinden kaynaklı olabileceği düşünülmüştür. Bulgularımız Irwandi vd.'nin (1998) çalışmasında elde ettiği sonuçları desteklemektedir; bu çalışmada, depolama süresinin durian meyve pestilinin sertlik değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve bu artışın numunenin nem içeriğindeki ve ambalaj malzemesinin su buharı geçirgenliğindeki değişikliklerden kaynaklanabileceği bildirilmiştir [131]. Genel olarak SB/EB'nin dahil edilmesi pestillerde sertliğin azalmasına neden olmuştur. Bunun sebebi olarak, probiyotik bakteri ilavesinin pestil yüzeyinde daha yumuşak bir yapıya yol açabileceği ifade edilmiştir [136]. Bu çalışmada kontrol örneğinin depolama sonunda en yüksek sertlik değerine sahip olması, bu yargıyı desteklemektedir.

Elastikiyet; dış kuvvet uygulaması sonrası ürünün eski haline gelmesini yansıtan önemli bir dokusal parametredir [149]. Pestil örneklerinin elastikiyet değerleri %0,86-5,54 arasında değişmekte olup örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur (Tablo 4.20) ($p < 0,05$). Kontrol, depolama sırasında SB/EB ile zenginleştirilmiş olan örneklerin aksine, en yüksek elastikiyeti sergilemiştir; bu da SB/EB ilavesinin pestilin elastikiyet özelliğini düşürdüğünü göstermektedir. Özellikle, analiz edilen numuneler arasında, LPE4-EB pestilleri en yüksek esneklik değerini ($\%2,48 \pm 0,02$) gösterirken, LF2-EB içeren pestiller depolama sonunda en düşük esneklik değerlerini ($\%0,86 \pm 0,05$) sergilemiştir (Tablo 4.20).

Kohezyon (iç yapışkanlık), pestillerin ilk sıkıştırmanın neden olduğu deformasyondan sonra ikinci sıkıştırmaya karşı dayanıklılığını ifade etmektedir ve bu parametre, ürünlerin ağızda kolay çiğnenip çiğnenmediği hakkında bilgi vermektedir [17]. Pestillerin yapışkanlığı, formülasyona ve saklama süresine bağlı olarak 0,83-1,06 arasında değişmiştir. Pestil gibi meyve ürünlerinde daha düşük yapışkanlık ve çiğneme değerleri tercih edilmektedir [149]. Daha düşük yapışkanlık değerleri, pestillerin daha yüksek yapışkanlığa sahip olanlara göre daha kolay çiğnendiği ve ölçümler sırasında proba daha az yapıştığı anlamına gelmektedir.

LPE1-SB ile zenginleştirilen pestillerde depolama süresi boyunca istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir ($p>0,05$). Ayrıca LF2-SB, LF2-EB, LP4-SB ve LPE1-EB ile zenginleştirilen pestillerde 30. gün ile 120. gün arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (Tablo 4.20) ($p>0,05$).

Pestillerin çiğnenebilirlik değerleri formülasyona ve depolama süresine bağlı olarak 0,58- 4,22 N arasında değişmekte olup çiğnenebilirlik değerlerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir (Tablo 4.20) ($p<0,05$). Çiğnenebilirlik, sonraki ölçümlerle karşılaştırıldığında 0. günde belirgin şekilde daha düşük ölçülmüştür. Daha önce yapılan bir çalışmada da yüksek sertlik değerlerinin, yüksek çiğnenebilirlik değerleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir [150]. En yüksek çiğnenebilirlik değeri 120. günde 9,51 N ile kontrolde bulunurken, en düşük çiğneme değeri 0. günde 0,86 N ile LF2-EB pestillerinde bulunmuştur. Görüldüğü gibi, ortalama çiğneme değerleri enkapsüle veya serbest probiyotik bakteri ilavesi ve depolama süresine bağlı olarak önemli ölçüde değişmiştir (Tablo 4.20) ($p<0,05$). Depolama başında esneklik değerlerinde LF2-EB ve LF2-SB pestil örnekleri dışındaki pestiller arasında anlamlı bir esneklik farkı bulunmamışken, depolama sonunda tüm pestil örnekleri birbirinden farklı esneklik değerlerine ulaşmıştır. Depolama boyunca kontrol pestil örneğinin esneklik değerleri dalgalanma göstermesine rağmen depolama sonunda 0. Gün değerine geri ulaşmıştır (Tablo 4.20).

Tablo 4.20 Pestil örneklerinin tekstürel özelliklerinin depolama boyunca değişimi

Tekstürel Parametreler	Örnek Adı	Depolama Süresi				
		0. gün	30. gün	60. gün	90. gün	120.gün
Sertlik (Hardness) (N)	Kontrol	1,16±0,28 ^{Ac}	1,55±0,11 ^{ABc}	2,49±0,16 ^{ABb}	3,84±0,45 ^{Aa}	4,44±0,52 ^{Aa}
	LF2-SB	0,60±0,07 ^{Bc}	1,39±0,16 ^{ABbc}	1,96±0,58 ^{ABab}	2,17±0,22 ^{Bab}	2,35±0,39 ^{Ca}
	LF2-EB	1,04±0,16 ^{ABb}	1,45±0,22 ^{ABab}	1,82±0,74 ^{ABab}	2,37±0,09 ^{Ba}	2,37±0,09 ^{Ca}
	LP4-SB	0,87±0,04 ^{ABc}	1,00±0,00 ^{Bc}	1,36±0,36 ^{Bbc}	2,11±0,61 ^{Bb}	3,37±0,16 ^{Ba}
	LP4-EB	1,34±0,17 ^{Ac}	1,81±0,14 ^{Ac}	2,65±0,16 ^{Ab}	3,82±0,55 ^{Aa}	4,29±0,27 ^{Aa}
	LPE1-SB	0,86±0,06 ^{ABc}	0,97±0,05 ^{Bc}	2,08±0,44 ^{ABb}	3,85±0,23 ^{Aa}	4,31±0,21 ^{Aa}
	LPE1-EB	1,21±0,33 ^{Ab}	1,73±0,60 ^{ABab}	1,47±0,05 ^{ABb}	1,89±0,29 ^{Bab}	2,42±0,07 ^{Ca}
Elastikiyet (Springiness) (%)	Kontrol	5,54±0,40 ^{Aa}	5,39±0,54 ^{Aa}	4,89±0,39 ^{Aa}	2,27±0,90 ^{ABb}	1,67±0,56 ^{Bb}
	LF2-SB	4,21±0,28 ^{ABa}	4,35±0,26 ^{ABa}	3,92±2,80 ^{ABa}	1,30±0,12 ^{ABb}	1,22±0,11 ^{BCb}
	LF2-EB	3,08±1,99 ^{ABa}	1,24±0,49 ^{Da}	0,96±0,03 ^{Ba}	0,92±0,06 ^{Ba}	0,86±0,05 ^{Ca}
	LP4-SB	3,47±0,82 ^{ABa}	3,43±0,66 ^{BCa}	3,75±1,05 ^{ABa}	1,82±1,44 ^{ABa}	1,28±0,48 ^{BCa}
	LP4-EB	4,90±0,03 ^{ABa}	4,71±0,41 ^{ABa}	4,39±0,42 ^{Aa}	3,35±0,28 ^{Ab}	2,48±0,02 ^{Ac}
	LPE1-SB	3,84±0,32 ^{ABa}	3,51±0,16 ^{BCa}	2,68±1,08 ^{ABab}	1,45±0,21 ^{ABbc}	0,97±0,05 ^{BCc}
	LPE1-EB	2,66±0,91 ^{Ba}	2,55±0,81 ^{CDa}	2,30±0,37 ^{ABa}	2,88±1,47 ^{ABa}	0,99±0,00 ^{BCa}
İç yapışkanlık (Cohesiveness)	Kontrol	0,96±0,02 ^{ABa}	0,91±0,02 ^{Aab}	0,94±0,04 ^{Aa}	0,87±0,02 ^{Aab}	0,83±0,06 ^{Ab}
	LF2-SB	0,95±0,03 ^{ABa}	0,93±0,01 ^{Aa}	1,06±0,23 ^{Aa}	0,87±0,00 ^{Aa}	0,85±0,03 ^{Aa}
	LF2-EB	0,85±0,01 ^{Ba}	0,87±0,05 ^{Aa}	0,87±0,11 ^{Aa}	0,89±0,00 ^{Aa}	0,86±0,05 ^{Aa}
	LP4-SB	0,90±0,04 ^{ABa}	0,89±0,03 ^{Aa}	0,89±0,03 ^{Aa}	0,88±0,01 ^{Aa}	0,85±0,03 ^{Aa}
	LP4-EB	0,92±0,01 ^{ABa}	0,89±0,00 ^{Aab}	0,90±0,02 ^{Aab}	0,89±0,00 ^{Ab}	0,88±0,00 ^{Ab}
	LPE1-SB	1,06±0,15 ^{Aa}	0,94±0,05 ^{Aa}	0,87±0,11 ^{Aa}	0,89±0,02 ^{Aa}	0,84±0,05 ^{Aa}
	LPE1-EB	0,90±0,01 ^{ABa}	0,89±0,02 ^{Aa}	0,87±0,05 ^{Aa}	0,92±0,13 ^{Aa}	0,89±0,00 ^{Aa}

Yapışkanlık (Gumminess) (N)	Kontrol	1,11±0,24 ^{Ac}	1,41±0,08 ^{ABc}	2,25±0,12 ^{Ab}	3,35±0,34 ^{Aa}	3,54±0,05 ^{BCa}
	LF2-SB	0,58±0,07 ^{Bc}	1,29±0,13 ^{ABbc}	2,00±0,24 ^{Aab}	2,05±0,42 ^{Ba}	2,20±0,35 ^{Da}
	LF2-EB	0,89±0,15 ^{ABb}	1,28±0,26 ^{ABab}	1,67±0,82 ^{Aab}	2,10±0,08 ^{Ba}	2,34±0,29 ^{Da}
	LP4-SB	0,79±0,00 ^{ABc}	0,89±0,09 ^{Bc}	1,21±0,29 ^{ABc}	1,87±0,57 ^{Bb}	3,02±0,14 ^{Ca}
	LP4-EB	1,19±0,12 ^{Ac}	1,58±0,15 ^{Ac}	2,42±0,08 ^{Ab}	3,39±0,47 ^{Aa}	3,91±0,09 ^{ABa}
	LPE1-SB	0,90±0,07 ^{ABb}	0,91±0,02 ^{Bb}	1,67±0,82 ^{Ab}	3,42±0,25 ^{Aa}	4,22±0,22 ^{Aa}
	LPE1-EB	1,08±0,28 ^{Ab}	1,51±0,50 ^{ABab}	1,33±0,07 ^{Aab}	1,93±0,41 ^{Bab}	2,14±0,07 ^{Da}
	Kontrol	0,96±0,02 ^{Cb}	6,32±2,66 ^{ABb}	7,94±2,68 ^{Aa}	7,42±2,32 ^{Aa}	9,51±1,44 ^{Aa}
Çiğnenbilirlik (Chewiness) (N)	LF2-SB	2,09±0,17 ^{Ba}	2,91±0,20 ^{BCa}	5,63±3,91 ^{Aa}	6,34±0,28 ^{Aa}	5,15±1,04 ^{Ba}
	LF2-EB	0,86±0,17 ^{Cb}	1,58±0,63 ^{Cb}	2,06±0,08 ^{Ab}	6,16±0,98 ^{Aa}	6,95±0,60 ^{ABa}
	LP4-SB	2,72±0,65 ^{ABa}	2,77±0,89 ^{B^{Ca}}	5,18±0,85 ^{Aa}	5,43±1,50 ^{Aa}	5,81±2,83 ^{ABa}
	LP4-EB	0,92±0,01 ^{Cc}	5,80±0,63 ^{ABb}	7,82±0,56 ^{Aa}	6,18±0,15 ^{Ab}	9,19±1,02 ^{Aa}
	LPE1-SB	3,12±0,20 ^{Ab}	3,21±0,12 ^{ABCab}	4,48±3,28 ^{Aab}	9,07±3,48 ^{Aa}	6,14±1,14 ^{ABab}
	LPE1-EB	2,70±0,39 ^{ABc}	3,46±0,80 ^{ABCb}	6,23±4,01 ^{Aabc}	7,28±2,83 ^{Aab}	8,07±0,06 ^{ABa}
	Kontrol	0,37±0,01 ^{ABb}	0,38±0,01 ^{ABab}	0,41±0,01 ^{Aa}	0,37±0,01 ^{CDb}	0,37±0,01 ^{DEb}
	LF2-SB	0,41±0,09 ^{Aa}	0,40±0,00 ^{Aa}	0,39±0,09 ^{Aa}	0,36±0,01 ^{Da}	0,35±0,01 ^{Ea}
Esneklik (Resilience)	LF2-EB	0,30±0,01 ^{Bb}	0,32±0,01 ^{Db}	0,37±0,12 ^{Aab}	0,47±0,01 ^{Aa}	0,48±0,02 ^{Aa}
	LP4-SB	0,32±0,00 ^{ABb}	0,36±0,03 ^{B^{Cab}}	0,33±0,04 ^{Ab}	0,41±0,01 ^{BCa}	0,41±0,02 ^{Ca}
	LP4-EB	0,38±0,00 ^{ABa}	0,37±0,00 ^{ABCa}	0,44±0,08 ^{Aa}	0,42±0,01 ^{Ba}	0,41±0,00 ^{BCa}
	LPE1-SB	0,34±0,01 ^{ABa}	0,34±0,00 ^{CDa}	0,37±0,12 ^{Aa}	0,37±0,02 ^{CDa}	0,39±0,00 ^{CDa}
	LPE1-EB	0,34±0,00 ^{ABd}	0,35±0,02 ^{BCDcd}	0,40±0,00 ^{Ab}	0,39±0,02 ^{BCDbc}	0,44±0,01 ^{Ba}
	Kontrol	0,37±0,01 ^{ABb}	0,38±0,01 ^{ABab}	0,41±0,01 ^{Aa}	0,37±0,01 ^{CDb}	0,37±0,01 ^{DEb}
	LF2-SB	0,41±0,09 ^{Aa}	0,40±0,00 ^{Aa}	0,39±0,09 ^{Aa}	0,36±0,01 ^{Da}	0,35±0,01 ^{Ea}
	LF2-EB	0,30±0,01 ^{Bb}	0,32±0,01 ^{Db}	0,37±0,12 ^{Aab}	0,47±0,01 ^{Aa}	0,48±0,02 ^{Aa}

*SB, serbest bakteri; EB, enkapsüle bakteri; kontrol, serbest veya enkapsüle bakteri içermeyen pestil; LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B. Belirtilen analiz için numuneler arasındaki farklar, aynı sütunda farklı büyük harflerle, p<0,05 anlamlılık düzeyiyle temsil edilir. Aynı satırdaki farklı küçük harfler aynı örneğin depolama günleri arasındaki farkı göstermektedir (p<0,05).

4.5.6 Kayısı Pestillerinin Duyusal Özellikleri

Duyusal analizler; ürün kalitesinde arzu edilen iyileşmelerin olup olmadığını değerlendirmek, tüketici kabulünü ortaya koymak, pazar potansiyelini ölçmek ve bileşime ilave edilen yeni bileşenlerin uygunluğunu belirlemek gibi amaçlar için uygulanan önemli analizlerdir [22]. Bu çalışmada, enkapsüle edilmiş ya da serbest formdaki probiyotik bakterilerin ilavesi ile hazırlanan pestillerin duyusal özellikleri Tablo 4.21’de sunulmuştur ve örümcek ağı grafikleriyle Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Genel kabul edilebilirlik değerlendirmesine göre panelist puanlarının depolama süresi boyunca düşüş eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu farklılığın; pestilin depolama boyunca özellikle fizikokimyasal özelliklerindeki değişimin sonucu olarak ortaya çıkabileceği düşünülmektedir. SB/EB ilavesinin pestilin duyusal özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Başlangıçta kontrol pestilleri diğerlerine kıyasla daha düşük koku puanları almasına rağmen bu eğilim zamanla tersine dönmüştür ve depolama sonunda daha yüksek puanlara ulaşmıştır. Kontrol pestillerinin duyusal renk beğenilerinin diğer pestillerle kıyaslandığında değerlendirmelerin 60. güne kadar en düşük seviyede olduğu, daha sonra depolama sonuna kadar daha yüksek puanlara eriştiği gözlemlenmiştir. Depolama sırasında pestil rengi beğenilerinin değişmesi beklenen bir sonuçtur. Özellikle, LP4-EB pestilleri depolama boyunca yapı/doku ve çiğnenebilirlik açısından en yüksek puanı almıştır. Ek olarak, LP4-SB içeren pestiller, depolamanın 90. günü hariç, en yüksek tat/aroma puanlarına ulaşmıştır (Tablo 4.21).

Önceki araştırmalar, yeni ürünlere yönelik tüketici tercihinde lezzetin çok önemli olduğunu ve probiyotiklerin ilave edilmesinin tat ve aromayı potansiyel olarak olumsuz etkileyebileceğini vurgulamıştır [151]. Ancak bu çalışmada, panelistler tarafından yapılan duyusal değerlendirmelerde; enkapsüle probiyotiklerin ilave edildiği gıda ürünlerinin duyusal özelliklerinin kontrole göre çok farklılık göstermediği durumlar da söz konusudur [133]. Bu çalışmada, pestillere serbest veya enkapsüle formda probiyotiklerin eklenmesinin belirgin olarak olumsuz bir tat ve aromaya yol açmadığı ve probiyotik ilavesi ile tatla belirgin bir şekilde değişimin olmadığını göstermiştir. Bunun kayısı pestillerinin kendine has yoğun aromatik tada sahip olması ile diğer tatların baskılanmasından kaynaklı olabileceği düşünülmüştür. Benzer şekilde, meyve matrisi seçiminin pestilin kabul edilebilirliğini etkilediği, kayısının probiyotik metabolizmasından kaynaklanan aşırı asidik tatları maskelemede potansiyel olarak avantajlı olduğu bildirilmiştir

[126]. Ayrıca, üretilen tüm numunelerin kabul edilebilir olduğu ve 120 günlük depolamadan sonra bile sürekli olarak 6,17'yi aşan genel kabul edilebilirlik puanları aldığı ve en yüksek puanı ($6,67\pm0,49$) LP4-EB pestilinin aldığı görölmüştür (Tablo 4.20).



Tablo 4.19 Pestil örneklerinin duyuşal özelliklerinin 120 günlük depolama boyunca değişimi

Duyusal Özellikler	Örnek Adı	Depolama Süresi				
		0.gün	30. gün	60. gün	90. gün	120. gün
Koku	Kontrol	8,67±0,49 ^{Aa}	8,33±0,49 ^{Aa}	8,33±0,65 ^{Aa}	6,66±0,49 ^{Ab}	7,17±0,72 ^{Ab}
	LF2-SB	8,75±0,45 ^{Aa}	8,08±0,67 ^{Ab}	8,00±0,60 ^{ABb}	6,92±0,29 ^{Bc}	6,50±0,67 ^{Cc}
	LF2-EB	8,67±0,65 ^{Aa}	8,33±0,65 ^{Aab}	8,00±0,43 ^{ABb}	7,08±0,51 ^{ABc}	6,58±0,67 ^{BCd}
	LP4-SB	8,83±0,39 ^{Aa}	8,00±0,43 ^{Ab}	7,92±0,29 ^{BCb}	7,25±0,62 ^{ABc}	6,50±0,52 ^{Cd}
	LP4-EB	8,83±0,39 ^{Aa}	8,42±0,51 ^{Ab}	8,17±0,39 ^{ABb}	7,33±0,49 ^{Ac}	6,75±0,45 ^{ABCD}
	LPE1-SB	8,75±0,45 ^{Aa}	8,08±0,67 ^{Ab}	8,17±0,58 ^{Cb}	7,25±0,45 ^{ABc}	7,00±0,43 ^{ABc}
	LPE1-EB	8,92±0,29 ^{Aa}	8,08±0,51 ^{Ab}	8,25±0,45 ^{ABb}	7,42±0,51 ^{Ac}	6,92±0,51 ^{ABCD}
Renk	Kontrol	8,42±0,67 ^{Ba}	8,25±0,62 ^{Aab}	8,00±0,60 ^{Aab}	7,75±0,45 ^{Ab}	6,83±0,72 ^{Ac}
	LF2-SB	8,58±0,51 ^{ABa}	8,33±0,65 ^{Aa}	8,33±0,65 ^{Aa}	7,58±1,00 ^{Ab}	6,67±0,47 ^{Ac}
	LF2-EB	8,75±0,45 ^{ABa}	8,42±0,51 ^{Aa}	8,33±0,78 ^{Aa}	7,42±0,79 ^{Ab}	6,67±0,49 ^{Ac}
	LP4-SB	8,83±0,39 ^{Aa}	8,50±0,52 ^{Aa}	8,50±0,52 ^{Aa}	7,33±0,65 ^{Ab}	6,42±0,67 ^{Ac}
	LP4-EB	8,92±0,29 ^{Aa}	8,42±0,51 ^{Aab}	8,33±0,65 ^{Ab}	7,42±0,51 ^{Ac}	6,75±0,45 ^{Ad}
	LPE1-SB	8,92±0,29 ^{Aa}	8,50±0,52 ^{Aab}	8,17±0,72 ^{Ab}	7,33±0,49 ^{Ac}	6,67±0,65 ^{Ad}
	LPE1-EB	8,83±0,39 ^{Aa}	8,25±0,62 ^{Ab}	8,25±0,45 ^{Ab}	7,42±0,51 ^{Ac}	6,75±0,45 ^{Ad}
Yapı/Tekstür	Kontrol	8,33±0,65 ^{Aa}	7,67±0,49 ^{BCDb}	7,58±0,67 ^{Ab}	6,58±0,51 ^{Ac}	5,50±0,67 ^{Bd}
	LF2-SB	8,50±0,52 ^{Aa}	8,00±0,43 ^{ABab}	7,92±0,51 ^{Ab}	6,92±0,79 ^{Ac}	5,92±0,79 ^{ABd}
	LF2-EB	8,50±0,52 ^{Aa}	7,92±0,29 ^{ABCb}	7,83±0,58 ^{Ab}	7,00±0,85 ^{Ac}	6,00±0,43 ^{Ad}
	LP4-SB	8,58±0,51 ^{Aa}	8,08±0,29 ^{Ab}	7,83±0,58 ^{Ab}	7,08±0,79 ^{Ac}	6,17±0,39 ^{Ad}
	LP4-EB	8,67±0,49 ^{Aa}	8,67±0,49 ^{ABCb}	7,75±0,45 ^{Ab}	7,08±0,67 ^{Ac}	6,25±0,45 ^{Ad}
	LPE1-SB	8,50±0,67 ^{Aa}	7,58±0,67 ^{CDb}	7,50±0,52 ^{Ab}	6,67±0,49 ^{Ac}	6,25±0,62 ^{Ac}

Yapı/Tekstür	LPE1-EB	8,50±0,52 ^{Aa}	7,50±0,67 ^{Db}	7,67±0,49 ^{Ab}	6,58±0,51 ^{Ac}	6,08±0,51 ^{Ad}
Tat/Aroma	Kontrol	8,33±0,65 ^{Aa}	7,92±0,51 ^{Aab}	7,75±0,45 ^{Ab}	7,75±0,45 ^{Ab}	6,33±0,65 ^{Ac}
	LF2-SB	8,25±0,62 ^{Aa}	7,92±0,50 ^{Aab}	7,25±0,75 ^{Bbc}	7,50±0,52 ^{ABc}	6,67±0,49 ^{Ad}
	LF2-EB	8,50±0,52 ^{Aa}	8,00±0,74 ^{Ab}	7,58±0,67 ^{ABbc}	7,33±0,49 ^{Bc}	6,67±0,49 ^{Ad}
	LP4-SB	8,67±0,49 ^{Aa}	8,17±0,39 ^{Ab}	8,00±0,60 ^{Ab}	7,33±0,49 ^{Bc}	6,75±0,45 ^{Ad}
	LP4-EB	8,58±0,67 ^{Aa}	7,92±0,29 ^{Aab}	7,92±0,51 ^{Ab}	7,08±0,67 ^{Bc}	6,50±0,52 ^{Ad}
	LPE1-SB	8,67±0,49 ^{Aa}	8,08±0,51 ^{Ab}	7,75±0,45 ^{Ab}	7,25±0,45 ^{Bc}	6,75±0,62 ^{Ad}
Çiğnenebilirlik	LPE1-EB	8,67±0,49 ^{Aa}	7,92±0,67 ^{Ab}	7,75±0,45 ^{ABc}	7,33±0,49 ^{Bc}	6,75±0,45 ^{Ad}
	Kontrol	8,17±0,72 ^{Ba}	7,75±0,45 ^{Aa}	7,50±0,67 ^{Aa}	6,92±0,67 ^{Ab}	6,33±0,49 ^{Ac}
	LF2-SB	8,25±0,62 ^{Aa}	7,50±0,67 ^{Ab}	7,75±0,45 ^{Aab}	6,75±0,97 ^{ABc}	6,42±0,79 ^{Ac}
	LF2-EB	8,33±0,65 ^{Aa}	7,67±0,65 ^{Ab}	7,75±0,45 ^{Ab}	6,83±0,58 ^{Ac}	6,42±0,79 ^{Ac}
	LP4-SB	8,25±0,45 ^{Aa}	7,75±0,45 ^{Ab}	7,75±0,62 ^{Ab}	7,08±0,67 ^{Ac}	6,33±0,78 ^{Ad}
	LP4-EB	8,58±0,51 ^{Aa}	8,25±0,45 ^{Ab}	7,83±0,39 ^{Ab}	7,25±0,45 ^{Ac}	6,75±0,45 ^{Ad}
Genel Kabul Edilebilirlik	LPE1-SB	8,50±0,52 ^{Aa}	7,50±0,52 ^{Ab}	7,5±0,67 ^{Ab}	6,25±0,62 ^{Bc}	6,33±0,65 ^{Ac}
	LPE1-EB	8,58±0,51 ^{Aa}	7,42±0,51 ^{Ab}	7,58±0,51 ^{Ab}	6,25±0,45 ^{Bc}	6,00±0,74 ^{Ac}
	Kontrol	8,42±0,51 ^{Aa}	8,17±0,58 ^{ABa}	7,58±0,51 ^{Bb}	6,67±0,49 ^{Bc}	6,17±0,58 ^{Bd}
	LF2-SB	8,50±0,52 ^{Aa}	8,33±0,49 ^{Aa}	8,08±0,51 ^{Aa}	7,17±0,39 ^{Ab}	6,42±0,67 ^{ABc}
	LF2-EB	8,58±0,51 ^{Aa}	8,08±0,51 ^{ABCb}	8,00±0,43 ^{Ab}	7,25±0,45 ^{Ac}	6,50±0,67 ^{ABd}
	LP4-SB	8,50±0,52 ^{Aa}	8,00±0,43 ^{ABCab}	8,00±0,51 ^{Ab}	7,00±0,62 ^{Ac}	6,58±0,51 ^{ABd}
	LP4-EB	8,67±0,49 ^{Aa}	8,08±0,51 ^{ABCb}	8,17±0,39 ^{Ab}	7,50±0,60 ^{Ac}	6,67±0,49 ^{Ad}
	LPE1-SB	8,58±0,51 ^{Aa}	7,83±0,39 ^{BCb}	7,83±0,39 ^{ABb}	6,92±0,29 ^{ABc}	6,58±0,51 ^{ABc}
	LPE1-EB	8,75±0,45 ^{Aa}	7,75±0,45 ^{Cb}	8,25±0,29 ^{ABb}	7,08±0,29 ^{Ac}	6,42±0,51 ^{ABd}

*SB, serbest bakteri; EB, enkasüle bakteri; kontrol, serbest veya enkasüle bakteri içermeyen pestil; LF2, *Limosilactobacillus fermentum* SH10; LP4, *Lactiplantibacillus plantarum* SH11; LPE1, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B. Belirtilen analiz için numuneler arasındaki farklar, aynı sütunda farklı büyük harflerle, p<0,05 anlamlılık düzeyiyle temsil edilir. Aynı satırdaki farklı küçük harfler aynı örneğin depolama günleri arasındaki farkı göstermektedir (p<0,05).



Şekil 4. 4 Pestil örneklerinin 120 günlük depolama boyunca duyu özelliklerinin örümcek ağ grafikleri

Sertlik ve çiğnenebilirlik özellikleri, ürünün fiziksel dokusunun tüketici tarafından nasıl algılandığını göstermektedir. Tekstürel özelliklerde elastikiyet değeri arttıkça pestilin duysal özelliklerinde pestilden beklenen yapı/ doku özelliklerinin de puanlarının arttığı gözlemlenmiştir. Depolama başlangıcında enkapsüle bakteri içeren pestillerin daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun enkapsülasyonda kullanılan maltodekstrin kaplama materyalinden kaynaklı olabileceği düşünülmüştür. Depolama boyunca örnekler arası sertlik değerlerinde bire bir korelasyon görülmemiştir, fakat genel olarak pestillerin sertlik değerleri düşük bulunmuştur ve depolama boyunca artma eğiliminde olmuştur. Pestillerin iç yapışkanlığı (kohezyon) ve çiğnenebilirlik arasındaki ilişki tekstür analizi ile test edilmiştir ve duysal analizlerle de bu tekstürel özellikler değerlendirilmiştir. Duysal analizler değerlendirildiğinde, pestillerin tümünde çiğnenebilirlik değerleri depolama boyunca düşüş eğilimi göstermiştir. Yüksek kohezyon, düşük çiğnenebilirlik ile ilişkilendirilebilir, bu da duysal algıda zorlayıcı bir çiğneme hissi oluşturabilmektedir. Pestillerin tüm özellikleri incelendiğinde; depolama süresinin pestillerin birçok özelliğinin üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Fizikokimyasal özelliklerdeki değişimler, duysal kabulü doğrudan etkilemiştir. Depolama boyunca sertlikteki artışın duysal analizlerde genel beğeni algısında etkili olabileceği düşünülmüş ve depolama boyunca sertlik değerleri arttıkça genel beğenin düşüğü gözlemlenmiştir. Kontrol pestillerinin duysal analizlerde başlangıçta düşük koku puanları almasına karşın zamanla bu eğilimin tersine döndüğü gözlemlenmiştir. Pestillerin duysal ve tekstür özellikleri yanı sıra probiyotik canlılığının depolama süresince korunumu ve GI geçişte canlılığının yüksek olması da probiyotik taşıyıcısı olarak önemli bir faktördür. LP4-EB pestili depolama boyunca %33,55 azalmayla en az canlı LAB azalması göstermiştir. Ayrıca *in vitro* sindirim simülasyonu sonunda da LAB canlılığı %81,54 ile en yüksek değerde bulunmuştur. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde kabul edilebilir duysal ve tekstür değerleri ve yüksek canlı bakteri taşıma kapasitesiyle LP4-EB diğer pestillere kıyasla tercih edilebilir özelliklerdedir.

5

SONUÇ

Bu çalışmada laktofermente içeceklerden izole edilmiş veprobiyotik özellikleri belirlenmiş 10 LAB izolatının sükroz, fruktoz ve ısı stresine karşı direnci belirlenmiş ve en dirençli 3 izolat enkapsülasyon çalışmaları için seçilmiştir. Daha sonra, kaplama malzemesi olarak maltodekstrin kullanılarak seçilen izolatların püskürterek kurutma ile mikroenkapsülasyon koşulları optimize edilmiştir. Maltodekstrin konsantrasyonu (%10-30) ve hava giriş sıcaklığı (110-130°C) değişkenlerinin yanıtları olan toz verimi ve canlılık üzerindeki doğrusal, etkileşim ve ikinci dereceden etkileri değerlendirilip YYM'nin DMKDT kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra, enkapsüle edilen bakterilerin mikromorfolojik özellikleri değerlendirilmiştir. Optimum özelliklerdeki tozlar ve serbest bakteriler ayrı ayrı kayısı pestil formülasyonuna ilave edilmiştir. Kontrol örneği olarak bakteri ilavesiz kayısı pestili formülasyonu oluşturulmuştur. Pestillerde probiyotik canlılığı değerlendirmek için *in vitro* sindirim çalışmaları yapılmıştır. 120 günlük depolama boyunca pestillerin fizikokimyasal, mikrobiyolojik, biyoaktif ve duyuşal özellikleri incelenmiştir.

5.1 Sonuç

Çalışma boyunca aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- Sükroz, fruktoz ve ısı stresine en dirençli probiyotik bakteri olarak *Lactiplantibacillus plantarum* SH11 (LP4), *Lactiplantibacillus pentosus* G4B (LPE1) ve *Limosilactobacillus fermentum* SH10 (LF2) suşları seçilmiştir.
- LF2 yüklü toz için maksimum toz verimi (%50,97) ve maksimum canlılığın (10,27 log KOB/g) tahmin edilen seviyeleri: 123,21 °C HGS ve %22,76 MK olarak bulunurken, LP4 yüklü toz için maksimum toz verimi (%45,89) ve maksimum canlılık (10,27 log KOB/g) tahmin edilen seviyeleri: 130,37 °C'lik HGS ve %19,49'luk MK olarak ve LPE1 yüklü toz için maksimum toz verimi (%43,38) ve canlılık (10,33 log KOB/g) için en uygun koşullar 127,94 °C HGS ve %10,00 MK olarak belirlenmiştir.

- Model uygulandığında; modelde tahmin edilen değerlerle gerçek değerlerin istatistiksel olarak fark olmadığı ve modelin doğrulandığı gözlemlenmiştir ($<0,05$).
- SEM görüntüleri, mikrokapsül oluşumunun tipik küresel şekilde olduğunu doğrulamıştır.
- Enkapsüle edilmiş toz probiyotiklerin nem içeriğinin ortalama %5 civarında (a/a) olduğu bulunmuştur.
- *Lactiplantibacillus plantarum* SH11, *Lactiplantibacillus pentosus* G4B ve *Limosilactobacillus fermentum* SH10, daha önce hazırlanan kayısı pestili formülasyonuna enkapsüle ve serbest şekilde başarıyla dahil edilmiştir.
- Sonuçlar, hem serbest hem de enkapsüle formdaki probiyotik ilaveli pestillerin kontrole kıyasla depolama sırasında daha az nem kaybına uğradığını göstermiştir.
- Probiyotiksiz (kontrol) ve probiyotik ilaveli pestiller arasında gözlemlenebilir renk farklılıkları kaydedilmiştir.
- 90 günlük depolama süresi boyunca zenginleştirilmiş pestillerin tümünün, Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinin Genel Etiketleme ve Beslenme Yönünden Etiketleme Kuralları Tebliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Tebliği'ne göre (Tebliğ No:2006/34) tarafından önerilen probiyotik ürünlerin içermesi gereken probiyotik miktarına ($>6 \log \text{KOB/g}$) uygun olduğu gözlemlenmiştir. 120 güne kadar ise sadece enkapsüle bakteri ilaveli formlarının uygun olduğu gözlemlenmiştir.
- Pestillerin DPPH radikal temizleme aktivitesi, serbest veya kapsüllenmiş probiyotik bakterilerin eklenmesiyle önemli ölçüde artmıştır.
- Başlangıçta probiyotik ilaveli tüm ürünler istenen seviyede probiyotik bakteriyi barındırırken kapsüllenmiş formların, *in vitro* simüle GI şartlarında probiyotik canlılığının korunmasında daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, enterik 2 fazının sonunda enkapsüle bakteriler, $6 \log \text{KOB/g}$ 'ın üzerinde canlılık gösterirken serbest bakteri içeren formlar bu değerin altında kalmıştır.
- Sonuç olarak, enkapsüle probiyotik ilave edilerek üretilmiş pestillerin, uygun tat, kabul edilebilirlik ve dört aydan uzun süre güvenli tüketilebilirlik

gibi nedenlerle yenilikçi probiyotik gıda ürünleri olma potansiyeline sahip oldukları tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

- Çalışmada üretilen enkapsüle bakterilerin; meyve pestilleri, meyve barları, meyve reçelleri ve bazı şekerlemeler gibi yüksek ozmotik basınç ve ısıtılma işlemine tabi tutulan gıdalarda kullanılma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiş ve farklı ürün formülasyonlarında da kullanılabileceği öngörülmüştür.
- Çalışmada probiyotik taşıyıcısı pestil hammaddesi olarak kayısı seçilmiştir. Bundan sonra yapılabilecek çalışmalarda farklı meyveler kullanılarak enkapsüle probiyotik ilaveli pestiller çeşitlendirilebilir.
- Çalışmada kullanılan bakteriler değiştirilerek ve farklı probiyotik enkapsülasyon denemeleri yapılarak yeni probiyotik taşıyıcısı pestiller geliştirilebilir.
- Çalışmada seçilen enkapsülasyon duvar malzemesi olan maltodekstrin çeşitlendirilerek farklı enkapsülasyon denemeleri yapılabilir.
- Çalışmada üretilen pestillerin ve bu formülasyonlarla çeşitlendirilebilecek olan meyve sebze bazlı probiyotik pestillerin vejetaryenler ve laktoz intoleransı olan kişiler için de uygun bir seçenek olarak tüketilebilecekleri önerilebilir.
- Depolama süreleri bakımından üretilen probiyotik tozların nem içeriğinin düşürülmesi konusunda da daha ileri çalışmaların yapılması tavsiye edilmektedir.
- Bu çalışmada yapılan *in vitro* sindirim testleri, probiyotiklerin etki mekanizması hakkında bize az da olsa bilgi verse de *in vivo* testler kadar etkili olmadığından ürünün, probiyotik etkilerini daha iyi gözlemleyebilmek için *in vivo* testlerin hayvan deneyleri ile çalışılması önerilmektedir.

- [1] Z. Atak, M. Koç, and F. Kaymak-Ertekin, “Gıda Endüstrisinde Aroma Mikroenkapsülasyonu,” *Akademik Gıda*, pp. 416–425, Dec. 2017, doi: 10.24323/akademik-gida.370270.
- [2] M. Koç, M. Sakin, and F. Kaymak-Ertekin, “Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı, Mühendislik Bilimleri Dergisi,” pp. 77–86, 2010.
- [3] N. Obradović, M. Volić, V. Nedović, M. Rakin, and B. Bugarski, “Microencapsulation of probiotic starter culture in protein–carbohydrate carriers using spray and freeze-drying processes: Implementation in whey-based beverages,” *J Food Eng*, vol. 321, p. 110948, May 2022, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.110948.
- [4] D. Arepally and T. K. Goswami, “Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying,” *LWT*, vol. 99, pp. 583–593, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2018.10.022.
- [5] P. Suryabhan, K. Lohith, and K. A. Anu-Appaiah, “Sucrose and sorbitol supplementation on maltodextrin encapsulation enhance the potential probiotic yeast survival by spray drying,” *LWT*, vol. 107, pp. 243–248, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.002.
- [6] Z. Xiao, J. Xia, Q. Zhao, Y. Niu, and D. Zhao, “Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review,” Dec. 15, 2022, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.carbpol.2022.120113.
- [7] B. Yasar, G. Kutlu, and F. Tornuk, “Edible flowers as sources of bioactive compounds: Determination of phenolic extraction conditions,” *Int J Gastron Food Sci*, vol. 30, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.ijgfs.2022.100618.

- [8] FAO/WHO, "Probiotics in food health and nutritional properties and guidelines for evaluation, food and nutrition paper," 2001.
- [9] Turkish Food Codex, "Republic of Türkiye ministry of agriculture and forestry general directorate of food and control," <https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Menus/81/Turkish-Food-Codex-Legislation>, 2006.
- [10] IPA/FDA, "IPA petitions FDA on requiring CFUs for probiotic labeling," <https://internationalprobiotics.org/2198-2/>, 2016.
- [11] I. Giordano, J. Abuqwider, M. Altamimi, R. Di Monaco, S. Puleo, and G. Mauriello, "Application of ultrasound and microencapsulation on *Limosilactobacillus reuteri* DSM 17938 as a metabolic attenuation strategy for tomato juice probiotication," *Heliyon*, vol. 8, no. 10, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10969.
- [12] S. Minj and S. Anand, "Development of a spray-dried conjugated whey protein hydrolysate powder with entrapped probiotics," *J Dairy Sci*, vol. 105, no. 3, pp. 2038–2048, Mar. 2022, doi: 10.3168/jds.2021-20978.
- [13] M. Ü. Ünal and A. Şener, "Biochemical properties of β -glucosidase from Turkish Hacıhaliloğlu apricot (*Prunus armenica* L.) as affected by harvest year," *LWT*, vol. 79, pp. 190–196, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.01.033.
- [14] M. Gündoğdu, "Effect of rootstocks on phytochemical properties of apricot fruit," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 43, no. 1, pp. 1–10, 2019, doi: 10.3906/tar-1803-99.
- [15] M. M. Coman, C. Cecchini, M. C. Verdenelli, S. Silvi, C. Orpianesi, and A. Cresci, "Functional foods as carriers for SYN BIO®, a probiotic bacteria combination," *Int J Food Microbiol*, vol. 157, no. 3, pp. 346–352, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.06.003.
- [16] F. M. Yılmaz, S. Yüksekaya, H. Vardin, and M. Karaaslan, "The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate

- fruit leather (pestil),” *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, vol. 16, no. 1, pp. 33–40, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.jssas.2015.01.003.
- [17] Y. Bedir and Mehmet Murat Karaoğlu, “Textural and rheological properties of mulberry leather (pestil) produced with whole grain flours,” *Int J Gastron Food Sci*, vol. 30, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.ijgfs.2022.100613.
- [18] O. Yildiz and G. M. Boyraci, “Production and Some Quality Parameters of Sugar Beet Sweets (Pestil and Köme),” *Sugar Tech*, vol. 22, no. 5, pp. 842–852, Oct. 2020, doi: 10.1007/s12355-020-00832-z.
- [19] E. S. Uslu, G. Ucak, P. K. Akman, and F. Tornuk, “A novel probiotic carrier fruit-based snack food: Apricot pestil,” in *Journal of Biotechnology*, 2018, p. 19.
- [20] M. Yıldırım-Yalçın, M. Şeker, and H. Sadıkoğlu, “Development and characterization of edible films based on modified corn starch and grape juice,” *Food Chem*, vol. 292, pp. 6–13, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.04.006.
- [21] C. M. Niro *et al.*, “Banana leathers as influenced by polysaccharide matrix and probiotic bacteria,” *Food Hydrocolloids for Health*, vol. 2, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.fhfh.2022.100081.
- [22] F. Yuksel, B. Yavuz, and C. Baltacı, “Some physicochemical, color, bioactive and sensory properties of a pestil enriched with wheat, corn and potato flours: An optimization study based on simplex lattice mixture design,” *Int J Gastron Food Sci*, vol. 28, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.ijgfs.2022.100513.
- [23] M. Min, C. R. Bunt, S. L. Mason, and M. A. Hussain, “Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods,” Sep. 08, 2019, *Taylor and Francis Inc.* doi: 10.1080/10408398.2018.1462760.

- [24] M. T. El-Saadony *et al.*, “The functionality of probiotics in aquaculture: An overview,” *Fish Shellfish Immunol*, vol. 117, pp. 36–52, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007.
- [25] S. Fijan, “Microorganisms with Claimed Probiotic Properties: An Overview of Recent Literature,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 11, no. 5, pp. 4745–4767, May 2014, doi: 10.3390/ijerph110504745.
- [26] E. M. F. Martins, A. M. Ramos, E. S. L. Vanzela, P. C. Stringheta, C. L. de Oliveira Pinto, and J. M. Martins, “Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria,” May 2013. doi: 10.1016/j.foodres.2013.01.047.
- [27] P. T. Nguyen, T. T. Nguyen, T. N. T. Vo, T. T. X. Nguyen, Q. K. Hoang, and H. T. Nguyen, “Response of *Lactobacillus plantarum* VAL6 to challenges of pH and sodium chloride stresses,” *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-020-80634-1.
- [28] A. R. de Marins *et al.*, “Effect of the addition of encapsulated *Lactiplantibacillus plantarum* Lp-115, *Bifidobacterium animalis* spp. *lactis* Bb-12, and *Lactobacillus acidophilus* La-5 to cooked burger,” *LWT*, vol. 155, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112946.
- [29] J. Mota-Gutierrez and L. Cocolin, “Current trends and applications of plant origin lactobacilli in the promotion of sustainable food systems,” Aug. 01, 2021, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.tifs.2021.05.030.
- [30] R. Nagpal, A. Kumar, M. Kumar, P. V. Behare, S. Jain, and H. Yadav, “Probiotics, their health benefits and applications for developing healthier foods: A review,” Sep. 2012. doi: 10.1111/j.1574-6968.2012.02593.x.
- [31] G. Wieërs *et al.*, “How Probiotics Affect the Microbiota,” Jan. 15, 2020, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fcimb.2019.00454.
- [32] M. Cunningham *et al.*, “Shaping the Future of Probiotics and Prebiotics,” Aug. 01, 2021, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.tim.2021.01.003.

- [33] C. F. Balthazar *et al.*, “Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study,” *J Funct Foods*, vol. 35, pp. 564–573, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.jff.2017.06.004.
- [34] J. T. Guimarães *et al.*, “Impact of probiotics and prebiotics on food texture,” Jun. 01, 2020, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.cofs.2019.12.002.
- [35] P. M. Reque and A. Brandelli, “Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry,” *Trends Food Sci Technol*, vol. 114, pp. 1–10, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.tifs.2021.05.022.
- [36] Seid Mahdi Jafari, *Nanoencapsulation of food bioactive ingredients: Principles and applications.*, Academic Press. 2017.
- [37] A. E. Abd El Kader and H. M. Abu Hashish, “Encapsulation techniques of food bioproduct,” *Egypt J Chem*, vol. 63, no. 5, pp. 1881–1909, May 2020, doi: 10.21608/ejchem.2019.16269.1993.
- [38] H. Peker and S. Arslan, “Microencapsulation and its applications in dairy technology,” Denizli, Nov. 2011. [Online]. Available: <http://www.academicfoodjournal.com>
- [39] K. G. H. Desai and H. Jin Park, “Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients,” *Drying Technology*, vol. 23, no. 7, pp. 1361–1394, Jul. 2005, doi: 10.1081/DRT-200063478.
- [40] T. Huq, A. Khan, R. A. Khan, B. Riedl, and M. Lacroix, “Encapsulation of Probiotic Bacteria in Biopolymeric System,” *Crit Rev Food Sci Nutr*, vol. 53, no. 9, pp. 909–916, Jan. 2013, doi: 10.1080/10408398.2011.573152.
- [41] Yuen, “Cosmetic textiles with biological benefits: Gelatin microcapsules containing Vitamin C,” *Int J Mol Med*, vol. 24, no. 04, Aug. 2009, doi: 10.3892/ijmm_00000247.
- [42] A. Bhagwat, P. Bhushette, and U. S. Annapure, “Spray drying studies of probiotic *Enterococcus* strains encapsulated with whey protein and

- maltodextrin,” *Beni Suef Univ J Basic Appl Sci*, vol. 9, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1186/s43088-020-00061-z.
- [43] J. Sris, A. Seethadevi, K. Prabha, P. Muthuprasanna, and P. Pavitra, “Microencapsulation: A Review,” *Int J Pharma Bio Sci*, vol. 3, no. 1, 2012, [Online]. Available: www.ijpbs.net
- [44] M. Trilokia *et al.*, “Microencapsulation for food: An overview,” *The Pharma Innovation Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 1174–1180, 2022, [Online]. Available: <http://www.thepharmajournal.com>
- [45] C. O. Dias *et al.*, “Development and physico-chemical characterization of microencapsulated bifidobacteria in passion fruit juice: A functional non-dairy product for probiotic delivery,” *Food Biosci*, vol. 24, pp. 26–36, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.fbio.2018.05.006.
- [46] J. Barbosa *et al.*, “Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder,” *J Funct Foods*, vol. 17, pp. 340–351, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.jff.2015.06.001.
- [47] S. Arslan, M. Erbas, I. Tontul, and A. Topuz, “Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying,” *LWT - Food Science and Technology*, vol. 63, no. 1, pp. 685–690, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.034.
- [48] T. Özcan and B. Altun, “Süt Ürünlerinde Probiyotik Bakterilerin Mikroenkapsülasyonu I: Enkapsülasyon Teknikleri,” 2013.
- [49] M. Chen and K. Chen, “Applications of Probiotic Encapsulation in Dairy Products,” in *Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems*, Wiley, 2007, pp. 83–112. doi: 10.1002/9780470277881.ch4.
- [50] K. G. H. Desai and H. Jin Park, “Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients,” *Drying Technology*, vol. 23, no. 7, pp. 1361–1394, Jul. 2005, doi: 10.1081/DRT-200063478.

- [51] W. Lian, "Survival of bifidobacteria after spray-drying," *Int J Food Microbiol*, vol. 74, no. 1–2, pp. 79–86, Mar. 2002, doi: 10.1016/S0168-1605(01)00733-4.
- [52] R. Sharma, A. Rashidinejad, and S. M. Jafari, "Application of Spray Dried Encapsulated Probiotics in Functional Food Formulations," Oct. 01, 2022, *Springer*. doi: 10.1007/s11947-022-02803-6.
- [53] S. Rokka and P. Rantamäki, "Protecting probiotic bacteria by microencapsulation: Challenges for industrial applications," May 2010. doi: 10.1007/s00217-010-1246-2.
- [54] M. Chavarri, I. Maranon, and M. Carmen, "Encapsulation Technology to Protect Probiotic Bacteria," in *Probiotics*, InTech, 2012. doi: 10.5772/50046.
- [55] E. Assadpour and S. M. Jafari, "Advances in Spray-Drying Encapsulation of Food Bioactive Ingredients: From Microcapsules to Nanocapsules," *Annu Rev Food Sci Technol*, vol. 10, no. 1, pp. 103–131, Mar. 2019, doi: 10.1146/annurev-food-032818-121641.
- [56] A. Šipailienė and S. Petraitytė, "Encapsulation of Probiotics: Proper Selection of the Probiotic Strain and the Influence of Encapsulation Technology and Materials on the Viability of Encapsulated Microorganisms," *Probiotics Antimicrob Proteins*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, Mar. 2018, doi: 10.1007/s12602-017-9347-x.
- [57] J. Burgain, C. Gaiani, M. Linder, and J. Scher, "Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications," *J Food Eng*, vol. 104, no. 4, pp. 467–483, Jun. 2011, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031.
- [58] D. Baş and İ. H. Boyacı, "Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology," *J Food Eng*, vol. 78, no. 3, pp. 836–845, Feb. 2007, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024.
- [59] M. A. Bezerra, R. E. Santelli, E. P. Oliveira, L. S. Villar, and L. A. Escaleira, "Response surface methodology (RSM) as a tool for

- optimization in analytical chemistry,” *Talanta*, vol. 76, no. 5, pp. 965–977, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.talanta.2008.05.019.
- [60] G. Hanrahan and K. Lu, “Application of Factorial and Response Surface Methodology in Modern Experimental Design and Optimization,” *Crit Rev Anal Chem*, vol. 36, no. 3–4, pp. 141–151, Dec. 2006, doi: 10.1080/10408340600969478.
- [61] K. Kailasapathy, “Microencapsulation of Probiotic Bacteria 39 Microencapsulation of Probiotic Bacteria: Technology and Potential Applications,” 2002. [Online]. Available: www.caister.com/bacteria-plant
- [62] M. J. Martín, F. Lara-Villoslada, M. A. Ruiz, and M. E. Morales, “Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 27, pp. 15–25, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.ifset.2014.09.010.
- [63] A. Picot and C. Lacroix, “Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt,” *Int Dairy J*, vol. 14, no. 6, pp. 505–515, Jun. 2004, doi: 10.1016/j.idairyj.2003.10.008.
- [64] B. Riveros, J. Ferrer, and R. Bórquez, “Spray Drying of a Vaginal Probiotic Strain of *Lactobacillus acidophilus*,” *Drying Technology*, vol. 27, no. 1, pp. 123–132, Jan. 2009, doi: 10.1080/07373930802566002.
- [65] L. Kakuda *et al.*, “Process Development for the Spray-Drying of Probiotic Bacteria and Evaluation of the Product Quality,” *Journal of Visualized Experiments*, no. 194, Apr. 2023, doi: 10.3791/65192.
- [66] M. Bielecka and A. Majkowska, “Bielecka/Majkowska: Effect of spray drying temperature on yoghurt Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and

- sensoric properties of yoghurt powder,” 2000, doi: 10.1002/1521-3803(20000701)44:4<257::AID.
- [67] S. Huang *et al.*, “Spray drying of probiotics and other food-grade bacteria: A review,” May 01, 2017, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.tifs.2017.02.007.
- [68] A. E. C. Antunes *et al.*, “Acerola nectar with added microencapsulated probiotic,” *LWT - Food Science and Technology*, vol. 54, no. 1, pp. 125–131, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.lwt.2013.04.018.
- [69] D. Ying, J. Sun, L. Sanguansri, R. Weerakkody, and M. A. Augustin, “Enhanced survival of spray-dried microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG in the presence of glucose,” *J Food Eng*, vol. 109, no. 3, pp. 597–602, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.017.
- [70] T. Petreska-Ivanovska *et al.*, “From optimization of synbiotic microparticles prepared by spray-drying to development of new functional carrot juice,” *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, vol. 20, no. 4, pp. 549–564, 2014, doi: 10.2298/CICEQ130218036P.
- [71] K. Anekella and V. Orsat, “Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying,” *LWT*, vol. 50, no. 1, pp. 17–24, 2013, doi: 10.1016/j.lwt.2012.08.003.
- [72] P. KS, B. K, and M. V, “Development of Synbiotic Litchi Juice Drink and its Physiochemical, Viability and Sensory Analysis,” *J Food Process Technol*, vol. 8, no. 12, 2017, doi: 10.4172/2157-7110.1000708.
- [73] M. Sharvari *et al.*, “Microencapsulation of Probiotics (*Lactobacillus Casei* and *Bifidobacterium Longum*) in Pineapple Jam by Spray Drying and its Comparitive Study.” [Online]. Available: <http://www.fspublishers.org>
- [74] Kalal Archana Y., Hiregoudar Sharangouda, Nidoni Udaykumar, C.T Ramachandra, and Naik Nagaraj, “Nanoencapsulation of *Lactobacillus*

- casei in Bitter Gourd Juice using Spray Drying,” *Int J Agric Sci Res (Chennai)*, vol. 6, no. 2, pp. 9–20, 2017.
- [75] R. Kumari and D. Seth, “Optimization of microencapsulation of probiotics in carambola fruit juice by spray drying,” in *International Conference on Emerging Technologies in Agricultural and Food Engineering (ETAE 2016)*, IIT Kharagpur, 2016.
- [76] L. M. Diamante, X. Bai, and J. Busch, “Fruit Leathers: Method of Preparation and Effect of Different Conditions on Qualities,” *Int J Food Sci*, vol. 2014, pp. 1–12, 2014, doi: 10.1155/2014/139890.
- [77] R. Naz, “Physical properties, sensory attributes and consumer preference of fruit leather,” 2012.
- [78] Z. Radhi addai, aminah Abdullah, sahilah Abd mutalib, and K. Hamid musa, “Evaluation of fruit leather made from two cultivars of papaya,” *Ital. J. Food Sci*, vol. 28, pp. 28–2016, 2016.
- [79] G. Lee and F. Hsieh, “Thin-Layer Drying Kinetics of Strawberry Fruit Leather,” *Trans ASABE*, vol. 51, no. 5, pp. 1699–1705, 2008, doi: 10.13031/2013.25292.
- [80] P. Sharma, M. Ramchiary, D. Samyor, and A. B. Das, “Study on the phytochemical properties of pineapple fruit leather processed by extrusion cooking,” *LWT - Food Science and Technology*, vol. 72, pp. 534–543, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.lwt.2016.05.001.
- [81] F. M. Yilmaz, S. Yükksekaya, H. Vardin, and M. Karaaslan, “The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil),” *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, vol. 16, no. 1, pp. 33–40, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.jssas.2015.01.003.
- [82] U. Neog, P. Dhar, T. Kumari, C. Nickhil, S. C. Deka, and R. Pandiselvam, “Optimization of microwave-assisted process for extraction of phytochemicals from norabogori fruit (*Prunuspersica* L.

- Batsch) and its application as fruit leather,” *Biomass Convers Biorefin*, Mar. 2023, doi: 10.1007/s13399-023-04035-w.
- [83] M. W. Kuria, J. W. Matofari, and J. M. Nduko, “Physicochemical, antioxidant, and sensory properties of functional mango (*Mangifera indica* L.) leather fermented by lactic acid bacteria,” *J Agric Food Res*, vol. 6, p. 100206, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.jafr.2021.100206.
- [84] A. Y. Bustos, G. Font, and M. P. Taranto, “Fruit and vegetable snacks as carriers of probiotics and bioactive compounds: a review,” *Int J Food Sci Technol*, vol. 58, no. 6, pp. 3211–3223, Jun. 2023, doi: 10.1111/ijfs.16400.
- [85] P. K. Akman, G. Ozulku, F. Tornuk, and H. Yetim, “Potential probiotic lactic acid bacteria isolated from fermented gilaburu and shalgam beverages,” *LWT*, vol. 149, p. 111705, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111705.
- [86] J. A. Troller and J. V Stinson, “Moisture Requirements for Growth and Metabolite Production by Lactic Acid Bacteria,” 1981.
- [87] A. GÜNDÜZ, “Model sistemlerde laktik asit bakterileri (*Lactobacillus bulgaricus* ve *Lactococcus lactis*) üzerine stres faktörlerin etkisinin belirlenmesi,” Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010.
- [88] A. Kumar and D. Kumar, “Characterization of *Lactobacillus* isolated from dairy samples for probiotic properties,” *Anaerobe*, vol. 33, pp. 117–123, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.anaerobe.2015.03.004.
- [89] C. Leylak, K. S. Özdemir, G. C. Gurakan, and Z. B. Ogel, “Optimisation of spray drying parameters for *Lactobacillus acidophilus* encapsulation in whey and gum Arabic: Its application in yoghurt,” *Int Dairy J*, vol. 112, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.idairyj.2020.104865.
- [90] G. Chegini and M. Taheri, “Whey powder: Process technology and physical properties: A review,” 2013. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2013.13.10.1239.

- [91] P. Kuang *et al.*, “Physicochemical Properties and Storage Stability of Lutein Microcapsules Prepared with Maltodextrins and Sucrose by Spray Drying,” *J Food Sci*, vol. 80, no. 2, pp. E359–E369, Feb. 2015, doi: 10.1111/1750-3841.12776.
- [92] T. Y. Sheu and R. T. Marshall, “Microentrapment of Lactobacilli in Calcium Alginate Gels,” *J Food Sci*, vol. 58, no. 3, pp. 557–561, May 1993, doi: 10.1111/j.1365-2621.1993.tb04323.x.
- [93] “AOAC 2000”.
- [94] M. A. Colín-Cruz, D. J. Pimentel-González, H. Carrillo-Navas, J. Alvarez-Ramírez, and A. Y. Guadarrama-Lezama, “Co-encapsulation of bioactive compounds from blackberry juice and probiotic bacteria in biopolymeric matrices,” *LWT*, vol. 110, pp. 94–101, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2019.04.064.
- [95] W. Horwitz, “Official methods of analysis of the association of official analytical chemists(AOAC), 12th edition. Washington, DC 20044.,” in *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 65, 1975, p. 1094. doi: 10.1002/jps.2600650148.
- [96] I. Karabulut, A. Topcu, A. Duran, S. Turan, and B. Ozturk, “Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.),” *LWT - Food Science and Technology*, vol. 40, no. 5, pp. 753–758, Jun. 2007, doi: 10.1016/j.lwt.2006.05.001.
- [97] M. A. Alnuwaiser, “Content of sugars in fresh grapes and raisins, and fresh and dried apricot: A comparative study,” *International Journal of Research -GRANTHAALAYAH*, vol. 5, no. 11, pp. 177–186, Nov. 2017, doi: 10.29121/granthaalayah.v5.i11.2017.2345.
- [98] V. Eyiz, İ. Tontul, and S. Türker, “Effect of variety, drying methods and drying temperature on physical and chemical properties of hawthorn leather,” *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 14, no. 6, pp. 3263–3269, Dec. 2020, doi: 10.1007/s11694-020-00574-2.

- [99] B. Subaşı-Zarbaliyev, G. Kutlu, and F. Törnük, "Polyvinyl alcohol nanoparticles loaded with propolis extract: Fabrication, characterization and antimicrobial activity," *ADMET DMPK*, May 2023, doi: 10.5599/admet.1740.
- [100] V. Singh, N. Guizani, A. Al-Alawi, M. Claereboudt, and M. S. Rahman, "Instrumental texture profile analysis (TPA) of date fruits as a function of its physico-chemical properties," *Ind Crops Prod*, vol. 50, pp. 866–873, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.08.039.
- [101] A. M. Liserre, M. I. Ré, and B. D. G. M. Franco, "Microencapsulation of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* in Modified Alginate-chitosan Beads and Evaluation of Survival in Simulated Gastrointestinal Conditions," *Food Biotechnol*, vol. 21, no. 1, pp. 1–16, Mar. 2007, doi: 10.1080/08905430701191064.
- [102] F. C. A. Buriti, I. A. Castro, and S. M. I. Saad, "Viability of *Lactobacillus acidophilus* in synbiotic guava mousses and its survival under in vitro simulated gastrointestinal conditions," *Int J Food Microbiol*, vol. 137, no. 2–3, pp. 121–129, Feb. 2010, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.11.030.
- [103] N. Ahmad, S. N. Shafi, H. Hassan, R. Asmeda, and A. Othman, "Physicochemical and sensorial properties of optimised roselle-pineapple leather," *Malaysian Journal of Analytical Science*, vol. 22, no. 1, Feb. 2018, doi: 10.17576/mjas-2018-2201-05.
- [104] U. Pato, Y. Yusuf, I. P. Panggabean, N. P. Handayani, N. Adawiyah, and A. N. Kusuma, "Influence of skim milk and sucrose on the viability of lactic acid bacteria and quality of probiotic cocoghurt produced using starters *Lactobacillus casei* subsp. *casei* r-68 and *Streptococcus thermophilus*," *Pakistan Journal of Biotechnology*, vol. 16, no. 1, pp. 13–20, Apr. 2019, doi: 10.34016/pjbt.2019.16.1.3.
- [105] Y. K. Lee and S. Salminen, *Handbook of probiotics and prebiotics*, 2nd Edition. 2009.

- [106] C. Desmond, C. Stanton, G. F. Fitzgerald, K. Collins, and R. Paul Ross, "Environmental adaptation of probiotic lactobacilli towards improvement of performance during spray drying," *Int Dairy J*, vol. 11, no. 10, pp. 801–808, Jan. 2001, doi: 10.1016/S0958-6946(01)00121-2.
- [107] J. Bommasamudram, A. Muthu, and S. Devappa, "Effect of sub-lethal heat stress on viability of *Lacticaseibacillus casei* N in spray-dried powders," *LWT*, vol. 155, p. 112904, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112904.
- [108] K. Vivek, S. Mishra, and R. C. Pradhan, "Optimization of Spray Drying Conditions for Developing Nondairy Based Probiotic Sohiong Fruit Powder," *International Journal of Fruit Science*, vol. 21, no. 1, pp. 193–204, 2021, doi: 10.1080/15538362.2020.1864567.
- [109] S. Chaturvedi and S. Chakraborty, "Comparative analysis of spray-drying microencapsulation of *Lacticaseibacillus casei* in synbiotic legume-based beverages," *Food Biosci*, vol. 50, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.fbio.2022.102139.
- [110] E. C. Ilha, T. da Silva, J. G. Lorenz, G. de Oliveira Rocha, and E. S. Sant'Anna, "Lactobacillus paracasei isolated from grape sourdough: acid, bile, salt, and heat tolerance after spray drying with skim milk and cheese whey," *European Food Research and Technology*, vol. 240, no. 5, pp. 977–984, May 2015, doi: 10.1007/s00217-014-2402-x.
- [111] K. Anekella and V. Orsat, "Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 50, no. 1, pp. 17–24, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.lwt.2012.08.003.
- [112] K. B. P. K. Reddy, A. N. Madhu, and S. G. Prapulla, "Comparative survival and evaluation of functional probiotic properties of spray-dried lactic acid bacteria," *Int J Dairy Technol*, vol. 62, no. 2, pp. 240–248, May 2009, doi: 10.1111/j.1471-0307.2009.00480.x.

- [113] L. O'Sullivan *et al.*, "Prebiotics from marine macroalgae for human and animal health applications," 2010. doi: 10.3390/md8072038.
- [114] M. Bustamante, L. Laurie-Martínez, D. Vergara, R. Campos-Vega, M. Rubilar, and C. Shene, "Effect of three polysaccharides (inulin, and mucilage from chia and flax seeds) on the survival of probiotic bacteria encapsulated by spray drying," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 13, Jul. 2020, doi: 10.3390/app10134623.
- [115] J. Jiang, C. Ma, X. Song, J. Zeng, L. Zhang, and P. Gong, "Spray drying co-encapsulation of lactic acid bacteria and lipids: A review," *Trends Food Sci Technol*, vol. 129, pp. 134–143, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.tifs.2022.09.010.
- [116] R. Paéz *et al.*, "Effect of heat treatment and spray drying on lactobacilli viability and resistance to simulated gastrointestinal digestion," *Food Research International*, vol. 48, no. 2, pp. 748–754, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.foodres.2012.06.018.
- [117] N. Jiang, G. Dev Kumar, J. Chen, A. Mishra, and K. Mis Solval, "Comparison of concurrent and mixed-flow spray drying on viability, growth kinetics and biofilm formation of *Lactobacillus rhamnosus* GG microencapsulated with fish gelatin and maltodextrin," *LWT*, vol. 124, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109200.
- [118] L. L. Tan, M. Mahotra, S. Y. Chan, and S. C. J. Loo, "In situ alginate crosslinking during spray-drying of lactobacilli probiotics promotes gastrointestinal-targeted delivery," *Carbohydr Polym*, vol. 286, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.carbpol.2022.119279.
- [119] C. Saénz, S. Tapia, J. Chávez, and P. Robert, "Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*)," *Food Chem*, vol. 114, no. 2, pp. 616–622, May 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.095.
- [120] L. Yonekura, H. Sun, C. Soukoulis, and I. Fisk, "Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 701748 in matrices containing

- soluble fibre by spray drying: Technological characterization, storage stability and survival after in vitro digestion,” *J Funct Foods*, vol. 6, no. 1, pp. 205–214, 2014, doi: 10.1016/j.jff.2013.10.008.
- [121] F. Yıldız, “New technologies in apricot processing,” *Journal of Standard*, no. Apricot Special Issue, pp. 67–69, 1994.
- [122] S. Ali, T. Masud, and K. S. Abbasi, “Physico-chemical characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) grown in Northern Areas of Pakistan,” *Sci Hortic*, vol. 130, no. 2, pp. 386–392, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.scienta.2011.05.040.
- [123] E. B. Akin, I. Karabulut, and A. Topcu, “Some compositional properties of main Malatya apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties,” *Food Chem*, vol. 107, no. 2, pp. 939–948, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.08.052.
- [124] A. DEMİRTAŞ, M. KARAPINAR, E. S. TANRIVERDİ, and B. OTLU, “Malatya’da yetiştirilen Hacıhaliloğlu Kayısının mikroorganizma kompozisyonunun araştırılması ve potansiyel probiyotik etkilerinin değerlendirilmesi,” *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, vol. 8, no. 3, pp. 643–651, Nov. 2020, doi: 10.33715/inonusaglik.749919.
- [125] A. N. Olaimat *et al.*, “Microbial safety of oily, low water activity food products: A review,” *Food Microbiol*, vol. 92, p. 103571, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.fm.2020.103571.
- [126] R. da Silva Simão, J. O. de Moraes, P. G. de Souza, B. A. Mattar Carciofi, and J. B. Laurindo, “Production of mango leathers by cast-tape drying: Product characteristics and sensory evaluation,” *LWT*, vol. 99, pp. 445–452, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2018.10.013.
- [127] S. Suna, C. E. Tamer, B. İncedayı, G. Özcan, S. & Ömer, and U. Çopur, “Impact of drying methods on physicochemical and sensory properties of apricot pestil,” *Indian Journal of Traditional Knowledge*, vol. 13, no. 1, pp. 47–55, 2014.

- [128] A. 'Ekşi and N. 'Artık, "Pestil işleme tekniği ve kimyasal bileşimi," *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Bilimi ve Teknolojisi Anabilimdalı, Gıda Dergisi*, vol. 9, no. 5, 1984.
- [129] D. Shahrampour, M. Khomeiri, S. M. A. Razavi, and M. Kashiri, "Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45," *LWT*, vol. 118, p. 108758, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2019.108758.
- [130] I. Tontul and A. Topuz, "Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil)," *LWT*, vol. 80, pp. 294–303, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.02.035.
- [131] J. Irwandi, Y. B. Che Man, S. Yusof, S. Jinap, and H. Sugisawa, "Effects of type of packaging materials on physicochemical, microbiological and sensory characteristics of durian fruit leather during storage," *J Sci Food Agric*, vol. 76, no. 3, pp. 427–434, 1998, doi: 10.1002/(sici)1097-0010(199803)76:3<427::aid-jsfa967>3.0.co;2-3.
- [132] A. Batu, C. Kaya, J. Çatak, and C. Şahin, "Pestil Üretim Tekniği," *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, vol. 1, pp. 71–81, 2007.
- [133] M. Afzaal *et al.*, "Survival and stability of free and encapsulated probiotic bacteria under simulated gastrointestinal conditions and in pasteurized grape juice," *J Food Process Preserv*, vol. 44, no. 3, Mar. 2020, doi: 10.1111/jfpp.14346.
- [134] Ł. Grześkowiak, E. Isolauri, S. Salminen, and M. Gueimonde, "Manufacturing process influences properties of probiotic bacteria," *British Journal of Nutrition*, vol. 105, no. 6, pp. 887–894, Mar. 2011, doi: 10.1017/S0007114510004496.
- [135] G. C. Atlar, G. Kutlu, and F. Tornuk, "Design and characterization of chitosan-based films incorporated with summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil for active packaging," *Int J Biol Macromol*, vol. 254, p. 127732, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127732.

- [136] S. Li *et al.*, “Cassava starch/carboxymethylcellulose edible films embedded with lactic acid bacteria to extend the shelf life of banana,” *Carbohydr Polym*, vol. 248, p. 116805, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116805.
- [137] G. B. Raj and K. K. Dash, “Development of Hydrocolloids Incorporated Dragon Fruit Leather by conductive hydro drying: Characterization and Sensory Evaluation,” *Food Hydrocolloids for Health*, vol. 2, p. 100086, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.fhfh.2022.100086.
- [138] Hamid, N. S. Thakur, R. Sharma, and A. Thakur, “Optimization of lyophilized microencapsulated phenolic extract concentration for enrichment of yoghurt and effect on chemical parameters, bioactive compounds, antioxidant activity and sensory quality under storage,” *South African Journal of Botany*, vol. 151, pp. 413–422, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.sajb.2022.04.015.
- [139] G. Sompach, A. Rodklongtan, S. Nitisinprasert, and P. Chitprasert, “Microencapsulating role of whey protein isolate and sucrose in protecting the cell membrane and enhancing survival of probiotic lactobacilli strains during spray drying, storage, and simulated gastrointestinal passage,” *Food Research International*, vol. 159, p. 111651, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.foodres.2022.111651.
- [140] P. Safaei, Z. Sadeghi, and G. Jahed Khaniki, “The Assessment of Physical and Microbial Properties of Traditional Fruit Leathers in Tehran,” *Jundishapur Journal of Health Sciences*, vol. In Press, no. In Press, Jan. 2019, doi: 10.5812/jjhs.85814.
- [141] “Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Tebliği (Tebliğ No: 2009/6).” Accessed: Aug. 23, 2022. [Online]. Available: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/02/20090206-8.htm>
- [142] L. J. Singh, R. B. Tiwari, and K. Ranjitha, “Studies on Effect of Different Packaging Materials on Shelf-Life of Blended Guava-Papaya Fruit

- Leather,” *Eur J Nutr Food Saf*, pp. 22–32, Aug. 2020, doi: 10.9734/ejnfs/2020/v12i830258.
- [143] F. Nazzaro, F. Fratianni, R. Coppola, A. Sada, and P. Orlando, “Fermentative ability of alginate-prebiotic encapsulated *Lactobacillus acidophilus* and survival under simulated gastrointestinal conditions,” *J Funct Foods*, vol. 1, no. 3, pp. 319–323, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.jff.2009.02.001.
- [144] C. Hill *et al.*, “The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic,” *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, vol. 11, no. 8, pp. 506–514, Aug. 2014, doi: 10.1038/nrgastro.2014.66.
- [145] T. Vasiljevic and N. P. Shah, “Probiotics—From Metchnikoff to bioactives,” *Int Dairy J*, vol. 18, no. 7, pp. 714–728, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.idairyj.2008.03.004.
- [146] L.-K. Liao, X.-Y. Wei, X. Gong, J.-H. Li, T. Huang, and T. Xiong, “Microencapsulation of *Lactobacillus casei* LK-1 by spray drying related to its stability and in vitro digestion,” *LWT - Food Science and Technology*, vol. 82, pp. 82–89, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.03.065.
- [147] C. González-Ferrero, J. M. Irache, and C. J. González-Navarro, “Soybean protein-based microparticles for oral delivery of probiotics with improved stability during storage and gut resistance,” *Food Chem*, vol. 239, pp. 879–888, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.022.
- [148] M. Moayyedi, M. H. Eskandari, A. H. E. Rad, E. Ziaee, M. H. H. Khodaparast, and M.-T. Golmakani, “Effect of drying methods (electrospraying, freeze drying and spray drying) on survival and viability of microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469,” *J Funct Foods*, vol. 40, pp. 391–399, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.jff.2017.11.016.

- [149] X. Chang *et al.*, “An innovative structured fruit (SF) product made from litchi juice, king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) and gellan gum: Nutritional, textural, sensorial properties,” *LWT*, vol. 152, p. 112344, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112344.
- [150] M. Shafiur Rahman and A. I. Al-Mahrouqi, “Instrumental texture profile analysis of gelatin gel extracted from grouper skin and commercial (bovine and porcine) gelatin gels,” *Int J Food Sci Nutr*, vol. 60, no. sup7, pp. 229–242, Jan. 2009, doi: 10.1080/09637480902984414.
- [151] A. G. Cruz *et al.*, “Sensory Analysis: Relevance for Prebiotic, Probiotic, and Synbiotic Product Development,” *Compr Rev Food Sci Food Saf*, vol. 9, no. 4, pp. 358–373, Jul. 2010, doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00115.x.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Uslu, E. S., Ucak, G., Akman, P. K., & Tornuk, F. (2018). A novel probiotic carrier fruit-based snack food: apricot pestil.
2. Bagdat, E. S., Artık, N. Tornuk, F. (2024). Evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions of apricot leather with encapsulated probiotic bacteria addition. Food Tech 2024 Congress, Novi Sad, Serbia (accepted).

Makaleler

1. Bagdat, E. S., Akman, P. K., Kutlu, G., & Tornuk, F. (2024). Optimization of spray-drying process parameters for microencapsulation of three probiotic lactic acid bacteria selected by their high viability rate in sucrose and fructose levels and high temperatures. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 4(2), 687-698.
2. Bagdat, E. S., Kutlu, G., & Tornuk, F. (2024). The effect of free and encapsulated probiotic bacteria on some physicochemical, microbiological, and textural properties of apricot leather (pestil) during storage. *Journal of Food Science*, 89(8), 4688-4703.