

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GSM 1800 BANDI MİKRODALGA RADYASYONUNUN
YOĞURT BAKTERİLERİNİN VE AYRANIN ÇEŞİTLİ
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Hazırlayan
Şeyda Merve KARATAŞ**

**Danışman
Doç. Dr. Lütfiye EKİCİ**

Doktora Tezi

**Haziran 2020
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GSM 1800 BANDI MİKRODALGA RADYASYONUNUN
YOĞURT BAKTERİLERİNİN VE AYRANIN ÇEŞİTLİ
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Şeyda Merve KARATAŞ**

**Danışman
Doç. Dr. Lütfiye EKİCİ**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
5477 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Haziran 2020
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Şeyda Merve KARATAŞ



“GSM 1800 Bandı Mikrodalga Radyasyonunun Yoğurt Bakterilerinin ve Ayranın Çeşitli Özelliklerine Etkisi” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Şeyda Merve KARATAŞ

İmza 

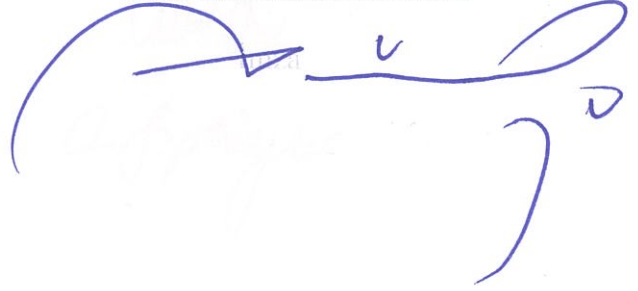
Danışman

Doç. Dr. Lütfiye EKİCİ

İmza 

2.Danışman

Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

İmza 

İmza 
Gıda Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Hasan YALÇIN

İmza

Doç. Dr. Lütfiye EKİCİ danışmanlığında **Şeyda Merve KARATAŞ** tarafından hazırlanan “**GSM 1800 Bandı Mikrodalga Radyasyonunun Yoğurt Bakterilerinin ve Ayranın Çeşitli Özelliklerine Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği** Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

.... / /

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Lütfiye EKİCİ

Üye : Prof. Dr. Mehmet HAYTA

Üye : Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ

Üye : Doç. Dr. Enes DERTLİ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Oya SİPAHİOĞLU

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın son halini kazanmasında ve şekil almasında beni yönlendiren, beni içten anladığını düşündüğüm, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Lütifye EKİCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Hem yüksek lisans çalışmamda hem de doktora çalışmamda değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, kıymetli ve saygıdeğer ikinci danışman hocam Prof. Dr. İbrahim DEVELİ'ye teşekkürlerimi sunuyorum. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında ve ötesinde, benden destek, yardım ve önerilerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman daha iyisi olmam için yol gösteren, öğrencisi olmaktan büyük onur duyduğum Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ'a teşekkürlerimi borç bilirim. Tez çalışmamın en tıkanmış yerinde bütün desteği ile yönlendiren ve çalışmanın son halini almasında büyük emeği olan Doç. Dr. Enes DERTLİ'ye teşekkürlerimi sunmaktan onur duyarım.

Çalışmaların laboratuvar aşamasında desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Berna GENÇ ve Öğr. Gör. Merve Tuğçe TUNÇ ODABAŞ'a, çalışmam kapsamında laboratuvar imkanlarını sunan Gümüşhane Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, başta Doç. Dr. Cemalettin BALTAÇI olmak üzere bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte başladığım andan itibaren maddi manevi her türlü desteklerini veren annem ve babama, her zaman elimi tutan yol arkadaşım eşime ve gülüşünde her şeyi unuttuğum canım oğluma, yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

Şeyda Merve KARATAŞ

GSM 1800 BANDI MİKRODALGA RADYASYONUNUN YOĞURT BAKTERİLERİNİN VE AYRANIN ÇEŞİTLİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Şeyda Merve KARATAŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Aralık 2019

Danışman: Doç. Dr. Lutfiye EKİCİ

2. Danışman: Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

ÖZET

Bu çalışmada, GSM 1800 cep telefonu radyasyonunun *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un gelişme kinetikleri, organik asit ve ekzopolisakkarit üretme yeteneklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu starter kültürler kullanılarak ayran üretilmiştir. Üretilen ayranın aroma, organik asit ve reolojik özellikleri ile duyusal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un büyümesini teşvik etmiştir. GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un spesifik büyüme hızı $0,077 \text{ h}^{-1}$ olarak belirlenirken kontrol grubu $0,044 \text{ h}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu uygulanmış ve kontrol *S. thermophilus*'un spesifik büyüme hızı ise sırası ile $0,062$ ile $0,051 \text{ h}^{-1}$ olarak bulunmuştur. GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonunun bakterilerin organik asit kompozisyonu değiştirmedeği fakat miktarlarını etkilediği elde edilen önemli sonuçlar arasındadır. GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından üretilen ekzopolisakkarit miktarını da artırmıştır. GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sırası ile $1,45$ ile $0,73 \text{ mg/mL}$ ekzopolisakkarit üretirken, kontrol örnekleri $0,63$ ile $0,60 \text{ mg/mL}$ ürettikleri tespit edilmiştir. GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu uygulanmış starter kültür ile üretilmiş ayranın görünür viskozitesi 4°C 'de $113,47$, 25°C 'de ise $44,28$ olarak tespit edilirken kontrol örneğinin viskozitesi aynı sıcaklıklarda $31,626$ ile $12,944$ olarak belirlenmiştir. Aroma kompozisyonları birbirlerine benzeyen ayran örneklerinde yapılan duyusal analiz sonucu GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu uygulanmış starter kültür ile üretilmiş ayran örneklerinin daha fazla beğenildiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: GSM 1800, mikrodalga, radyasyon, starter kültür, *S. thermophilus*, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

THE EFFECT OF GSM 1800 BAND MICROWAVE RADIATION ON SOME PROPERTIES OF YOGURT BACTERIA AND AYRAN

Seyda Merve KARATAS

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, December 2019

Supervisor: Ass.Prof. Lutfiye EKICI

Co-Supervisor: Prof. Dr. Ibrahim DEVELI

ABSTRACT

In this study, the effect of GSM 1800 band microwave radiation on *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*' growth kinetics and the ability to produce organic acid and exopolysaccharide was investigated. In addition, ayran was produced using these starter cultures and analyzed aroma, organic acid, and rheological and sensory properties. According to the results obtained, GSM 1800 band MD radiation encouraged the growth of *S. thermophilus* and *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. The specific growth rate of *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* with GSM 1800 band MD radiation applied was determined as 0.077 h^{-1} , while it was 0.044 h^{-1} in the control group. Similarly, the specific growth rate of *S. thermophilus* with GSM 1800 band MD radiation applied and the control group was found as 0.062 and 0.051 h^{-1} , respectively. The fact that the GSM 1800 band MD radiation did not change the organic acid composition of the bacteria but affected their amount was among the important results obtained. GSM 1800 band MD radiation also increased the amount of exopolysaccharide produced by *S. thermophilus* and *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. With GSM 1800 band MD radiation, *S. thermophilus* and *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* were found to produce 1.45 and 0.73 mg/mL exopolysaccharide, respectively, while control samples produced 0.63 and 0.60 mg/mL . The visible viscosity of the ayran produced with GSM 1800 band MD radiation applied starter culture was determined as 113.47 at 4°C and 44.28 at 25°C , while the viscosity of the control sample was determined as 31.626 and 12.944 at the same temperatures. As a result of sensory analysis made in ayran samples with aroma compositions similar to each other, ayran samples produced with GSM 1800 band MD radiation applied starter culture were favored more.

Keywords: GSM 1800, microwave, radiation, starter culture, *S. thermophilus*, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

İÇİNDEKİLER

GSM 1800 BANDI MİKRODALGA RADYASYONUNUN YOĞURT BAKTERİLERİNİN VE AYRANIN ÇEŞİTLİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Elektromanyetik Spektrum.....	1
1.2. EM Bileşenleri	5
1.3. GSM Sistemi	13
1.4. Fermente Gıdalar ve Laktik Asit Bakterileri	17
1.5. Yoğurt Starter Bakterilerinin Metabolizması	20
1.5.1. Karbonhidrat Metabolizması.....	20
1.5.1.1. Laktik Asit İzomerleri	21
1.5.2. Ekzopolisakkarit (EPS) Üretimi	22
1.5.3. Asetaldehit Üretimi	24
1.5.3.1. Glukozdan Asetaldehit Oluşumu.....	25
1.5.3.2. Treoninden Asetaldehit Oluşumu.....	25
1.5.3.3. Nükleik Asitlerden Asetaldehit Üretimi.....	26
1.5.4. Proteolitik Aktivite.....	27

1.5.5. Yoğurt Starterlerinin Peptit Kullanımı	27
1.5.6. Lipolitik Aktivite	28
1.5.7. Üreaz Aktivitesi	28
1.5.8. Oksijen Metabolizması	28
1.5.9. Vitamin Metabolizması.....	29

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal.....	30
2.1.1. Kullanılan Kimyasallar	31
2.1.2. Kullanılan Ekipmanlar	32
2.2. Yöntem	32
2.2.1. Örneklerinin Hazırlanması	33
2.3. Analizler	34
2.3.1. Gelişme Kinetikleri	34
2.3.2. Asit Üretim Yetenekleri.....	35
2.3.3. Organik Asit Profili	36
2.3.4. Antimikrobiyal Aktivite.....	36
2.3.4.1. Örneklerin Hazırlanması	37
2.3.4.2. Antimikrobiyal Aktivite.....	37
2.3.5. Bakteriyosin Üretim Yeteneği.....	38
2.3.5.1. Süpernatant Hazırlanması	38
2.3.5.2. Kuyucuk Difüzyon Yöntemi.....	38
2.3.6. Ekzopolisakkarit (EPS) Üretim Yeteneği	39
2.3.7. EPS'lerin Monosakkarit Kompozisyonu	39
2.3.8. EPS'lerin Termal Özellikleri	39
2.3.9. EPS'lerin Fourier transform infrared (FTIR) Spektrokopisi	40
2.3.10. Ayran Üretimi.....	40
2.3.11. Ekzopolisakkarit Miktarı	41
2.3.12. EPS'lerin Monosakkarit Kompozisyonları	41
2.3.13. Organik Asit Profili	42
2.3.14. Aroma Profili.....	42
2.3.15. Reolojik Özellikler	43
2.3.16. Reolojik Parametrelerinin Modellenmesi	43

2.3.17. Duyusal Analiz.....	44
2.3.18. İstatistik Analizler	44

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Gelişme Kinetikleri	45
3.2. Asit Üretim Yeteneği.....	48
3.2. Organik Asit Profili	50
3.3. Antimikrobiyal Aktivite.....	53
3.4. Bakteriyosin Üretim Yeteneği.....	54
3.5. EPS Üretimi	55
3.6. EPS'lerin Monosakkarit Kompozisyonları	56
3.7. EPS'lerin Termal Özellikleri	61
3.9. EPS'lerin Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektrumları	64
3.10. Ayran Üretimi.....	67
3.11. Organik Asit Profili.....	69
3.12. Aroma Profili.....	71
3.13. Reolojik Özellikler	74
3.14. Duyusal Analiz.....	81

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Sonuçlar	83
4.2. Öneriler	87
KAYNAKLAR	88
EKLER.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	113

KISALTMALAR

EM	: Elektromanyetik
GSM	: Global System for Mobile Communications / Küresel Mobil Haberleşme Sistemi
T	: Tesla
G	: Gauss
Hz	: Hertz
MHz	: Megahertz
GHz	: Gigahertz
ICNIRP	: International Commission on Non- Ionizing Radiation Protection / Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi
WHO	: World Health Organization / Dünya Sağlık rgt
ILO	: Uluslararası Çalışma rgt
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers / Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
DSC	: Digital Cellular System / Dijital Hücre Sistemleri
ISDN	: Integrated Services Digital Network / Birleşik Servisler Sayısal şebekesi
W	: Watt
mL	: mililitre
log kob/mL	: mililitrede koloni oluşturan birim logaritması
MD	: miliwatt

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Endüstriyel, bilimsel ve tıbbi alanlarda kullanılan MD frekansları ve dalga doyları	9
Tablo 2.1.	Kimyasallar ve besiyerleri	31
Tablo 2.2.	Ekipmanlar	32
Tablo 3.1.	Gelişme kinetikleri.....	45
Tablo 3.2.	Laktik asit miktarları (%).....	48
Tablo 3.3.	Organik asit profili (mg/L)	51
Tablo 3.4.	<i>S. thermophilus</i> ile <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> 'un antimikrobiyal zon çapları (mm).....	53
Tablo 3.5.	EPS (mg/mL)	55
Tablo 3.6.	Ayran üretimi sırasında örneklerin pH değerleri	68
Tablo 3.7.	Organik asit profili (mg/L)	69
Tablo 3.8.	Ayran örneklerinin aroma bileşenleri (%)	72
Tablo 3.9.	Karışık kültür kullanılarak üretilen ayran örneklerine ait model parametreleri ve η_{50} değerleri	77
Tablo 3.10.	Frekans tarama testi üssel yasa parametreleri.....	80
Tablo 3.11.	Duyusal analiz.....	81

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	EM spektrum.....	5
Şekil 1.2.	GSM sistemi alt bölümleri (MS: Mobil istasyon; BTS / BSC: Baz istasyonu sistemleri; MSC: Şebeke anahtarlama sistemleri).....	15
Şekil 2.1.	Çalışmada kullanılan RF sinyal jeneratörü	31
Şekil 2.2.	GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan deney düzeneği.....	33
Şekil 2.3.	<i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> ve <i>S. thermophilus</i> 'un antimikrobiyal aktivite analizi	37
Şekil 2.4.	Ayran üretim şeması.....	40
Şekil 3.1.	<i>S. thermophilus</i> örneklerine ait şeker içeriği kromotogramı a): Kontrol <i>S. thermophilus</i> 'a ait EPS'nin şeker içeriği kromotogramı, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış <i>S. thermophilus</i> 'a ait EPS'nin şeker içeriği kromotogramı	57
Şekil 3.2.	<i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> örneklerine ait şeker içeriği kromotogramı a): Kontrol <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> 'a ait EPS'nin şeker içeriği kromotogramı, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> 'a ait EPS'nin şeker içeriği kromotogramı	58
Şekil 3.3.	<i>S. thermophilus</i> örnekleri tarafından üretilen EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu a): Kontrol <i>S. thermophilus</i> 'a ait EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış <i>S. thermophilus</i> 'a ait EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu	62
Şekil 3.4.	<i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> örnekleri tarafından üretilen EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu a): Kontrol <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> 'a ait EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> 'a ait EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu.....	63
Şekil 3.5.	<i>S. thermophilus</i> örnekleri tarafından üretilen EPS'nin FTIR spektrumu a): Kontrol <i>S. thermophilus</i> 'a ait EPS'nin FTIR spektrumu, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış <i>S. thermophilus</i> 'a ait EPS'nin FTIR spektrumu	65

Şekil 3.6. <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> örnekleri tarafından üretilen EPS'nin FTIR spektrumu a): Kontrol <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> 'a ait EPS'nin FTIR spektrumu, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> 'a ait EPS'nin FTIR spektrumu	66
Şekil 3.7. Ayran örneklerinin 4 °C'deki viskozite değerleri	75
Şekil 3.8. Ayran örneklerinin 25 °C'deki viskozite değerleri	76
Şekil 3.9. Ayran örneklerinin frekans tarama analiz sonuçları	79



GİRİŞ

Çevre kirliliği ile ekolojik duyarlılık ve farkındalığın topluma yayılmasıyla beraber ülkemizde ve dünyada çeşitli tedbirler alınmaktadır. Ancak son zamanlar da önüne geçilemeyen elektromanyetik alandan kaynaklanan elektromanyetik kirlilik çevre kirliliğine neden olan en önemli atıklardan biri haline gelmiştir [1].

Elektromanyetik alan, belirli bir alanda elektromanyetik enerjinin varlığını göstermek amacıyla kullanılan bir terimdir. Hareketli ve elektrik yüklü zerrelerin, güç etkisinde kaldığı boşluk manyetik alan olarak tanımlanır ve elektronların çekirdek etrafında ve kendi ekseninde dönmeleri sonucu oluşur [2]. Manyetik alan doğrudan gözle görülemeyen veya kolayca hissedilemeyen fakat sonuçları görülebilen veya hissedilebilen bir olgudur. Düşük ve çok düşük frekanslı elektromanyetik alanların *in vivo* ve *in vitro* biyolojik sistemleri etkilediğine dair birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır.

Belirli frekanstaki manyetik alanların faydalı etkileri bazı çalışmalar sonucu bulunmuştur. Örneğin bir çalışmada darbeli manyetik alanın kemiklerin güçlendirdiği ve yaraların iyileşmesini sağladığı tespit edilmiştir [3]. Yine multiple skleroz, Parkinson, Alzheimer hastalıklarının tedavisinde de zayıf frekanstaki manyetik alanların olumlu etkileri farklı bir çalışmada belirlenmiştir [3,4]. Manyetik alanın yararlı etkileri olsa da yapılan çalışmalar sonucu bazı olumsuz etkileri olduğu da belirlenmiştir. Yüksek frekanstaki manyetik alanlar kanser oluşumunu tetiklediği, beyin epifizinden salgılanan melatonin hormonunda, bağışıklık sistemi hücrelerinin yapısında ve aktivitesinde değişiklikler sebep olduğu bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar arasındadır [5]. Benzer bir çalışmada da manyetik alanın glikoz, lipid ve protein metabolizmasına da zarar vererek kandaki değerlerinin değişimine sebep olabileceği iddia edilmiştir [6].

Günlük hayatta ise kullandığımız ve yaşamımızı kolaylaştıran elektronik cihazlardan kaynaklı manyetik alana maruz kalınmaktadır. Bu cihazların başında da yanımızdan ayıramadığımız cep telefonları gelmektedir. Cep telefonlarından kaynaklanan elektromanyetik alanın sağlık üzerine etkileri çeşitli araştırmalarla devam etmektedir. Ancak gıdalar üzerinde nasıl bir etkisi olduğu bilinmemektedir. Daha önce yüksek lisans tezi olarak çalışılmış olan “GSM 900 ve GSM 1800 şebekesinden kaynaklanan radyasyonun bazı mikroorganizmalar üzerindeki etkileri” başlıklı çalışmada günlük hayatın vazgeçilmezi olan en çok ve en sık olarak kullandığımız haberleşme aracı olan cep telefonlarının oluşturduğu radyasyonunun gıda endüstrisinde kullanılabilirliğinin mümkün olabileceği kanısına varılmıştır [7].

Yüksek lisans tezinde GSM 900 cep telefonu radyasyonu GSM 900 frekans bandında uygulanan 0,001 MD şiddetindeki radyasyonun 4. saatte *Lb. plantarum* gelişimini aynı şartlardaki kontrol örneğine göre 3,36 log kob/mL kadar artırdığını tespit edilmiştir. Benzer şekilde *Lb. plantarum* GSM 1800 bandında 5,0119 MD şiddetindeki radyasyona maruz kalınca aynı şartlardaki kontrol örneğine göre 2,20 log kob/mL daha fazla geliştiği gözlemlenmiştir. Yüksek lisans çalışmasında GSM radyasyonun etkilerinin in vitro olarak incelendiği bir diğer laktik asit bakterisi olan *Lb. sakei* GSM 900 bandında 3,1628 MD’luk uygulamanın 6. saatin sonunda kontrol örneğine göre 2,67 log kob/mL kadar arttığı tespit edilirken, GSM 1800 frekansı 3,1628 MD’luk bir uygulamada 4. saatin sonunda 2,53 log kob/mL arttığı tespit edilmiştir. Laktik asit bakterilerini artırıcı bir etkisi olan GSM 900 ve GSM 1800 şebekesinden kaynaklanan radyasyonun mayalar üzerinde açık bir inhibitif etkisinin olduğu çalışma sonunda elde edilen önemli bulgulardandır. *S. cerevisiae* GSM 900 bandında 3,1628 MD’luk bir uygulama sonunda 4. Saatin sonunda tüm canlı hücrelerin tüm inaktivasyonunu sağlarken GSM 1800 bandında 5,0119 MD’luk bir uygulamada 4. saatin sonunda kontrol örneğine göre 8.34 log kob/mL kadar bir azalma göstermiştir. *Z. rouxii* GSM 1800 bandında farklı uygulanan şiddetlerde 6. saatin sonunda tamamen inaktive olurken *Z. bailii* ise GSM 900 bandında 3,1628 MD’luk bir uygulamada 2. saatin sonunda kontrol örneğine göre canlılığını kaybetmiştir.

Yüksek lisans çalışması sonuçlarına göre GSM şebekesinden kaynaklanan radyasyonun raf ömrü kısıtlı ve laktik asit fermentasyonunun önemli olduğu süt ürünlerinde kullanılabilirliğinin araştırılmasını gündeme getirmiştir. Bu amaçla cep telefonunda

kullanılan mikrodalga radyasyonu *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* bakterilerine uygulanarak, bakterilerin gelişme kinetiklerine, organik asit içeriğine ve ekzopolisakkarit üretim ve karakterizasyonuna etkisi incelememiştir. Aynı zamanda GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu uygulanmış *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* kullanılarak ayran üretilmiştir. Üretilen ayranın organik asit içeriği, aroma profili, reolojik özellikleri ile duyusal değerlendirilmesi yapılmıştır.

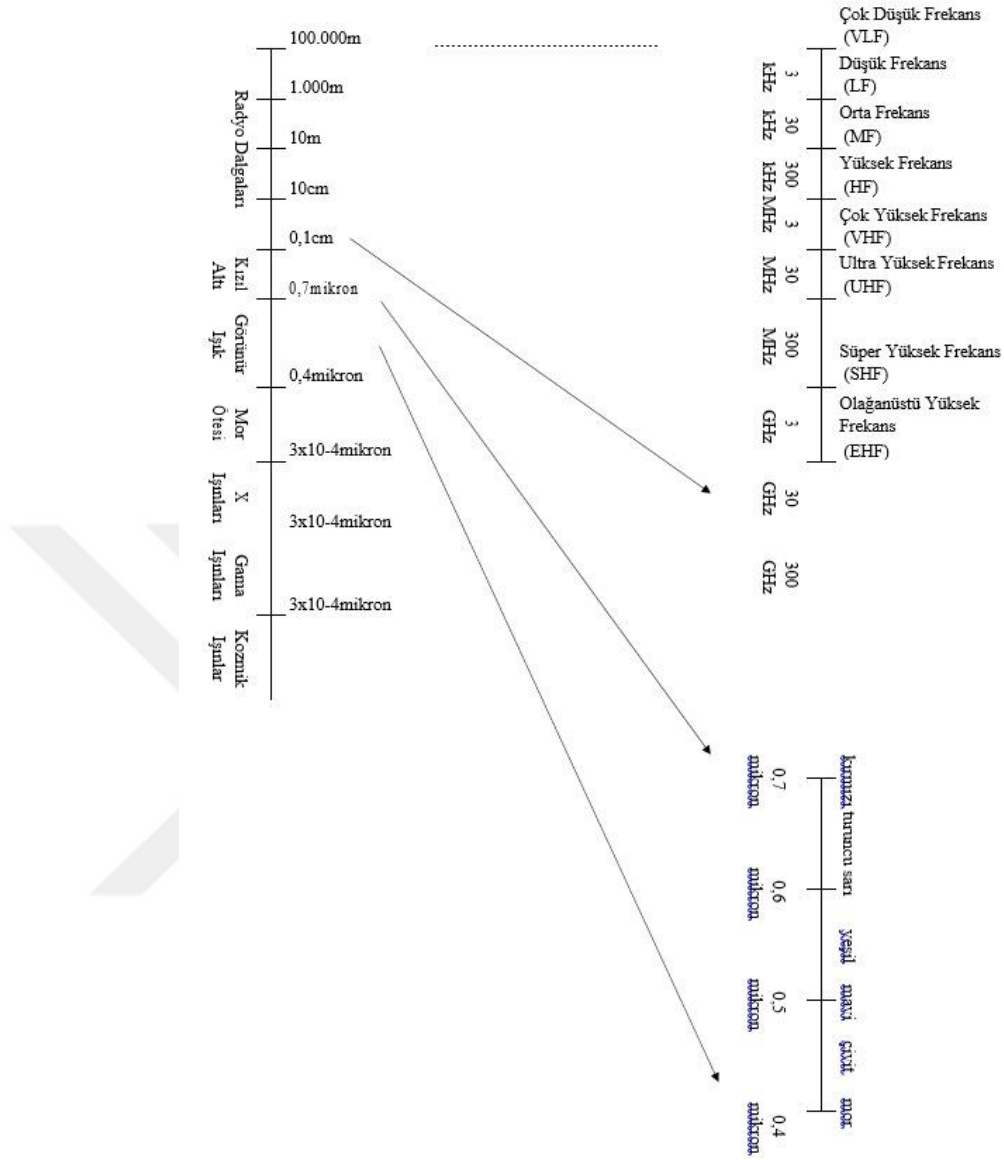


1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1.Elektromanyetik Spektrum

Uzayda ya da maddesel bir ortamda yayılan elektrik ve manyetik alan dalgalarına elektromanyetik (EM) dalga adı verilmektedir [8]. Bu kapsamda, manyetik alandaki değişim elektrik alana, elektrik alandaki değişim ise manyetik alana yol açmaktadır. Dolayısıyla, elektrik ve manyetik alanlar sürekli birbirini etkileyerek EM dalgaları meydana getirmektedir. EM dalgalar, elektronları, protonları ve nötronları bir arada tutmaktadır [2,8]. Yapılan araştırmalar sonucu EM dalgaların çok geniş bir dalga boyuna sahip olduğu anlaşılmış ve bu geniş dalga boyu aralığına EM dalga spektrum adı verilmiştir [2]. Görülebilir ışın ve radyo dalgalarının yanı sıra elektromanyetik dalgaları da kapsayan EM spektrumu Şekil 1.1.'de verilmiştir [8]. Spektrumdaki ışınlar, düşük frekanslardan yüksek frekanslara doğru Düşük frekans (Low Frequency-LF), Radyo dalgaları (RF), Mikrodalga (Microwave-MD), Kızıl ötesi ışın (Infrared Radiation- IR), görünür ışık (Visible Light), mor ötesi ışın (Ultra Violet (UV), X-ışını, gamma (γ) ışını ve kozmik ışınlar olmak üzere sıralanmıştır. Bu ışınlar, EM spektrumun birer bileşeni olmasına rağmen, maddeler ve biyolojik sistemler ile etkileşimi farklıdır [5]. Her bir ışının bu farklılığı, dalga boyları (λ) ile frekans (f) ve enerjilerinin (E) de farklı olmasından kaynaklanmaktadır. EM spektrumunda yer alan ışınların dalga boyu ile enerjileri ve frekansları ters orantılıdır. Aynı zamanda, bir dalganın frekansı ne kadar büyükse enerjisi de aynı oranda artmaktadır [9].



Şekil 1.1. EM spektrum [8]

1.2. EM Bileşenleri

EM spektrum gama ışınlarını ve radyo dalgalarını kapsayan geniş bir frekans aralığına sahiptir. Bütün frekanslardaki ışınlar serbest uzayda ışık hızıyla yayılmaktadırlar [2]. EM spektrumunda yer alan ışınlar haberleşme, radar, tıbbi görüntüleme gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu ışınların gıda endüstrisinde de bazı uygulamaları görülmektedir.

1.2.1. Gama ve X Işınları

Gama ve X ışınları yüksek frekanslı ve düşük dalga boyuna sahip olmalarından ötürü EM spektrumun sonunda bulunmaktadır. Gama ışınları 3×10^{18} Hz ve 3×10^{20} Hz aralığında frekansa sahip iken X ışınları ise 10^{16} Hz – 3×10^{18} Hz aralığında frekans değişimi göstermektedir [8]. Gama ve X ışınlarının canlılarda, kimyasal bağlarda ve genetik dokuda hasarlara neden olduklarından dolayı daha çok tıbbi görüntülemelerde kullanılmaktadır [10]. Gama ışınları ve yüksek enerjili X ışınları radyasyon terapisinde kanserli dokuyu yok etmede kullanılırken, daha düşük enerjili X ışınları ise medikal teşhis amaçlı kullanılmaktadır. X ışınları gıda endüstrisinde, gıdadaki fiziksel hasar ve bulaşanları tespit etmek amacıyla iç yapısının görüntülenmesi uygulamalarında kullanılmaktadır [11]. Paketli gıdalarda kütle ölçümü, eksik veya bozuk ürün tespiti, dolum düzeylerinin ve ambalajların sızdırmazlığını kontrol etmek amacıyla da gıda sanayinde kullanılmaktadır [12]. Ayrıca, meyve, sebze ve tahılların sınıflandırılmasında, temizlenerek paketlenmiş tavuk etlerinde kemik kalıntısının tespit edilmesinde, kılçık kısmı ayrılmış paketli balıklarda kılçık kalıntısının olup olmadığının belirlenmesinde de uygulama alanı bulmuştur [13,14,15]. Gama ışınları ise gıdaların ışınlama teknolojisinde uygulanmaktadır [16]. Özellikle gıdalarda bozulmaya sebep olabilecek mikroorganizmaların önlenmesi amacıyla güvenli teknoloji olarak kullanıldığı bilinmektedir [16]. Literatürde, kırmızı ve kanatlı etlerinde, deniz ürünlerinde ve baharatlarda bozulmaya neden olan patojen bakterileri inaktive ettiğini belirten çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Javanmard ve ark. [17], gama ışınları ile ışınlama yapılan kırmızı etleri 3 ay süre ile -18°C 'de depolamışlardır. Bu süre boyunca belirli periyotlarla mikrobiyolojik analiz yaparak mikrobiyal yükün azaldığını ve raf ömrünün uzadığını vurgulamışlardır. Benzer şekilde Variyar ve ark. [18], tarafından filizlenmeyi önlemek amacıyla taze zencefil örnekleri gama ışınlarına maruz bırakılmıştır. Çalışma sonunda filizlenmenin engellendiği belirtilmiştir.

1.2.2. Mor Ötesi Işın

Ultra viyole (UV) ışınlar olarak da bilinen mor ötesi ışınlar X ve gama ışınlarına göre daha düşük enerjiye ve daha uzun dalga boyuna sahiptir [8]. Canlı dokularda DNA hasarına neden olduğu bilinen UV ışınların frekansı $7,5 \times 10^{14}$ Hz ile 10^{16} Hz arasında değişirken, enerjisi de 3.1 eV – 40 eV aralığında değişim göstermektedir [19]. UV ışın,

bakteri, maya, küf ve virüslerde öldürücü etkiye sahip olduğu yapılan birçok çalışmada belirtilmiştir [20, 21]. UV ışının penetrasyon yeteneğinin yüksek olmadığından dolayı daha çok yüzey dezenfeksiyon uygulamalarında kullanılmaktadır [22]. Aynı zamanda gıda sanayisinde, üretim alanlarında havanın, alet ve ekipmanın dezenfeksiyonunda, işletmede kullanılan suların mikrobiyal inaktivasyonunun sağlanmasında, paketlenme ve gıdaların yüzey dezenfeksiyon uygulamalarında da kullanıldığı bilinmektedir [23].

1.2.3. Görünür ışın

EM spektrumunda UV ışıktan sonra yer alan görünür ışın 400-700 nm dalga boyu aralığında ve $4,3.10^{14}$ Hz – $7,5.10^{14}$ Hz frekans aralığında değişmektedir [24]. Güneş ışıklarının görünür bölgedeki ışık tayfı, fotokimyasal reaksiyonların ve fotosentezin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Görünür ışığın gıda endüstrisinde belirli bir uygulaması bulunmamaktadır. Ancak gıdaların kimyasal, fiziksel ve duyuşal özelliklerinde önemli bir parametre olan rengin ölçülmesi görünür ışığın spektral dağılım prensibine göre yapılmaktadır [25].

1.2.4. Kızıl Ötesi Işın

EM spektrumunda görünür ışığın hemen altında yer alan kızıl ötesi ışınlar gıda endüstrisinde infrared radyasyon (IR) olarak da bilinmektedir. IR ışınlarının bilinen uygulamaları, analitik analizlerde spektroskopik ölçümler olarak sayılmaktadır [26]. IR ışınlarının yüksek ısı transfer kapasitesi, doğrudan ürüne ısı nüfuzu ve hızlı işlem kontrolü gibi tipik özelliklerinden dolayı gıda sanayinde kakao, tahıllar, makarna ve çay gibi düşük nemli ürünlerin kurutulmasında da kullanılmaktadır [26]. Aynı zamanda kızartma, pişirme, kavurma ve kurutma proseslerinde yer alan IR ışın teknolojisi, gıdaların başlangıç yüzey sıcaklığının kısa sürede artırılması amacıyla da tercih edilmektedir [27]. Ayrıca son çalışmalarda gıdalarda enzim inaktivasyonu ile patojenlerin kontrol edilmesinde başarılı sonuçlar elde edilen yeni bir teknolojidir [28].

1.2.5. Radyo Dalgaları

EM spektrumun en üstünde radyo dalgaları (RD) yer almaktadır. 3kHz ile 300 GHz aralığını kapsayan RF, günlük hayatta kullanılan birçok cihazın (mikrodalga fırınlar, uzaktan kumanda, saç kurutma makinesi vb.), iletişim cihazlarının (cep telefonları,

televizyon ve radyo vericileri, radarlar, çağrı cihazları vb.) ve tıp ekipmanlarının (MR cihazları, diatermi üniteleri vb.) çalışması için gerekli enerjiyi sağlamaktadır [29]. Gıda sanayiinde ise RD, sebzelerin haşlanması, dondurulmuş gıdaların çözülmesi, paketli gıdaların pastörizasyon ve sterilizasyonu ile pestisit kontrolü gibi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir [30]. Aynı zamanda, RD bazı hububatlarda bozulma etmeni haşere, böcek ve bakterilerin gelişmesini önlemek amacıyla da kullanıldığı bilinmektedir [31]. Literatürde yapılan çalışmalar genellikle RD'nin dielektrik ısıtma özelliği ile ilgilidir. Yapılan bir çalışmada, fıstık ezmeli krakerlerde *Salmonella* spp. ve *Escherichia coli*'yi inaktive etmek için RF uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 40 saniye 27,12 MHz RD uygulamasının *Salmonella* spp. ve *Escherichia coli*'de 5-3,38 log cfu/g arasında bir azalmaya neden olduğu belirtilmiştir [32]. Başka bir çalışmada ise balık unu pastörizasyon işleminde, 14 MHz uygulamasının *Salmonella* spp.'yi 5 log kob/mL azalttığı iddia edilmiştir [33].

EM spektrumda, RD'nin 300 MHz ile 300 GHz arasındaki frekans bölgesi mikrodalga (MD) olarak isimlendirilmektedir [34]. MD, radarlar, mikrodalga fırınlar, cep telefonları, kablosuz internet erişimi, bluetooth kulaklıklarda kullanılmaktadır [35]. MD ışın, tüm EM ışımlar gibi, manyetik ve elektrik alan olmak üzere iki bileşenden meydana gelen MD, X ışınlarından, UV ışınlarından ve kızılötesi ışınlarından daha düşük frekansa sahiptir [36]. Dolayısıyla MD'nin canlılarda DNA hasarına ve moleküllerdeki bağlara zarar vermediği bilinmektedir. Moleküller, MD enerjisinden sadece dönme hareketi yapacak şekilde etkilenmektedirler [37].

MD frekanslar, RF frekanslarına yakın olduğu için radar dalgaları ile çakışmaması amacıyla ayarlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Federal Haberleşme Komisyonu (FCC) tarafından endüstriyel, bilimsel ve tıbbi kullanımlar için uygun görülen frekans ve dalga boyları Tablo 1.1'de belirtilmiştir [37].

Tablo 1.1. Endüstriyel, bilimsel ve tıbbi alanlarda kullanılan MD frekansları ve dalga doyları [37]

Frekans bandı (MHz)	Dalga boyu (nm)
915,000 $\pm$ 25	32,8
2,450 $\pm$ 60	12,2
5,800 $\pm$ 75	5,2
22,125 $\pm$ 125	1,4

Ev tipi MD fırınlarında; ISM (Industrial and Scientific Medical) tarafından 2450 $\pm$ 50 MHz kullanımına izin verilmiştir. Gıda işletmelerinde ise 915 MHz kullanılması kabul edilmiştir [38,39]. MD enerjisi, gıda endüstrisinde; pişirme, vakum kurutma, dondurulmuş ürünlerin çözündürülmesi, kavurma, pastörizasyon ve sterilizasyon işlemlerinde ve endüstriyel haşlama amacıyla kullanıldığı belirtilmiştir [40]. Günlük hayatta ise gıda maddelerinin ısıtılması ve pişirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Gıda sanayiinde daha çok MD'nin ısıtma özelliğinden faydalanılmaktadır. MD'nin ısıtma etkisi, dielektrik özelliğe sahip bir malzeme tarafından soğurularak bu enerjinin madde tarafından emilmesi sonucu sıcaklığının artması şeklinde açıklanmaktadır. Bu mekanizma, iyonik polarizasyon ve dipol rotasyon olarak iki başlık altında açıklanmaktadır [41].

İyonik polarizasyon, iyon içeren gıda maddelerine elektrik alan uygulandığında, iyonların hareket etmeye başlaması sonucu, kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır [41]. Dipol rotasyon ise, gıdalarda yer alan polar moleküllerin bir elektrik alan uygulandığında, elektrik alanın kutupsallığına uygun olarak yönelmesi ve bu yönlendirme sırasında değişen kutupsallık ile birlikte dönmeye başlayarak ortam ile aralarında meydana gelen sürtünme sonucu ısının açığa çıkması olarak tanımlanmaktadır [41, 42]. Polar olmayan moleküllerin elektrik yükleri simetrik bir şekilde dağılmış halde bulunmaktadır. Elektrik alan uygulandığında pozitif yükler elektrik alan ile aynı yönde, negatif yükler ise ters yönde bir kuvvetin etkisinde kalmaktadır. Böylece yüklerin yer değiştirerek polar olmalarına yol açmaktadır [42].

Özetle, MD gıdadaki molekül ve bağların yapısında değişikliğe neden olmadan, iyon ve dipolleri titreştirerek ısı enerjisi açığa çıkarmaktadır. MD ile ısıtma sistemlerinde EM

enerji maddenin içerisinde ısıya dönüşmektedir. Bu nedenle MD ile ısıtma konvansiyonel sistemler ile ısıtmanın tam tersine maddenin içinden dışarıya doğru taşınır [40]. Dolayısıyla, konvansiyonel yöntemlerle ısıtma teknolojisinde en yüksek ısı gıdanın dış yüzeyinde ölçülürken, MD ile ısıtmada en yüksek ısı gıdanın merkezinde ölçülmektedir. MD ile ısıtmanın, konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında ısıtma süresinin çok daha kısa olduğu ve homojen dağılımlı bir ısıtma sağlandığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [40, 41].

MD ile ısıtma teknolojisinde, MD ekipmanı ve gıdanın özellikleri en önemli faktörlerdir [43]. MD ekipmanına bağlı faktörler, frekans, MD gücü ve ısıtma hızıdır. MD enerjinin frekans ve dalga boyu, ısıtılacak materyale penetrasyonuna direkt olarak etki etmektedir [43]. MD gücünün yüksek olması ısıtmanın da hızlı olmasına neden olmaktadır. Bu da gıdalarda ısıtma, pişirme ve fırınlama gibi işlemlerde bazı noktaların tam ısınmaması gibi sorunlara neden olmaktadır. Gıdaya bağlı faktörlerin başında, gıdanın ilk sıcaklığı, dielektrik özelliği, nem içeriği, homojenliği, şekil ve miktarı gelmektedir. Gıdanın ilk sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, ısıtma işlemi de o kadar hızlı olmaktadır [44]. MD ısıtma da gıdaya bağlı bir diğer faktör ise gıdanın dielektrik özelliğidir. Gıdaların enerjiyi depolama kapasitesine gıdanın dielektrik özelliği adı verilmektedir [44]. Gıdaların dielektrik özelliğinin fazla olması MD'nin gıda maddesine penetre olmasını azaltmaktadır [45]. Ayrıca gıdanın nem içeriğinin fazla olması, MD'nin absorpsiyonunu da artırır. Dolayısıyla yüksek nem içerikli gıdalar daha hızlı ısınmaktadır [46]. Gıdanın yapısının homojen olması MD'nin absorpsiyonunu artırarak ısınma süresini kısalttığı bilinmektedir [46]. Ayrıca gıdanın şekli, kalınlığı ve miktarı da MD ile ısıtmayı etkileyen diğer faktörlerdendir. Şekli düzgün olan gıdaların ısıtılması şekli düzgün olmayan gıdalara oranla daha homojen şekilde gerçekleşmektedir [47]. Gıdanın MD ile temasını sağlayan kaplar da MD ile ısıtmayı etkileyebilmektedir. Örneğin metal kaplar MD yansıması yapacağı için uygun bulunmazken, cam ve seramik kaplar MD enerjisinin %95'inden fazlasını gıdaya aktarmaktadır [48].

MD teknolojisi, gıdanın raf ömrünü katkı maddesi eklemekten uzatan, ısı işlem etkisi ile gıdanın kalitesini iyileştiren aynı zamanda gıdanın duyu özelliklerini de koruyabilen bir teknoloji olarak kullanılmaktadır [41]. MD'in patojen ve bozulma yapan mikroorganizmaların gelişimini önlemek amacıyla da kullanıldığı bilinmektedir [49].

MD'in mikroorganizmalar üzerinde etkisi ise bu enerjinin termal etkisiyle açıklanmaktadır. MD enerjisinin mikroorganizmaların inaktive olduğu sıcaklığa ulaşılmadığında herhangi bir etkisi bulunmamaktadır [50]. MD'in mikroorganizmaları inaktive etmesi bu enerjinin sterilizasyon etkisi ile ilgili çalışmaları gündeme getirmiştir. Bu amaçla yapılmış bir çalışmada, konvansiyonel yöntem ile ısıtma ve MD enerjiye maruz kalan *Escherichia coli* ve *Bacillus subtilis* sporlarının inaktivasyon derecesini karşılaştırılmıştır [51]. Çalışmada, bakterilerin inaktivasyonlarında MD ve konvansiyonel ısıtma arasında fark olmadığı saptanmıştır. MD uygulamasında mikrobiyal inaktivasyonun MD'in meydana getirdiği sıcaklıktan kaynaklandığı belirtilmiştir. Benzer bir diğer çalışmada ise 2450 MHz bakteriyofajlar ve çeşitli bakterilere uygulanmıştır. Bu çalışmada da bakterilerin sadece termal etki ile inaktive olduğu belirlenmiştir. [52]. Çakıroğlu [53]'nün yürüttüğü bir çalışmada ise MD fırını kullanılarak farklı ısı derecelerinde *Yersinia enterocolitica*'nın gelişmesi takip edilmiştir. 150 W ve 400 W uygulamalarında *Yersinia enterocolitica* sayısının azaldığını ancak 550 W, 700 W, 800 W uygulamalarında *Yersinia enterocolitica* tespit edemediklerini bildirmişlerdir. Farklı bir çalışmada ise, *Escherichia coli* 0157:H7 inoküle edilmiş tavuk parçalarına, belirli aralıklarla MD uygulanmıştır [54]. Elde edilen sonuçlara göre kısa zamanlı MD maruz bırakmanın *Escherichia coli* O157:H7 üzerine yok edici göstermediği belirtilmiştir. Coote ve ark. [55]'nin yaptıkları çalışmada, *Listeria monocytogenes* sıvı besiyeri ortamında MD uygulamışlardır. 70 °C'de 10^6 - 10^8 log kob/mL arasında tespit edilirken 85 °C MD uygulamasının bütün *Listeria monocytogenes* hücrelerini yok ettiği bildirilmiştir. Woo ve ark. [56] ise MD enerjisinin bakteri hücre duvar yapısında ne gibi değişikliklere yol açtığı incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda ne hücre süspansiyonuna ne de hücre duvar yapısında önemli bir değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir.

EM spektrum bileşenlerine endüstride farklı kullanım alanları olsa da günlük hayatta da kullandığımız birçok cihaz ile sıklıkla maruz kalmaktayız. Cep telefonları, televizyon, saç kurutma makinaları ve kablosuz internet gibi birçok cihaz elektromanyetik dalga yaymaktadır. Son zamanlarda hayatımızın önemli bir parçası olan cep telefonlarının giderek artması başta insan sağlığı olmak üzere tüm canlılar üzerindeki etkilerini gündeme getirmiştir. EM dalgalardan ısıtım veya radyasyon olarak bahsedilmektedir. Radyasyon; EM dalgalar veya parçacıklar halinde meydana gelen enerji yayılımı veya

aktarımı olarak tanımlanmaktadır [57]. Radyasyon biyolojik etkileri bakımından iyonlaştırma özelliklerine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon; bir atomun yörüngesinden elektron kopararak atomun yüklü veya iyonize olmasına neden olacak düzeyde enerji taşıyan radyasyon olarak tanımlanmaktadır [57]. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon ise enerjinin boşlukta elektrik ve manyetik alanlar biçiminde yayılmasıdır [57]. Radyo dalgaları, kızıl ve mor ötesi ışınlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyona örnek verilebilir. Kısaca bu ışınların foton enerjileri, atomları ve molekülleri iyonlaştıracak yani elektron koparabilecek seviyede değildir. EM spektrumda düşük frekansa sahip görünen ışık, kızıl ötesi ve mikrodalga enerjiyi de kapsayan RF dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyona örnektir. Daha yüksek frekansa sahip X, gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyona örnek olarak verilmektedir [57, 58].

İyonlaştırıcı radyasyon canlı sistemlerde moleküler ve hücresel düzeylerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişiklikler, radyasyonun cinsine, miktarına ve süresine bağlı olarak geçici veya kalıcı olabilmektedir [59]. Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) iyonlaştırıcı radyasyonun etkilerini, cilt yanıkları, kısırlık, kanser ve genetik etkiler ile ölüm olarak sınıflandırmıştır [58]. İyonlaştırıcı radyasyonun DNA ve proteinler ile etkileşime girerek serbest radikal oluşumuna neden olduğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır [59]. Serbest radikaller oksidatif hasar ve hücrelerde ciddi hasarlara neden olabilmektedir. Literatürde serbest radikallerin, DNA'da oluşan kırıklara, çaprazlamalara ve kopmalara dolayısı ile de mutasyona yol açarak kanser riskini artırdığını gösteren çalışmalar da mevcuttur [60]. İyonlaştırıcı radyasyon canlılar üzerinde kalıcı etkilere neden olabilmektedir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun canlılar üzerindeki etkileri net bir şekilde bilinmemekle birlikte insan sağlığına etkileri üzerine çalışmalar devam etmektedir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun insanlarda, baş ağrısı, uykusuzluk, dikkat dağınıklığı gibi semptomlara neden olduğu tespit edilmiştir [61]. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon sınıfında yer alan RF radyasyonun genetik dokuya zarar verip vermediğine dair farklı çalışmalar mevcuttur. Fakat elde edilen sonuçların ısı etkilerden kaynaklandığı ve genetoksik etkilerinin net olarak bilinemediğini ortaya koymaktadır. Örneğin Verschaeve ve ark. [62], RF radyasyonunun in vitro ve in vivo genetoksik etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri

sonuçların birbirleriyle tutarsız olduğunu belirten araştırmacılar, sonuçların RF radyasyonun ısı etkisinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Sarkar ve ark. [63] ise 2450 MHz frekans ve 1 MD güçte MD radyasyonu farelere günde iki saat olmak üzere 120, 150 ve 200 gün uygulamışlardır. Farelerin beyin ve üreme organlarından DNA örnekleri alan araştırmacılar kontrol örneklerine kıyasla MD radyasyonuna maruz kalan farelerin beyin ve üreme hücrelerinde belirgin değişiklikler olduğunu iddia etmişlerdir. Hücrelerde meydana gelen değişiklik mekanizmasını açıklayamayan araştırmacılar Uluslararası Radyasyondan Korunma Derneği İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon Komitesinin (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) güvenli limit olarak belirlediği sınırın değiştirmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Literatürde iyonize olmayan radyasyonun DNA hasarı veya onarımı üzerindeki etkilerini açıklayan net bir çalışmaya henüz rastlanılmamıştır. Ancak iyonize olmayan radyasyonun DNA üzerinde muhtemel etkisinin serbest radikal hasarı olabileceği belirtilmektedir [64].

MD enerjisi günlük hayatta ve gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılan radyo frekans uygulamalarının en bilinenidir. Günlük hayatta sıklıkla kullandığımız ve hatta kullanım oranı her geçen gün daha da artan bir diğer radyo frekans uygulaması ise cep telefonlarıdır. Cep telefonlarının EM dalga spektrumu içinde radyo dalgaları grubu içinde yer alan, düşük güçte RF sinyalleri gönderen ve alan cihazlardır [8]. Teknolojinin hızla ilerlemesi cep telefonlarının günlük hayatta vazgeçilemeyen en önemli iletişim cihazı haline getirmiştir.

1.3. GSM Sistemi

1970'li yılların başında Bell Laboratuvarları'nda birinci nesil gezgin haberleşme sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır [65]. Bu amaçla hücresel sistemlerin ilk adımı atılmıştır. Geliştirilen birinci nesil gezgin haberleşme sistemi aynı zamanda analog haberleşme sistemi olarak da bilinmektedir. İlk geliştirilen analog haberleşme sistemleri sadece sesleri iletmek üzere tasarlanmıştır. Ancak dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması kullanılan birinci nesil haberleşme sistemleri arasında uyumsuzluğa neden olmuştur. Aynı zamanda birinci nesil sistemler sadece ses tabanlı trafiğe hizmet ettikleri için artan kullanıcı taleplerini de karşılayamamaktadır. Birinci nesil sistemlerin en

büyük sıkıntısı ise artan kapasite artışını destekleyememelerinden ötürü yeni teknoloji arayışları başlamıştır. Bu sorunlara çözüm olarak ikinci nesil haberleşme sistemleri geliştirilmiştir. İkinci nesil haberleşme sistemleri Küresel Mobil Haberleşme Sistemi (GSM / Global System for Mobile Communications) olarak da bilinen ve bütün Avrupa ülkelerinin katkıda bulunduğu sayısal gezgin sistemlerdir [66]. GSM teknolojisi Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) tarafından geliştirilen bir standarttır. Birinci nesil haberleşme sistemlerinden üstünlüğü sayısal yapısı ve kullanıldığı radyo erişim tekniklerinin yenilenmesidir. GSM, dünya genelinde ilk olarak coğrafi yapısı gereği kablolu iletişime alternatif bir sistem üzerinde çalışmalarda bulunan Finlandiya’da 1982 yılında deneysel çalışmalar sonucu kullanılmaya başlanmıştır [67].

1.3.1. GSM Sisteminde Radyo Frekans Aralıkları

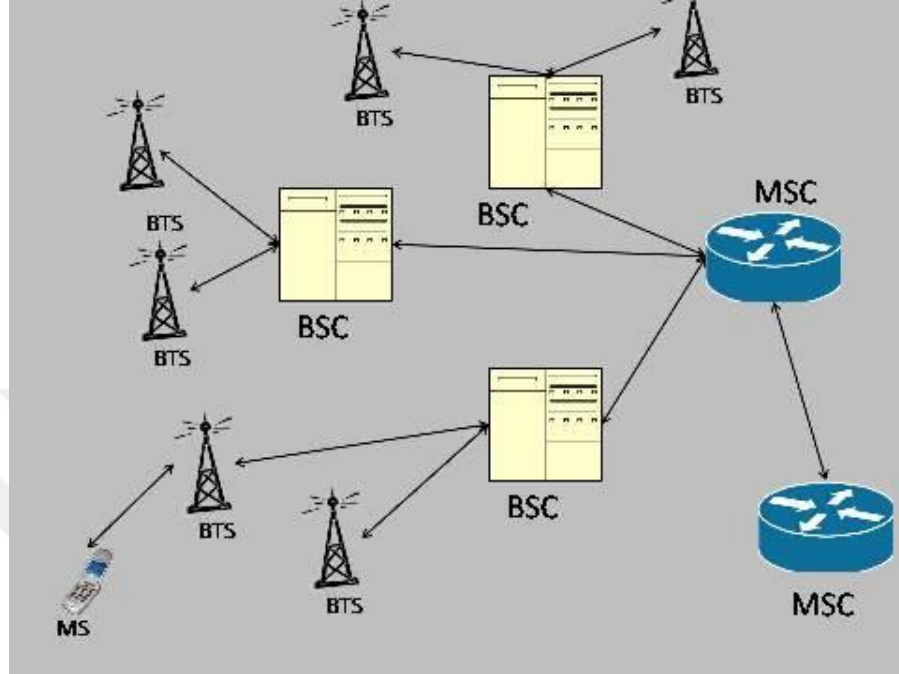
Hücrel mobil iletişim sisteminde mobil telefonlarla sistem arasındaki haberleşme hücrelerde radyo frekansları ile sağlanmaktadır. Kullanılan radyo frekanslar mobil sistemler de değişiklik göstermektedir. Yaygın olarak elektriksel haberleşmede GSM 900, GSM 1800 ve GSM 2100 bantları kullanılmaktadır [66].

Telekomünikasyon alanındaki en büyük teknolojik ilerleme Bell Laboratuvarlarında hücrel sistemlerin ortaya çıkmasıyla başlamıştır [66]. Mobil iletişimin temellerini oluşturan hücrel sistemler kavramıyla beraber farklı teknolojilerde analog haberleşme sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerden bazıları başarılı olmuştur. Ancak kullanılan farklı analog haberleşme sistemlerinin her birinin bağımsız olması birbirleriyle uyumsuzluğa neden olmuştur. Bu nedenlerden ötürü geliştirilen GSM, gezgin haberleşmeye olanak sağlayan, belirli standartlarla dizayn edilmiş, birleşik servisler sayısal şebekesi (ISDN) servislerini sağlayabilen telsiz teknolojisinin en ileri ürünüdür. Aralarında Türkiye’nin de bulunduğu 18 Avrupa ülkesi 1989 yılında kabul edilen bir anlaşma ile GSM sistemini uygulamaya başlamıştır [67].

1.3.2. GSM Sisteminin Yapısı

GSM sisteminin ana yapısı standartlaştırılmış alt bölümlerin birbirleri ile bağlantıları şeklindedir. Bu alt bölümler ana yapı ve işlevleri itibariyle üç bölümde incelenebilir. Şekil 1.2.’de görüldüğü üzere bu üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; mobil istasyon

(MS), baz istasyonu sistemleri (BTS, BSC) ve şebeke anahtarlama sistemleri (MSC)'dir [8].



Şekil 1.2. GSM sistemi alt bölümleri (MS: Mobil istasyon; BTS / BSC: Baz istasyonu sistemleri; MSC: Şebeke anahtarlama sistemleri) [8]

a. Mobil istasyon (MS) : Mobil istasyon, mobil (cep) telefon şebekesinin bağlı olduğu radyo baz istasyonu ile doğrudan bağlantı kurarak hizmet vermektedir. Mobil telefonların baz istasyonu ile haberleşebilmesi için mobil telefonun baz istasyonundan gelebilecek sinyalleri alabilecek mesafede bulunması gerekmektedir. Telefon açık olduğu sürece, GSM şebekesinin en yakın anteni ile devamlı irtibat halindedir. Mobil telefon ile serbest olarak hareket edildiğinde, sistem otomatik olarak takip eder ve hangi hücrenin görüşme için uygun olduğunu belirler [8].

b. Baz istasyonu (BTS/BSC) : GSM hücresinde abonelerle iletişimi sağlayan verici – alıcı sistemdir. Baz istasyonları, hücresel haberleşme sistemlerinde, merkezi istasyon olarak görev yaparlar. Baz istasyonları olmadan mobil telefonlar iletişim sağlayamazlar. Herhangi bir mobil telefondan gelen çağrı isteğinin ilgili kullanıcıya ulaştırılması bu ağ yapısı tarafından gerçekleştirilir. Hücresel ağ yapısı sayesinde aynı anda daha çok kullanıcı haberleşebilir. Her hücrede bir baz istasyonu bulunur. Bu istasyonlar hem abonelerle hem de komşu hücrelerin baz istasyonları ile sürekli iletişim halindedirler.

Baz istasyonların kullanım amacı; kapsamayı genişletmek, kapsama alanındaki ölü bölgeleri yok etmek, kapsanan bölgedeki abone sayısının artması nedeniyle artan ihtiyacı karşılamaktır [8].

Baz istasyonu sistemi BTS ve BSC olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. GSM, cep telefonlarını hücresel şebekeye bağlamak için BTS adı verilen bir dizi radyo ileticiyi kullanır. BTS'ler radyo arabirimini kontrol eder, aynı zamanda kanal kodlaması ve kod çözme işlemlerini yapar. BTS ekipmanları alıcı – verici ünite ve antenden oluşmaktadır ve her bir hücreye servis vermektedir. BTS, gerekli çağrı işlem kapasitesini sağlamak için bir veya daha fazla alıcı – vericilerden oluşabilir. BTS'ler, BSC'ler tarafından kontrol edilir. Bir grup BTS belirli bir baz istasyon kontrolörüne bağlanır. BSC, radyo dalgaları ile ilgili tüm fonksiyonlara kumanda eder. BSC'nin ana fonksiyonu, çağrı sağlamasıdır. Mobil istasyon, radyo kanalı tahsis etme ve hücre veri bilgilerini toplama görevleri vardır. Aynı zamanda BTS'lerin iletici gücünü değiştirebilir. BSC'ler bağlı bulundukları santraller tarafından kontrol edilirler [8].

Baz istasyonları tek hücreden ya da birden fazla hücreden oluşmalarına göre iki kısımda incelenebilir. Tek hücreden oluşan baz istasyonları her yönlü baz istasyonları olarak adlandırılır ve baz istasyonundan yapılan yayılım 360° boyunca eşit aralıklarla gerçekleştirilmektedir. Kullanılan antenler de baz istasyonu ışımasına uygundur. Birden fazla hücreden oluşan baz istasyon sektörel baz istasyonları olarak adlandırılır. GSM'de üç hücreden oluşan baz istasyonları kullanılmaktadır. Bu baz istasyonlarında kullanılan antenler ise belirli bir açıyla ışıma yaparlar. Sektörel baz istasyonlarıyla belli bir bölgeye odaklanma ve hücre sınırlarını belirlemek kolayca sağlanmaktadır. Böylelikle sinyaller belirlenen sınırlara yüksek kaliteyle iletilecek ve daha etkin bir biçimde kullanılacaktır [8]. Bu özellikler doğrultusunda yerleşimin yoğun, abone sayısının fazla olduğu alanlarda sektörel baz istasyonları; yerleşimin seyrek, abone sayısının az olduğu alanlarda her yönlü baz istasyonları kullanılmaktadır.

c. Mobil anahtarlama merkezi (MSC): Bir mobil abonenin ihtiyaç duyduğu tüm fonksiyonları sağlar. Şebekedeki bağıntının, konuşma ve veri haberleşmesinin yapıldığı birimdir. Mobil servis anahtarlama merkezi, mobil abonelerin yönetimi için kullanılır. Cep telefonun nerede olduğu bilgisi ve abonenin kimlik bilgilerine dair her türlü veriyi tutan bilgi bankasıdır. Buradaki bilgiler, doğrudan baz istasyonunun konumu ile

ilgilidir. Çünkü abonelerin çağrıları alabilmesi için baz istasyonu sistemlerine ihtiyaç vardır. Ayrıca mobil istasyonlarının yapılan ya da alınan çağrı esnasında bulunduğu yerde çağrı kontrollerinin yapılmasını, abone olunan hizmetlerin elde edilmesini sağlar [8].

Cep telefonundan kaynaklanan radyo frekanslarının doğrudan etkileri insanlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda fiziksel etkileri olarak sayılabilir. Cep telefonunu yoğun kullananlarda yorgunluk, baş ağrısı, kulak üzerinde ve arkasında yanma, bulanık görme, işitme kaybı ve vertigo gibi semptomların görülme olasılığında artış olduğu iddia edilmektedir [68]. Aynı zamanda yapılan çalışmalar cep telefonlarının kullanım süresi arttıkça istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde baş dönmesine, keyifsizlik haline, konsantrasyon bozukluğuna, bellek kaybına, baş ağrısına, kulakta ve kulak arkasında ağrıya, yüzde yanmaya ve vücut sıcaklığının artışına yol açtığı iddia edilmiştir [69].

Cep telefonlarının ve cep telefonlarından kaynaklanan radyasyonun insan sağlığına etkileri üzerine çalışmalar hala devam etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre sağlığa olumsuz net bir etkisi tam olarak bildirilememiştir. İnsan sağlığı üzerine etkileri araştırılmaya devam ederken aynı zamanda günlük hayatta da vazgeçilmez olan cep telefonlarının gıdalar ve mikroorganizmalar üzerindeki etkilerine dair literatürde çalışmalara rastlanmamıştır. Daha önce İlter [7] tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında, GSM şebekesinden kaynaklanan radyasyonun laktik asit bakterilerini (LAB) arttırdığı küfleri ise inhibe ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla LAB'ların hangi özelliklerini değiştirdiği merak uyandırmıştır. Bu amaçla mevcut tez çalışması kapsamında, yoğurt starter kültürlerine ayrı ayrı GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış ve starter kültürlerin bazı karakteristik özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda, mevcut tez çalışmasında kullanılan LAB'ların özellikleri ile önemli metabolitlerine aşağıda değinilmiştir.

1.4. Fermente Gıdalar ve Laktik Asit Bakterileri

Fermente ürünlerin hayatımıza girişi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Süt, et ve sebzelerin fermentasyon yöntemlerine ait bilgiler yüz yıllar öncesine kadar dayanan kaynaklarda yer almıştır [70]. Fermente gıdalar, günümüzde dünyada tüketilen tüm gıdaların yaklaşık 1/3'ünü oluşturmaktadır. Toplam üretim ve tüketim miktarları

açısından incelendiğinde ise ilk üç sırayı; süt ürünleri, içecekler ve tahıl ürünleri almaktadır [70].

Tüketicilerin doğal ve sağlıklı gıdalara artan ilgisinden dolayı günümüzde çok değişik tipte fermente gıdaların üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde tüketilen fermente ürünler genellikle toplum tarafından yıllarca kabul görmüş, geleneksel gıdalar olarak da adlandırılan ürünlerdir. Yoğurt, peynir, sucuk ve tarhana bu geleneksel fermente gıdalara örnek olarak verilebilir. Geleneksel fermente gıdalar içerisinde süt ürünleri oldukça önemli bir yere sahiptir. Özellikle yoğurt büyük ölçüde ev koşullarında da üretilmeye devam eden en bilinen fermente süt ürünlerindendir. Bu fermente ürünün geleneksel olmasında alışlagelmiş duyuşal ve fiziksel özellikleri kazandıran temel etmen, üretimde kullanılan doğal floradır. Dolayısıyla, doğal süt ve ürünleri florasının tespit edilmesi, özelliklerinin bilinmesi ve geliştirilmesi hem geleneksel lezzetlerin devamlılığının sağlanması hem de flora zenginliğinin korunması açısından önem taşımaktadır. Her ne kadar geleneksel olarak ev koşullarında üretilen yoğurtlarda önceki üretimlerden ayrılan bir miktar yoğurt starter kaynağı olarak kullanılsa da artık marketlerde ticari starter kültürlerin satıldığı ve ev yoğurtlarının da bunlarla üretildiği bilinmektedir [71]. Dolayısıyla suşların giderek ticari hale gelmesi yoğurdun doğal florasını da etkilemektedir. Bu anlamda geleneksel yoğurtlarımızda yer alan yoğurt bakterilerinin *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* endemik olma olasılığının zayıf, ancak mutasyona uğramış suşları içermesi olasılığının güçlü olduğu değerlendirilmeye alınmalıdır.

Endüstriyel boyutta bakıldığında ise yoğurt üretiminde ihtiyaç duyulan starter kültür yurt dışından ithal edilmektedir. Toplam starter kültür dış alımımızın yaklaşık %70'i, yoğurt sektörü tarafından gerçekleştirilmektedir. Ancak yüksek starter kültür maliyetine karşın, son üründe arzu edilen geleneksel tat/aroma ve tekstürel özelliklerinin tam anlamıyla elde edilememesi ciddi bir çelişki oluşturmaktadır. Bu durum, ülkemize özgü geleneksel gıda zenginliğimizin zamanla yitirilmesine yol açacak bir süreç oluşturmaktadır. Ayrıca daha önceki yıllarda işletme kültürü bulk kültür ve ana kültür gibi çoğaltma yolu ile birden fazla kullanılabilen starter kültürlerin artık bir ya da iki seferlik kullanım özelliğine sahip oldukları da bilinmektedir. Dolayısıyla üreticiler düzenli olarak yüksek miktarlarda starter kültür satın alımı yapmakta ve dışa bağımlılık artmaktadır [72].

Yoğurt üretimi başta olmak üzere ülkemizde, süt sektörünün temel sorunu teknolojik üretim süreçlerinde sağlamış olduğu yetkinliği mikrobiyolojik süreçlerde sağlayamamasından kaynaklanmaktadır. Endüstride üretim parametreleri, tüketici talepleri ve yerel pazarın gereksinimleri doğrultusunda kolaylıkla modifiye edilebilirken, son ürünün özelliklerini şekillendiren fermentasyon süreci ve bu süreci yöneten bakteriler geleneksel yoğurttan beklentileri karşılayacak metabolik ürünleri yeterli düzeyde üretememektedir. Üreticilerin beklentisi, uzun raf ömrüne sahip, fermentasyon sırasında asidifikasyon yeteneği güçlü ancak post-asidifikasyon özelliği sınırlı, aromatik suşlar ile yoğurt üretmektir. Tüketiciler ise geleneksel tat ve aroma için genellikle hafif asidik yoğurt tüketme beklentisine sahiptir. Yoğurt üretiminde kullanılan starter bakterilerinin fermentasyon metabolizması sonucunda yoğurdun karakteristik lezzeti ve tekstürel özellikleri gelişmektedir. Dolayısıyla bu bakterilerin özelliklerinin, metabolik aktivitelerinin ve aralarındaki protokooperasyon ilişkisinin anlaşılması tüketici ve üretici taleplerinin karşılanması açısından önemlidir [73].

1.4.1. *Streptococcus thermophilus* (*S. thermophilus*)

Bu bakteri ilk kez 1919 yılında Orla-Jensen tarafından laktik streptokok olarak tanımlanmıştır [74]. *S. thermophilus*, Gram-pozitif, çapı 1 µm'nin altında, yuvarlak, tekli, çiftli veya uzun zincirler şeklinde bulunabilen bir bakteridir [75]. Hücre duvarı yapısı N-asetilglukozamin ve N-asetilmuramik asitten oluşmaktadır. 15 °C'de gelişmemekte, birçok suşu 50 °C'de gelişebilmekte (optimum 40-45 °C) ve 60 °C'de 30 dakikalık ısıl işleme direnç gösterebilmektedir. Optimum gelişme pH'sı 6,0-6,5 arasında olup, fakültatif anaerobiktir. Aerobik solunum ve fermentasyon koşullarında ATP üretebilme yeteneğine sahiptir. Homofermentatif karaktere sahip olan *S. thermophilus*, sütte %0,5-1,0 arasında L (+) laktik asit üretmektedir. *S. thermophilus*'un asit direnci düşüktür [74]. *S. thermophilus* sitokrom, oksidaz ve katalaz enzimlerine sahip değildir. Hareketsizdir ve spor üretme yeteneği bulunmamaktadır. Bazı suşları ekzopolisakkarit (EPS) sentezleme yeteneğindedir [75]. *S. thermophilus* laktoz ve sakkarozu fermente edebilmektedir, ancak monosakkaritler üzerindeki etkisi çok zayıftır [84]. Başlıca laktoz fermentasyonu ürünleri laktik asit, asetaldehit ve diasetil olup, ağırlıklı olarak L (+) laktat üretmektedir [76].

1.4.2. *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (*Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*)

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* da *S. thermophilus* gibi Orla-Jensen tarafından tanımlanmış ve ilk başta *Thermobacterium bulgaricum* olarak adlandırılmıştır [77]. Güncel gruplandırmaya göre *Lactobacillus delbrueckii*'nin bir alttürüdür. Gram pozitif, tekli, ikili veya zincir formda bulunabilen çubuk şeklinde hareketsiz ve sporsuz bir bakteridir [78]. Tüm suşları termofiliktir ve 42-45 °C arasında optimum gelişme göstermektedir. 10 °C'nin altında ise yavaş gelişim gösterebilmektedir. Optimum gelişme pH'sı 5,2-5,5 arasındadır, anaerobik koşullarda iyi aktivite göstermektedir. Zorunlu homofermentatiftir. Laktozun yanı sıra glukoz ve fruktozu da kullanabilmektedir [79]. Laktoz metabolizması sonucunda laktik asit, D (-) laktik asit yanı sıra karbonil bileşikleri (asetaldehit vb.), etil alkol ve uçucu yağ asitlerini de oluşturabilmektedir. Argininden amonyak üretmemektedir ve hücre duvarı peptidoglikan yapısı Lisin-D-Aspartik asit şeklindedir [80]. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un bazı suşları EPS sentezleme yeteneğindedir. Gelişim için niasin ve pantotenik asite ihtiyaç duymaktadır [77]. Proteolitik aktivitesi *S. thermophilus*'a göre daha yüksektir ve bu bakterinin ihtiyaç duyduğu esansiyel aminoasitleri üretme yeteneğine sahiptir [80].

1.5. Yoğurt Starter Bakterilerinin Metabolizması

1.5.1. Karbonhidrat Metabolizması

LAB'lar enerji ihtiyaçlarını karbonhidratların fermentasyonu yoluyla sağlamaktadır. Her iki yoğurt bakterisi de laktozu homofermantatif yolla parçalamaktadır. Termofilik yoğurt bakterileri tarafından gerçekleştirilen laktoz fermentasyonunun ilk basamağı laktozun bakteri hücresi içerisine taşınmasıdır. Dış ortamdan hücre içine laktoz transferi *S. thermophilus*'ta diğer LAB'dan farklıdır. Laktokoklar fosfoenolpirüvata bağlı (PEP)-fosfotransferaz sistemi (PTS) adı verilen spesifik bir laktoz transfer sistemine sahiptir [81]. Bu sistem fosfo- β -galaktosidaz (β -P-gal) adı verilen ve laktoz transferi sırasında oluşan laktoz-6-fosfatın glikoz ve galaktoza hidrolizini katalize eden bir enzim içermektedir [82]. *S. thermophilus* suşlarının büyük çoğunluğu ise β -P-gal veya PEP-PTS sistemine sahip değildir ve *S. thermophilus*'ta laktoz transferi, laktoz-galaktoz antiport veya galaktoz-proton simport sistemi olarak çalışan bir laktoz permeaz (LacS) ile sağlanmaktadır [83]. *S. thermophilus*'ta laktoz alımı sırasında laktoz-galaktoz

değişim mekanizmasında metabolik enerji ihtiyacı bulunmamaktadır [83]. *S. thermophilus*'ta laktozun hücre içerisinde glukoz ve galaktoza hidrolizi β -galaktosidaz enzimi aracılığıyla gerçekleştirilmektedir [84].

Yalnızca glukoz *S. thermophilus* tarafından Embden-Meyerhof-Parnas yolu ile L (+) laktata metabolize olmaktadır. Ortamda laktoz fazlası bulunduğunda galaktozun laktoz alımıyla eşit molar konsantrasyonlarda ortama salınmasıyla galaktoz-negatif (*gal*-) fenotip oluşturmaktadır. *S. thermophilus*'un *gal*- fenotipinin oluşması, Leloir yolunda hız kısıtlayıcı veya laktoz transfer sisteminde enerji açısından avantaj sağlayan galaktokinaz (GalK) enziminin indüksiyonunda kusur olarak nitelendirilmektedir [85]. Diğer yandan, kısıtlı laktoz ve fazla galaktoz konsantrasyonları gibi uygun selektif koşullarda *S. thermophilus*'un galaktozu fermente edebilen (*gal*+) mutantları da karakterize edilmiştir [86].

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* sınırlı sayıda karbonhidratı metabolize edebilme özelliğine sahiptir [87]. Genellikle glukozu metabolize ederken galaktoz üzerindeki etkinliği çok sınırlıdır. *S. thermophilus*'a benzer şekilde laktoz konsantrasyonu yetersizliği durumunda bazı suşlarında galaktoz metabolizması devreye girmektedir. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'ta glukozun hücre içerisine alımı fosfotransferaz sistemi benzeri (PTS) bir mekanizma üzerinden olmaktadır. Laktoz ve galaktozun hücre içine transferi ise permeaz sistemi ile gerçekleşmektedir. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un çoğu suşu hem β -D-galaktosidaz (β -gal) hem de fosfo- β -D-galaktosidaz (β -P-gal) enzimlerine sahiptir. Laktoz hücre içerisine alındıktan sonra β -gal aracılığı ile hidrolizasyona uğratılmaktadır [88].

Yoğurtta fermentasyon sonrası asitlik artışından birinci derecede *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sorumludur [89]. Ancak yoğurt laktobasilleri aracılığıyla gelişen fermentasyon sonrası asitlik artışı, son üründe fazla laktik asit birikimine neden olarak duyu kalitenin bozulmasına yol açan ve kontrol edilemeyen bir süreçtir [88, 89].

1.5.1.1. Laktik Asit İzomerleri

Laktik asit, yoğurt bakterilerinin laktoz katabolizmasında temel son üründür [86]. Laktik asit, L (+) laktik asit ve D (-) laktik asit olarak bulunan bir kiral moleküldür [90]. *S. thermophilus* pirüvattan yalnızca L (+) laktik asit oluşturmakta, diğer yandan

pirüvatın %90'ından fazlası *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından D (-) laktata dönüştürülmektedir [91]. Laktik asit biyosentezi stereospesifiktir. Rasemat D- ve L-laktat dehidrogenazın (LDH) ortak çalışmasından veya rasemat ile birlikte tek bir dehidrogenazdan meydana gelmektedir. LDH, bakteri hücresinin sitoplazmasında yer almaktadır ve aktivitesi nikotinamid adenin dinükleotide (NAD) ya da indirgenmiş nikotinamid adenin dinükleotide (NADH) bağımlıdır. NAD, pirüvik asitin laktik asite dönüşümü sırasında NADH' den yeniden oluşmaktadır.

Yoğurt fermentasyonunun ilk basamaklarında, *S. thermophilus*'un hızlı gelişiminden kaynaklanan glikolitik aktivite nedeniyle L (+) laktik asit birikimi daha fazladır [92]. Daha sonraki basamaklarda *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un hızlı çoğalmasıyla birlikte D (-) laktik asit miktarında hızlı bir artış görülmektedir [92]. Yoğurttaki D (-) ve L (+) laktik asit izomerleri arasındaki denge suşa bağımlıdır ve yoğurt genellikle % 45-60 L (+) laktik asit ve % 40- 55 D (-) laktik asit içermektedir [92].

1.5.2. Ekzopolisakkarit (EPS) Üretimi

S. thermophilus ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un her ikisinin de EPS üreten suşları (EPS+) bulunmaktadır. Yoğurt bakterileri tarafından üretilen EPS'lerin farklı monosakkarit kompozisyonları olabilmektedir. *S. thermophilus* tarafından üretilen hetero-ekzopolisakkaritlerin (HEPS) tekrar eden birimlerinin yapısı ilk defa Doco ve ark. [93] tarafından belirlenmiştir. Saf kültürlerde yoğurt bakterileri tarafından üretilen EPS miktarı önemli oranda değişebilmektedir [94]. Süt kültürlerinde EPS konsantrasyonlarının *S. thermophilus* için 50-3.000 mg/L ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* için 60-2.100 mg/L arasında olabileceği belirtilmektedir [95]. Yoğurt bakterileri tarafından üretilen HEPS'lerin kimyasal kompozisyonu, zincir uzunluğu ve tekrar eden birimlerin yapısı EPS molekülünün molar kütlesi ve tekstür geliştirici özelliklerini belirlemektedir [96]. Farklı suşların oluşturduğu EPS'lerin kompozisyonu, yükü, üç boyutlu dağılımı ve proteinlerle interaksiyon yeteneğinin farklı olabilmesi nedeniyle, EPS konsantrasyonları ve yoğurdun görünür viskoziteleri arasında kesin bir korelasyon bulunmamaktadır [97]. Diğer yandan birçok durumda, yüksek molekül ağırlıklı EPS'ler ve kısmen sıkı zincir yapısı, ürüne daha yüksek viskozite kazandırmaktadır. Tuinier ve ark. [98] zincir sıklığının alt birimler arasındaki bağların

türüyle direkt bağlantılı olduğunu ve α -(1-4) bağlarının β -(1-4) veya α -(1-3) bağlarından daha sıkı zincirler oluşturduğunu belirtmiştir.

HEPS üretimi enerji-yoğun bir prosestir ve yoğurt bakterileri enerji sağlayabilecek kısıtlı sayıda katabolik yola sahiptir [99]. Bu durum daha çok *S. thermophilus* için geçerlidir. HEPS'ler aktive edilmiş nükleotid şekerlerinden sentezlenmektedir ve şeker prekürsörlerinin seviyesinin düşük olması EPS üretimi üzerinde kısıtlayıcı bir unsur olabilmektedir. Bu nedenle *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un EPS üretiminin artırılması amacıyla son genetik yaklaşımlar, bu bakterilerin merkezi şeker metabolizması üzerine yoğunlaşmaktadır. Leloir yoluna sahip olan *S. thermophilus*'ta, UDP glukoz (UDPglu) ve UDP galaktoz (UDPgal), glukoz veya galaktoz monomerleri ile oluşturulabilmektedir [100]. Fosfoglukomutaz (PGM) Leloir yolu için temel enzimdir ve glukoz-6-fosfatın ve glukoz-1-fosfatın ara çevrimini katalize etmektedir. PGM aktivitesi bulunmayan *S. thermophilus* mutantlarının laktoz varlığında aynı düzeyde EPS ürettikleri belirtilmiştir [101]. Bu durum EPS prekürsörlerinin sağlanması için Leloir yoluyla galaktoz metabolizmasının önemini vurgulamaktadır. HEPS biyosentezi ve salgılanması kompleks bir genetik düzenlemedir ve spesifik *eps/cps* genleri kadar şeker nükleotidlerinin sentezi için birkaç tane temel referans gen (housekeeping gene) de gereklidir. *S. thermophilus* Sfi6 HEPS biyosentezinde genlerin dahil olduğu gösterilen ilk suştur. Stingle ve ark. [102] bu bakteride 14,5 kb *eps* gen dizisinin EPS üretiminden sorumlu olduğunu ortaya koymuştur. Mezofilik ve termofilik laktik asit bakterilerinin HEPS üretiminin değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir [103]. Termofilik yoğurt bakterilerindeki HEPS'lerin genetik değişkenliği, insersiyon sekansı gibi mobil genetik unsurların varlığına veya DNA delesyonu ve yeniden düzenlemelerini de içeren genellenmiş genetik düzensizliğe bağlı olabilmektedir [104]. Buna ilaveten, *S. thermophilus* polisakkariti indirgeyebilen ekzoselüler glikohidrolazları da üretebilmektedir [105]. Aksine, *S. thermophilus*'un bazı suşları hidrolizasyon karşısında daha dirençli olan yüksek molekül ağırlıklı EPS'leri üretebilmektedir [100]. EPS+ suşlarla üretilen yoğurt benzeri fermente ürünlerin tekstürü, proteinler ve polisakkaritler arasındaki interaksiyonlar tarafından belirlenmektedir [106]. EPS salgılanması kazein miselleri ve yağ globüllerinin bağlı kaldığı bir ağ yapısında, çok kompleks yapıda hücre adezyonuna yol açmaktadır [107]. Yoğurt bakterilerinin EPS+ suşları ile üretilen yoğurt benzeri

ürünlerin viskozitesi EPS'lerin yüzey yükünden etkilenmektedir. Nitekim yapılan bir çalışmada nötral EPS içeren yoğurdun viskozitesinin zamanla arttığını ve EPS üretmeyen suşlar (EPS-) ile üretilen yoğurtlardan 10 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, EPS viskoziteye etki ederken, elastisiteye etki etmemektedir. Kazeinlerle etkileşime giren EPS'ler serum fazda zayıf bir dispersiyon özelliği göstermekte ve bu nedenle viskozite gelişimi üzerinde çok az etkili olmaktadır. Yoğurt bakterilerinin EPS üretim yeteneği zamanın bir fonksiyonu olarak azalabilmektedir. Özellikle, pasajlamadaki artışla suşların EPS biyosentezi kapasitesi de azalabilmektedir [108].

1.5.3. Asetaldehit Üretimi

Yoğurdun aroma ve lezzetinin kontrolü, son ürünün kalite kontrolü ve pazarlama başarısı açısından önemlidir. Son ürünün karakteristik lezzeti temel olarak asetaldehite dayandırılmaktadır [109]. Sade yoğurttaki ideal asetaldehit konsantrasyonu 10-25 mg/kg arasındadır. Ancak bu bileşenin asetoin, diasetil ve aseton gibi diğer karbonil bileşenlerine oranı kesin olarak belirlenmiş değildir [110]. Yoğurt bakterilerinin asetaldehit üretimi suşa bağımlı olarak değişmektedir. Hangi yoğurt bakterisinin temel olarak asetaldehit üretiminden sorumlu olduğu konusunda kesin bir kanıya varılmış değildir [111].

Yoğurt bakterileri asetaldehit üretimi için karbonhidrat, protein ve nükleik asit metabolizmasına dahil olan alternatif yollara sahiptir [112]. Tüm durumlarda asetaldehit yan ürün veya ara ürün olarak ortaya çıkmakta ve fazla birikimi toksik olduğundan hücre dışına atılmaktadır [112].

Yoğurt fermentasyonu sırasında, asetaldehit pirüvat dekarboksilasyonunun sonucu olarak laktoz metabolizmasıyla direkt üretilmektedir. Direkt olarak pirüvat dekarboksilaz veya pirüvatoksidaz aracılığıyla üretilmektedir. İndirekt olarak ise pirüvat dehidrogenaz veya pirüvat format liyaz ile ara ürün asetil-CoA oluşumu şeklinde üretilmektedir [113]. Bu yollar aracılığıyla fermentasyonun ileri evrelerinde veya soğuk depolama sırasında lezzet bileşenleri oluşumunun kontrolü söz konusudur. Asetaldehit üretimi için bir başka yol ise amino asitlerin pirüvat aracılığıyla asetaldehite dönüşümüne dayanmaktadır. Treonin aldolaz da treoninden asetaldehit ve glisin

eldesinde rol oynamaktadır. Yoğurt bakterileri tarafından asetaldehit üretimi için kullanılan olası metabolik yollar aşağıda yer almaktadır.

1.5.3.1. Glukozdan Asetaldehit Oluşumu

Yoğurt bakterilerinde asetaldehit için en sık kullanılan yol, Embden-Meyerhof-Parnas yolu üzerinden α -karboksilaz aracılığıyla pirüvatın asetaldehite dönüşümüdür [11]. Alternatif bir yol da pirüvat dehidrogenaz enziminin pirüvat üzerindeki aktivitesiyle, sonraki basamaklarda asetaldehit eldesi için katalize edilebilen veya aldehit dehidrogenaz enzimi ile indirgenebilen asetil-CoA'nın oluşumudur [114]. Lees ve Jago [115] yoğurt bakterilerinin aldehit dehidrogenaz aktivitesini gösterdiğini belirtmişlerdir. Öte yandan, Manca de Nadra ve ark. [116] ile Raya ve ark. [117] *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşunda aldehit dehidrogenaz veya α -karboksilaz aktivitesini belirleyemediklerini iddia etmişlerdir. Bu nedenle pirüvat metabolizmasına dahil olan enzimler *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşlarında nadiren bulunduğundan, pirüvat metabolizması yoluyla asetaldehit oluşumu çok nadir karşılaşılan bir durumdur [118].

S. thermophilus'un sadece bazı suşları heksoz monofosfat (HMP) döngüsü yoluyla sırasıyla fosfotransasetilaz ve asetat kinaz enzimleriyle meydana gelen asetil-CoA veya asetattan asetaldehit biyosentezini katalize eden aldehit dehidrogenaz enzimine sahip olduğundan, HMP yoluyla asetaldehit üretimi mümkün görünmemektedir.

1.5.3.2. Treoninden Asetaldehit Oluşumu

Lees ve Jago [115] treonin aldolaz vasıtasıyla treoninden asetaldehit oluşumunun birincil önemini ortaya koymuştur. Treonin aldolaz, yoğurt bakterilerinde asetaldehitin yan ürün olarak oluştuğu treoninin glisine dönüşümünü katalize etmesiyle bilinen bir enzimdir. Metiyonin, treonin için bir prekürsör olarak çalışmakta ve bu nedenle aynı mekanizma ile asetaldehit birikimine yol açmaktadır. Ott ve ark. [119] ^{13}C -bağlı treonin ve ^{13}C -bağlı glukoz ilavesiyle inek sütünün fermentasyonu sırasında *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'tan asetaldehit oluşumunu incelemiştir. Araştırmanın sonunda, tekli ve çiftli etiketlenmiş asetaldehit hesaba katıldığında, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'tan fermentasyon sırasında glukozdan %90'ın üzerinde asetaldehitin oluştuğunu belirlemişlerdir. Streptokoklar tarafından salgılanan

treonin aldolaz, normal inkübasyon seviyelerine kadar sıcaklık artışıyla azalmaktadır [120]. Aksine, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un treonin aldolaz aktivitesi inkübasyon sıcaklığı değişiminden etkilenmemektedir [120]. Sütü yoğurda işlemek amacıyla 43 °C'de fermentasyona bırakıldığında, asetaldehitin temel olarak *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından üretildiği düşünülmektedir [120]. Sütün metiyonin veya treoninle takviyesi, yoğurttaki asetaldehit seviyesinin artmasına neden olduğu da bilinmektedir [121]. Yapılan bir çalışmada, 100 mg/kg seviyesinde metiyonin takviyesinin bazı *S. thermophilus* suşlarında asetaldehit üretimini artırdığını saptanmıştır [122]. Gelişme ortamındaki yüksek glisin konsantrasyonu, *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'ta treonin aldolaz aktivitesi için kısıtlayıcı bir unsurdur [123]. Glisinin yoğurt bakterilerinin farklı suşları üzerindeki inhibisyon etkisinin incelendiği bir araştırmada 125 µmol treonin içeren gelişme ortamına 25 µmol glisin ilave edildiğinde, *S. thermophilus* için inhibisyon seviyesinin % 39,1-98,1; *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* için ise %2,1-18,9 arasında değiştiği gözlenmiştir. Keçi sütü yüksek oranda glisin içerdiğinden, yüksek treonin aldolaz inhibisyonu seviyesine bağlı olarak keçi sütünden elde edilen yoğurtlarda asetaldehit birikimi diğer türlerden yapılanlara nazaran kısmen daha düşüktür [124]. Yapılan bir diğer çalışmada ultrafiltre edilmiş peyniraltı suyunda *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* karışık kültürü ile asetaldehit üretiminin konsantre edilmemiş süttten daha yüksek olduğu saptanmıştır [125]. Bu durum farklı protein türlerinin farklı glisin içeriklerine, dolayısıyla sütteki treonin aldolaz aktivitesinin konsantre peyniraltı suyundan daha düşük olmasına bağlanmaktadır [126]. Glisinin treonin aldolaz üzerindeki inhibisyon etkisi suşa bağımlıdır. Yüksek tuz konsantrasyonu ve Cu^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+2} ve Co^{+2} gibi divalent katyonların varlığı da treonin aldolaz aktivitesinde inhibisyona neden olmaktadır [127].

1.5.3.3. Nükleik Asitlerden Asetaldehit Üretimi

Literatürde yapılan bir çalışmada *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşlarının 2-deoksiriboaldolaz enzimi ile asetaldehit ürettiği belirtilmektedir [128]. Asetaldehitin alkol varlığında etanole degradasyonu, bu enzimin *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'ta bulunmaması nedeniyle yoğurtta nadiren görülebilen bir durumdur. Ancak *S. thermophilus*'un bazı suşlarında dehidrogenaz enzimine rastlanılmıştır [129].

1.5.4. Proteolitik Aktivite

Yoğurt bakterileri orta düzeyde proteolitik olmalarına rağmen, yoğurt fermentasyonu sırasında önemli düzeyde proteolize neden olabilmektedir. Süt proteinleri yoğurt starter bakterileri için temel azot kaynağıdır. Yapılan bir çalışmada 24 saat fermentasyon boyunca yoğurdun serbest amino asit içeriğinin ikiye katlandığı, depolama boyunca proteolizin devam ettiği ve 7 °C’de 21 günlük depolama süresince serbest amino asitler de yaklaşık olarak iki katına çıktığı belirlenmiştir [130]. *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*’un birçok suşu proteinaz aktivitesi göstermektedir [131]. Bu enzim, aktivitesi için Zn^{+2} ’ye ihtiyaç duymaktadır. Proteolitik aktivitesi 45-55 °C’de ve pH 5,2-5,8 aralığında optimum düzeydedir. β -kazein diğer kazein fraksiyonlarına göre yoğurt bakterileri tarafından daha hızlı hidrolize edilmektedir [130]. Aynı zamanda *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*’un bazı suşları serum proteinlerinden yüksek derecede alerjik olan β -laktoglobulini (β -LG) degrade edebilmekte, böylece bu protein fraksiyonunu daha az immunoreaktif hale getirmektedir. Bu suşların hipoalerjenik süt ürünlerinin geliştirilmesinde kullanılma potansiyeli bulunmaktadır [131]. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* proteazlarının aktivitesi sütün pH’sının düşmesiyle (<pH 5,0) artmaktadır. Bu nedenle bu enzimler fermentasyonun ileri basamaklarında daha aktiftir. Fermentasyon sırasında *S. thermophilus*’un kazeinler üzerindeki proteolitik aktivitesi oldukça zayıftır [131].

1.5.5. Yoğurt Starterlerinin Peptit Kullanımı

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* proteazları enzimler tarafından düşük molekül ağırlıklı peptitlere ve amino asitlere degrade olmaktadır [132]. Açığa çıkan bu azotlu bileşenler *S. thermophilus* tarafından gelişim için kullanılmaktadır [132]. *S. thermophilus* ekzopeptidazları peptitler üzerinde *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından sentezlenenlerden daha etkilidir [133]. Diğer yandan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*’un endopeptidaz aktivitesi daha çok bilinmektedir. Endopeptidazlar kazein fraksiyonlarının hidrolizinden öncelikli olarak sorumlu enzimlerdir [133]. *S. thermophilus*’un peptidaz ve aminopeptidaz aktiviteleri, proteinaz aktivitesinden daha yüksektir [133]. *S. thermophilus* tarafından salgılanan dipeptidazlar öncelikle valil, lösil, alanil ve arginil üzerinde etkilidir. *S. thermophilus*’un birçok suşu lösin-aminopeptidaz aktivitesine sahiptir [134]. Genel olarak, yoğurt bakterilerinin logaritmik gelişim

fazında proteolitik aktivite en üst düzeydedir ve bakteri gelişiminin durgunluk fazı boyunca azalmaktadır. Bazı serbest yağ asitleri (örneğin; kaprik asit) yoğurt bakterilerinin proteolitik aktivitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir [128].

1.5.6. Lipolitik Aktivite

Yoğurt starter bakterilerinin lipolitik aktiviteleri kısıtlı olmasına rağmen, lipoliz ürünleri yoğurtta aroma ve lezzet oluşumuna katkıda bulunmaktadır. *S. thermophilus* tarafından salgılanan triaçilgliserol lipaz enzimi tribütirini ve trioleini hidrolize etmektedir. Ancak bu enzim süt yağı üzerinde oldukça zayıf aktiviteye sahiptir [135]. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* orto- ve para-nitrofenili etkileyen intraselüler esteraza sahiptir [135]. Para-nitrofenil orto-nitrofenilden daha hızlı hidrolize olmaktadır. Her iki yoğurt bakterisi tarafından salgılanan esterazlar 40-50 °C’de ve yaklaşık pH 7’de optimum aktivite göstermektedir.

1.5.7. Üreaz Aktivitesi

S. thermophilus homolaktik fermentasyondan farklı bir metabolik yol üzerinden karbondioksit (CO₂) üretme yeteneğindedir ve üreaz aktivitesi bu mekanizmada anahtar bir rol oynamaktadır [136]. CO₂, üreaz aracılığıyla ürenin amonyağa dönüşümü sırasında açığa çıkmaktadır. Yoğurtta amonyak birikimi asitlik gelişimini yavaşlatarak zamanla fermentasyon kinetiğini etkilemektedir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için, yoğurt üretiminde *S. thermophilus*’un üreaz negatif (üreaz-) suşları kullanılmalıdır. Üre metabolizması *S. thermophilus*’un gelişim kinetiğini de etkilemektedir. Gelişimin durgunluk fazı boyunca *S. thermophilus*’un üreaz aktivitesi önemli düzeyde düşmektedir [136].

1.5.8. Oksijen Metabolizması

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* yüksek konsantrasyonda oksijen varlığında hidrojen peroksit (H₂O₂) oluşturabilme yeteneğindedir ve meydana çıkan H₂O₂ sütün laktoperoksidaz sistemini (LP-sistemi) aktive etmektedir. LP-sisteminin aktivasyonu sonucu, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* gelişimi kısmen inhibe olmaktadır [137]. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*’un aksine, *S. thermophilus* sütün LP-sistemi aktive etmeye yetecek düzeyde H₂O₂ üretememektedir [137]. *S. thermophilus*’un birçok suşu

O₂ ve H₂O₂ metabolizmasında aktif rol oynayan bir enzim olan NADH-oksidad aktivitesi göstermemektedir.

1.5.9. Vitamin Metabolizması

Yoğurt fermentasyonu sırasında *S. thermophilus* daha sonra *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından büyüme faktörü olarak kullanılan folik asidi üretmektedir. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* gelişiminin logaritmik fazda olduğu fermentasyon basamağında folik asit konsantrasyonu düşmektedir. Folik asit kadar önemli olmamakla birlikte, B12 vitamini de *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından büyüme faktörü olarak kullanılmaktadır. Her iki yoğurt bakterisi de yoğurt fermentasyonu sırasında niasin (B3 vitamini) ve piridoksin (B6 vitamini) sentezleyebilmektedir [138].

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşları Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden temin edilmiştir. Bakterilere uygulanan GSM 1800 bandı MD radyasyonu ise, Şekil 2.1.'de gösterilen, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Telekomünikasyon Ana Bilim Dalı'ndan temin edilmiş RF sinyal jeneratör ile uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan RF sinyal jeneratör, 150 kHz-2 GHz aralığında frekans ve 1,995 W ile 0,005 W arasında sinyaller üretebilme kapasiteli olup, 80 karakterli aydınlatmalı LCD ekranı bulunmaktadır. Kullanılan TGR serisi RF sinyal jeneratörü, yüksek frekanslı, geniş dinamik aralıklı, düşük faz gürültüsüne sahip ve esnek modülasyon yeteneği bulunan bir cihazdır. Bu cihaz 13 cm yüksekliğinde, 21,2 cm genişliğinde, 33 cm uzunluğunda ve 4,6 kg ağırlığındadır. Çalışmada, bu RF sinyal jeneratörü kullanılarak GSM 1800 bandı MD radyasyonu *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a uygulanmıştır. Seçilen bu frekans bandında 5MD güç seviyeli sinyal ortama verilmiştir. Bu frekans bandı, daha önce ön çalışma niteliği de taşıyan İlter [7] tarafından yapılmış yüksek lisans tezinin sonuçlarına göre seçilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan RF sinyal jeneratörü

2.1.1. Kullanılan Kimyasallar

Çalışma kapsamında yapılan analizler için kullanılan kimyasal madde ve besiyerlerinin listesi Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kimyasallar ve besiyerleri

Kullanılan Kimyasallar	Ürün Kodu/Marka
α -naftol ($C_{10}H_7OH$)	822289/Merck
Etanol (C_2H_6O)	818760/Merck
FenolFitaleyn ($C_{20}H_{14}O_4$)	107233/Merck
Hidroklorik Asit (HCl)	100317/Merck
M17 Agar	115108/Merck
M17 Broth	115029/Merck
MRS Agar	110660/Merck
MRS Broth	110661/Merck
Nutrient Agar	105450/Merck
o-dianisidin ($C_{14}H_{16}N_2O_2$)	119-90-4/ Sigma LAdrich
Peptonlu Su	107228/Merck
Peroksidaz (POD)	1142886100/ Roche
Perklorik Asit	100519/Merck
Potasyum Hidroksit (KOH)	109115/Merck
Sodyum Hidroksit (NaOH)	109137/Merck
Sodyum Klorür (ClNa)	106404/Merck
Süt (%0 yağlı)	Sütaş
Tuz	Billur
Krema	Sütaş

2.1.2. Kullanılan Ekipmanlar

Mevcut tez çalışması süresince kullanılan ekipmanlar Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Ekipmanlar

Kullanılan Ekipman	Marka/Model/Ülke
Analitik terazi	Ohaus/PA214C/İsviçre
Buzdolabı	Bosch/KDN53NL23N/Almanya
Çalkalamalı su banyosu	Nükleon Lab/WBS30/Türkiye
Etüv	Samheung/SH-DO149NG/Kore
İnkübatör	Samheung/SH-DO149BC/Kore
McFarland densitometre	BioSan/1B/ Letonya
Microplate okuyucu	Thermo Fisher/51119000/ABD
Mikropipet	Brand/Almanya
Mutfak robotu	Bosch/MCM4000/Almanya
Otoklav	JSR/JSAC 60/Japonya
pH metre	Hanna/HI 2002/İngiltere
Reometre	Anton Paar/Avusturya
Santrifüj	Hettich/Universal 380R/Almanya
Spektrofotometre	Shimadzu/ UV-1800/ Japonya
Vorteks	Heidolph/ReaxTop/Almanya
GSM 1800 üretici	Set Electronic LTD/GHZ2009X/Türkiye
HPLC	Shimadzu/6430/ Japonya
Photodiode array detector	Shimadzu/SPD-M20A/Japonya
Kolon İnertsil® ODS-3 C18	İnertsil® ODS-3 C18/Japonya
Kolon fırını	Shimadzu/CTO-10AS VP/Japonya
Pompa	Shimadzu/LC-20AT/Japonya
Autosampler	Shimadzu/SIL-10A/Japonya
GC-MS	Agilent J&W Scientific/6890N/USA
Fiber	Supelco, Bellefonte/ABD
Kolon	Agilent J&WScientific/HP-5MS/USA
TGA	Perkin Elmer Instruments/TGA 4000/ABD
FTIR	Perkin Elmer Instruments/Spectrum100/ABD

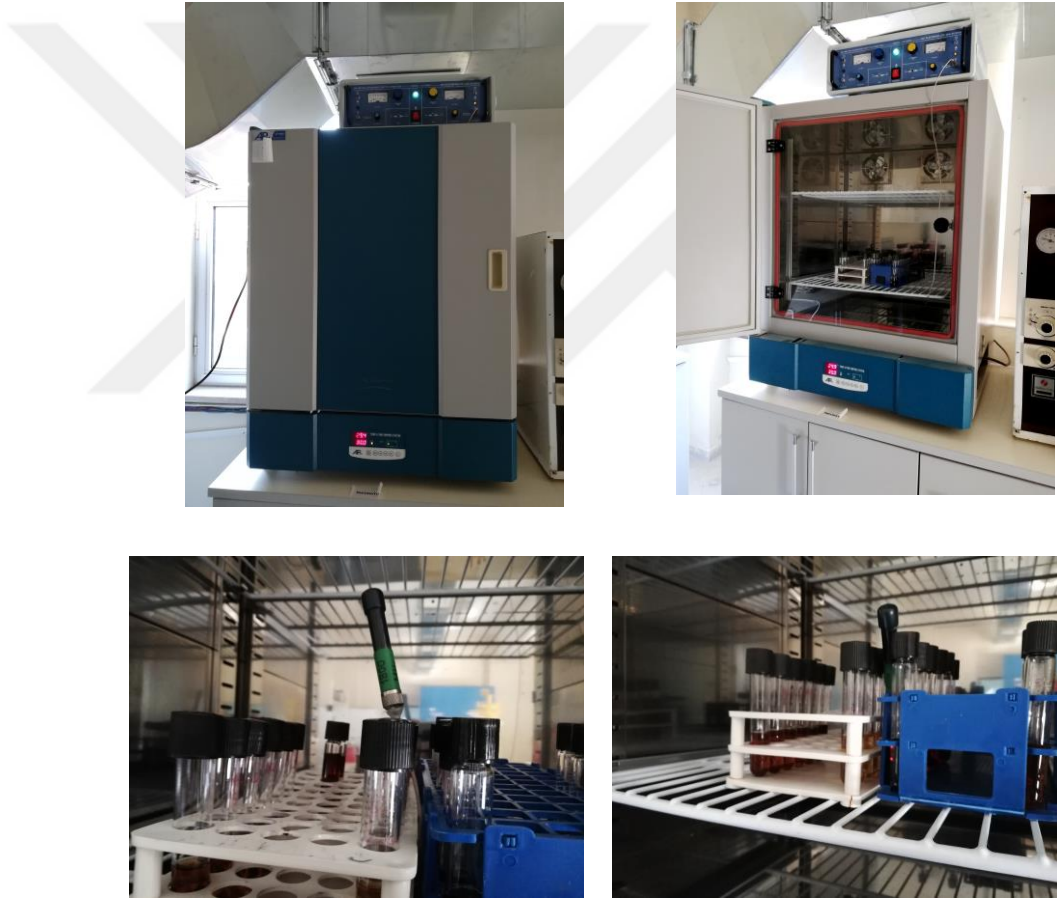
2.2. Yöntem

Çalışmada, *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşları ayrı ayrı çalışılmıştır. Bu amaçla *S. thermophilus*'un aktifleştirilmesi ve geliştirilmesi M-17 broth besiyerinde, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un aktifleştirilmesi ve geliştirilmesi ise MRS Broth besiyerinde yapılmıştır. Bütün analizlerde, *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ilgili kendi besiyerlerinde 42 °C'de 48 saat ilk aktifleştirmenin ardından yapılan 42 °C'de 24 saat süreyle ikinci aktifleştirme ile

kullanılmıştır. Çalışma süresince, *S. thermophilus* suşlarına “st”, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşlarına ise “lb” kodu kullanılmıştır.

2.2.1. Örneklerinin Hazırlanması

GSM 1800 şebekesinden kaynaklanan radyasyonun *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a uygulanması amacıyla Şekil 2.2.'de gösterilen deney düzeneği oluşturulmuştur.



Şekil 2.2. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan deney düzeneği

Bu amaçla GSM şebekesinden kaynaklanan radyasyon üretici jeneratörün anteni inkübatörün içerisine yerleştirilmiştir. Ardından antenin etrafına tüp sporlarına dizilmiş *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* içeren sıvı besiyerleri ile dolu olan deney tüpleri yerleştirilmiştir. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S.*

thermophilus ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örneklerine “R” kodu verilirken, GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmayan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örnekleri “K” harfi ile kodlanmıştır. Ayrıca, GSM 1800 bandı MD radyasyonunun olası ısı etkisini önlemek amacıyla çalışmalar inkübatör ortamında ve hep aynı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

2.3. Analizler

Tez çalışması kapsamında GSM 1800 MHz mikrodalga radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*’un gelişme kinetiklerine, organik asit miktarlarına ve EPS üretim miktarlarına etkileri belirlenmiştir. Ayrıca mikroorganizmalar tarafından üretilen EPS’lerin monosakkarit kompozisyonu, fonksiyonel grup analizleri ile termal özellikleri de saptanmıştır. Çalışmanın bir diğer aşamasında ise GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış ve uygulanmamış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile ayran üretimi gerçekleştirilerek, bu örneklerde organik asit, aroma profili ile reolojik özellikler tespit edilmiştir.

2.3.1. Gelişme Kinetikleri

Tez çalışması kapsamında kullanılan LAB’ların büyüme kinetiklerinin belirlenebilmesi amacıyla *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* MRS Broth, *S. thermophilus* ise M17 Broth besiyerinde 42 °C’de 48 saat süre ile aktifleştirilmiştir. Daha sonra 10 mL steril besiyerlerine bu aktif kültürlerden %0,1 aşılanmıştır. Aşılanan besiyeri 42°C’de gelişmeye bırakılmıştır. İnkübasyonun ilk 24 saatinde her iki saatte, 24.saatten itibaren ise 6 saat ara ile besiyerlerinden 1,5 mL alınarak steril spektrofotometre küvetine aktarılmıştır. Ardından 600 nm’de steril besiyerlerine karşı okutularak absorbansları ölçülmüştür. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile *S. thermophilus*’un logaritmik evrede büyüme hızı sabitleri birinci mertebe kinetik kullanılarak belirlenmiştir [139].

$$N = N_0 e^{-kt} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Burada;

N= t zamandaki bakteri yoğunluğu

N₀= başlangıç zamanındaki bakteri yoğunluğu

k = büyüme hız sabiti (t^{-1})

t = zaman (saat)

Eşitlik 1'in her iki tarafının logaritması alınarak aşağıdaki Eşitlik 2 elde edilmiştir;

$$\ln (N / N_0) = kt \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$\ln (N / N_0)$ değerine karşılık t değerlerinin grafiği çizilmiş ve eğimlerden büyüme hız sabitleri (k) bulunmuştur. Spesifik büyüme hız (μ) değerleri logaritmik gelişme evresinde elde edilen hücre sayısının logaritması ile zaman arasında çizilen grafiğin eğiminden bulunmuştur. t_d değeri ise spesifik büyüme hız değerleri kullanılarak $t_d = \ln 2 / \mu$ formülünden hesaplanmıştır.

2.3.2. Asit Üretim Yetenekleri

Tez çalışmasında kullanılan bakterilerin asit üretim yeteneklerinin belirlenmesi amacıyla *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* MRS Broth'ta, *S. thermophilus* ise M17 Broth besiyerinde 42 °C'de 48 saat süre ile aktifleştirilmiştir. Daha sonra 10 mL steril MRS ve M17 Broth besiyerine bu aktif kültürden %0,1 aşılanmıştır. Aşılanan besiyeri 42 °C'de gelişmeye bırakılmıştır. İnkübasyonun 12., 24. ve 48. saatlerinde 0,5 mL örnek alınarak üzerine 40 mL saf su ilave edilmiştir. Ardından 2-3 damla %1'lik fenolfitaleyn indikatörü damlatılarak ayarlı 0,01 N NaOH çözeltisi ile hafif pembe renk oluşuncaya kadar titre edilmiştir. Harcanan miktar belirlenmiştir (V_1). İnkübe edilmemiş steril sıvı besiyerine aynı işlemler yapılarak harcanan alkali miktarı kaydedilmiştir (V_2). Toplam asitlik % laktik asit cinsinden aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır [140].

$$\% \text{Asitlik} = [(V.F.E)/m].100$$

Bu eşitlikte;

V : Titrasyonda harcanan NaOH (mL)

F : Titrasyonda kullanılan NaOH normalitesi

E : NaOH eşdeğer gramı asit miktarı (Laktik asit için 0,09 g alınmıştır)

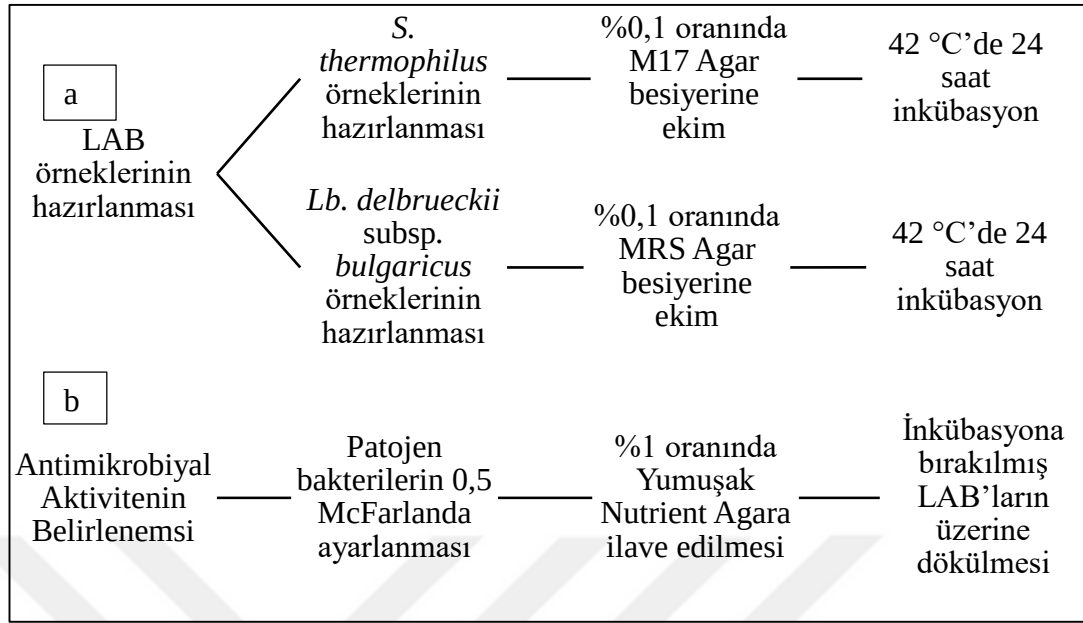
m : Örnek miktarı (mL)

2.3.3. Organik Asit Profili

Tez çalışması kapsamında GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un organik asit içeriğine etkisi yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* MRS Broth'ta, *S. thermophilus* ise M17 Broth besiyerinde 42 °C'de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun 12., 24. ve 48. saatlerinde besiyerlerinden 5 mL steril tüplere aktararak 4 °C'de 120000 x g'de santrifüjlenmiştir. Santrifüj işlemi sonunda süpernatantlar filtreden geçirilerek HPLC için hazırlanan viallere aktarılmıştır. Örneklerin organik asit içeriklerinin belirlenmesi amacıyla HPLC'de gerekli koşullar oluşturulmuştur. Bu kapsamda, 10 mM HClO₄ hareketli (mobil) faz 0,8 mL/dk akış hızında kullanılmıştır. Organik asitlerin maksimum absorpsiyonu için PDA (Photodiode Array Detector) dedektöründe 210 nm dalga boyu ve 40 °C'de kolon (250x4,6 mm, 5 µm) sıcaklığı belirlenmiştir. Örnekler cihaza 20 µL enjekte edilerek analizin süresi 20 dakika olarak belirlenmiştir. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un organik asit içeriklerinin belirlenmesi için standart organik asitler kullanılarak kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Bu amaçla, laktik, asetik, sitrik, propiyonik, tartarik, okzalik ve formik asitten 10,000-750-500-250 ve 100 ppm olmak üzere 5 farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan bu çözeltiler filtreden geçirilerek HPLC'de analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir standart organik asit için elde edilen sonuçlar kullanılarak kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.

2.3.4. Antimikrobiyal Aktivite

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un antimikrobiyal aktivitesi nokta ekim (spot on lawn) yöntemiyle belirlenmiştir [141]. Analiz LAB örneklerinin hazırlanması ve antimikrobiyal aktivitenin belirlenmesi olarak Şekil 2.3'de belirtildiği üzere iki aşamalı yapılmıştır.



Şekil 2.3. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un antimikrobiyal aktivite analizi

2.3.4.1. Örneklerin Hazırlanması

LAB örneklerinin ön kültürleri Şekil 2.3.a'da belirtildiği üzere %0,1 oranında MRS ve M17 Broth besiyerlerinde 42 °C'de 24 saat aktifleştirilmiştir. Ardından bu sıvı besiyerlerinden 1µL alınarak MRS ve M17 Agar besiyerlerine nokta ekim yapılmıştır. Ardından bu besiyerleri 42 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılarak *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un gelişmesi sağlanmıştır [141].

2.3.4.2. Antimikrobiyal Aktivite

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un antimikrobiyal aktivitesi dört bakteri (*Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* ve *Salmonella* spp.) ve bir adet maya (*Candida albicans*) olmak üzere beş mikroorganizmaya karşı belirlenmiştir. Bu amaçla Şekil 2.3.b.'de belirtilen aşamalar gerçekleştirilmiştir. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un antimikrobiyal aktivitelerini belirlemek amacıyla kullanılan maya ve bakterilerin yoğunlukları 0,5 McFarland'a ayarlanmıştır. Daha sonra %0,7 agar içeren yumuşak Nutrient Agar besiyerine %1 ilave edilmiştir. Hazırlanan bu yumuşak agar "2.3.4.1. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* örneklerinin hazırlanması" başlığında anlatıldığı üzere LAB ekimi

yapılmış agarların üzerine 7 mL dökülerek katılaşması beklenmiştir. Daha sonra bakterilerin gelişmesi amacıyla 36°C’de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda gelişen LAB’ların etrafında meydana gelen şeffaf zon çapları ölçülerek sonuçlar mm olarak verilmiştir.

2.3.5. Bakteriyosin Üretim Yeteneği

Antimikrobiyal aktivite gösteren LAB’ın bakteriyosin üretim yetenekleri kuyucuk difüzyon yöntemi (agar well diffusion) ile belirlenmiştir [142]. Bu analiz, çalışma kapsamında antimikrobiyal aktivite gösteren LAB örneklerine karşı denenmiştir. Bu amaçla LAB örneklerinin süpernatantlarının elde edilmiştir. Ardından elde edilen süpernatantların agar difüzyon yöntemine uygun olarak bakteriyosin üretim yeteneklerinin incelenmiştir.

2.3.5.1. Süpernatant Hazırlanması

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* örneklerinin süpernatantlarını hazırlamak amacıyla, LAB ön kültürleri 4500 rpm’de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Ardından üstte kalan sıvı kısım 0,45 µm’lik membran filtreden geçirilerek süpernatantları elde edilmiştir [142].

2.3.5.2. Kuyucuk Difüzyon Yöntemi

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*’un bakteriyosin üretim yeteneklerinin belirlenmesi amacıyla “2.3.9. Antibakteriyel Aktivitenin Belirlenmesi” başlığında zon veren bakteriler 0,5 McFarland olacak şekilde Nutrient Broth besiyerinde 36°C’de 24 saat aktifleştirilmiştir. Ardından bu aktif kültür, steril edilmiş ve sıcaklığı 45°C olan Nutrient Agar besiyerine %1 ilave edilerek petri kutularına dökülmüştür. Agar donup katılaştıktan sonra besiyeri üzerinde 6 mm kuyucuklar açılmıştır. Bu kuyucukların içerisine örneklerin süpernatantları 50 µl olacak şekilde aktarılmıştır. Kuyucuklara örneklerin süpernatantları ilave edildikten sonra 36 °C’de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Gelişme sonucunda kuyucuk etrafında zon oluşumu değerlendirilmiştir [142].

2.3.6. Ekzopolisakkarit (EPS) Üretim Yeteneği

Çalışmada kullanılan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un izolatlarının ekzopolisakkarit (EPS) üretim yetenekleri İspirli ve ark. [143]'nin kullandığı metoda göre yapılmıştır. Piyasadan temin edilen steril süt örneği 8 adet steril erlene aktarılmıştır. Ardından bu erlenlere, örneklerin ön kültürlerinden %2 inoküle edilerek, 42 °C'de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra EPS'nin ekstraksiyonu için inkübasyona bırakılmış süt örnekleri santrifüj tüplerine aktarılmıştır. Tüpler, örneklerde bulunan hücrelerin ayrılabilmesi amacıyla +4 °C'de 5000 rpm'de 15 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Süre sonunda bakteri hücreleri tortu şeklinde altta toplanmıştır. Ayrılan bu tortu atılmıştır. Süpernatanta ise EPS'nin çöktürülmesi amacıyla bir gece boyunca -18 °C sıcaklıkta bekletilerek soğutulmuş %95'lik etanol ilave edilerek, 24 saat 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Süre sonunda etanolün uzaklaştırılması ve EPS'lerin çöktürülmesi amacıyla 4 °C sıcaklıkta 5000 rpm'de 10 dakika süreyle yeniden santrifüjlenerek süpernatant uzaklaştırılmıştır. Dibe çöken EPS'ler liyofilizatörde kurutularak tartımları yapılmıştır.

2.3.7. EPS'lerin Monosakkarit Kompozisyonu

Mevcut tez çalışması kapsamında “2.3.6. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un Ekzopolisakkarit (EPS) Üretim Yetenekleri” başlığında üretilen EPS örneklerinden 800 µL alınarak üzerine %70'lik perklorik asitten 218,18 µL eklenmiştir. Daha sonra 95 °C'de su banyosunda 2 saat bekletilerek yakma işlemi uygulanmıştır. Süre sonunda oda sıcaklığına kadar soğutulan EPS solüsyonunun üzerine 500 µL 5M KOH eklenerek tuz oluşumu sağlanmıştır. Oluşan tuzun çöktürülmesi amacıyla 4 °C'de 120000 x g'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Süre sonunda süpernatant 0,22 µm filtreden geçirilerek, HPLC viallerine alınmıştır. HPLC'de monosakkarit kompozisyonunun belirlenmesi için asetonitril:su mobil faz kullanılarak NH₂ kolonuyla örnekler cihaza 1,8 mL/dk akış hızında verilmiştir.

2.3.8. EPS'lerin Termal Özellikleri

Çalışma kapsamında üretilen EPS'lerin piroliz ve yanma özellikleri azot gazı ortamında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Bu amaçla liyofilize edilmiş örneklerin darası alınarak seramik kaplara 3 mg EPS doldurulmuştur. Ardından, seramik kaplar

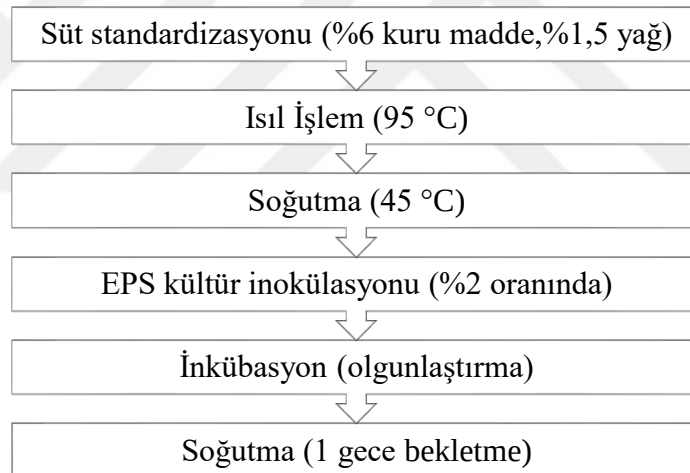
cihaza konularak $10\text{ }^{\circ}\text{C dk}^{-1}$ ısıtma hızında $50\text{-}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılmıştır. Analizde EPS'nin ısıtmayla birlikte kütle kaybı (%) değerleri belirlenmiştir [144].

2.3.9. EPS'lerin Fourier transform infrared (FTIR) Spektrokopisi

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* tarafından üretilen EPS'lerin fonksiyonel grupları FTIR spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Bu amaçla üretilen EPS'lerden 2 mg tartılarak 200 mg KBr ile karıştırılmış ardından FTIR için kullanılan özel 16 mm çaplı kaplara aktırılarak $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında ölçüm gerçekleştirilmiştir [145].

2.3.10. Ayran Üretimi

Ayran üretimi Şekil 2.4.2e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4. Ayran üretim şeması

Türk Gıda Kodeksi Fermente Sütler Tebliği'nde ayranın yağsız kuru madde içeriğinin en az %6 ve yağ oranının ise %1,5 olması gerektiği belirtilmektedir [146]. Tez çalışması kapsamında ayran üretimi için piyasadan temin edilen sütün kuru maddesi %12,75 olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla tebliğe uygun olacak şekilde 100 mL ayran üretimi için, 47,05 mL alınan süte 52,95 mL içme suyu katılarak kuru maddesi ayarlanmıştır. Daha sonra yağ standardizasyonu için %0 olarak belirtilen yağsız süt örneğine %35 yağ içeriğine sahip kremadan 4,28 gr eklenerek yağ oranı %1,5'a standardize edilmiştir. Ardından sütler $45\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmıştır. Ayran üretimi için eşit hacimli kapaklı

kaplara 100 mL olacak şekilde dağıtılmıştır. Bu işlem sonunda süt sıcaklığı kontrol edilmiş ve 42 °C'ye sabitlenmiştir. Her bir kaptaki süte, %2 kültür inoküle edilerek 42 °C'de fermentasyona bırakılmıştır. Ayranların fermentasyonları 4,60 pH'da sonlandırılmıştır. Ardından ayran örnekleri, oda sıcaklığına kadar soğutulmuşlardır. Örneklerin depolanması buzdolabında gerçekleştirilmiştir. Ayranların endüstriyel yöntemle üretilmiş ayran gibi homojen yapı kazanabilmesi amacıyla fermentasyonun gerçekleştirildiği kaplar mutfak robotuyla 3 dakika karıştırılmıştır. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneklerine “R”, GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmamış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneklerine ise “K” kodu verilmiştir.

2.3.11. Ekzopolisakkarit Miktarı

Tez çalışması kapsamında üretilen ayranlardan EPS ekstraksiyonu Rawson ve ark. [147]'nin belirlediği yöntemle uygun olarak yapılmıştır. Bu amaçla 100 mL ayran örneği +4 °C'de 5000 rpm'de 15 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Süre sonunda süpernatant steril erlenlere aktarılarak bir gece boyunca -18 °C sıcaklıkta bekletilerek soğutulmuş %95'lik etanol ilave edilmiştir. Ardından bu karışım, 24 saat 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Süre sonunda etanolün uzaklaştırılması ve EPS'lerin çöktürülmesi amacıyla 4 °C sıcaklıkta 5000 rpm'de 10 dakika süreyle yeniden santrifüjlenerek süpernatant uzaklaştırılmıştır. Dibe çöken EPS'ler liyofilizatörde kurutularak tartımları yapılmıştır.

2.3.12. EPS'lerin Monosakkarit Kompozisyonları

Mevcut tez çalışması kapsamında “2.3.11. Ayran Örneklerinin Ekzopolisakkarit Üretim Miktarı” başlığında üretilen EPS örneklerinden 800 µL alınarak üzerine %70'lik perklorik asitten 218,18 µL eklenmiştir. Daha sonra 95 °C'de su banyosunda 2 saat bekletilerek yakma işlemi uygulanmıştır. Süre sonunda oda sıcaklığına kadar soğutulan EPS solüsyonunun üzerine 500 µL 5M KOH eklenerek tuz oluşumu sağlanmıştır. Oluşan tuzun çöktürülmesi amacıyla 4 °C'de 120000 x g'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Süre sonunda süpernatant 0,22 µm filtreden geçirilerek, HPLC viallerine alınmıştır. HPLC'de monosakkarit kompozisyonunun belirlenmesi için asetonitril:su mobil faz kullanılarak NH₂ kolonuyla örnekler cihaza 1,8 mL/dk akış hızında verilmiştir.

2.3.13. Organik Asit Profili

Tez çalışması kapsamında üretilen ayranların organik asit içeriğinin belirlenmesi amacıyla örnekler filtreden geçirilerek HPLC viallerine aktarılmıştır. HPLC’de 10 mM HClO₄ mobil faz olarak 0,8 mL/dk akış hızında kullanılmıştır. Örnekler cihaza 20 µL enjekte edilerek PDA detektörde 210 nm dalga boyunda organik asit içerikleri belirlenmiştir. Analiz için kullanılan kolon (250x4,6 mm, 5µm) kolon fırınında 40 °C olarak sabit sıcaklığa getirilmiştir.

Kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması:

Ayranların organik asit içeriğini belirlemek amacıyla laktik, asetik, sitrik, propiyonik, tartarik, okzalik ve formik asit standartları kullanılmıştır. Standartların 10,000-750-500-250 ve 100 ppm olmak üzere 5 farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltileri filtreden geçirilerek yukarıda belirtilen şartlarda analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir standart organik asit için elde edilen sonuçlar kullanılarak kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.

2.3.14. Aroma Profili

Ayran örneklerinin serbest aroma bileşenleri eldesi için HS-SPME yöntemi kullanılmıştır. Ayran örneklerinden 4 mL alınarak 20 mL’lik SPME (Solid Phase Microextraction) viallerine aktarılmıştır. Serbest aroma maddelerinin ekstraksiyonu için 2 cm DVB/CAR/PDMS (Divinilbenzene/ Karboksen/ Polidimetilsiloksan; 50/30 µm kaplama kalınlığı) fiber kullanılmıştır. Cihazın inkübatör kısmında ilk olarak örnekler 80°C’de 15 dakika karıştırılmıştır. Fiber viallere enjekte edilerek, 10 dakika bekletilerek adsorpsiyon sağlanmıştır. Adsorbe olan fiberde GC-MS cihazına 250 °C’de 3 dakikada desorbe olarak belli koşullar altında aroma maddeleri tanımlanmıştır. Aroma maddeleri analizi için GC-MS cihazında HP-5MS kapiler kolon (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm) kullanılmıştır. Kolon sıcaklığı başlangıç olarak 35 C’de 5 dakika sabit tutulmuştur. Daha sonra ilk olarak 110 °C’ye kadar 4 °C /dk olacak şekilde aktarılarak 160 °C’ye dakika 4 °C artırılmak suretiyle son sıcaklık olarak 210 °C’ye 10 °C/dk olacak şekilde yükseltilmiştir (Total run time 53,25 dk). Taşıyıcı gaz olarak helyum gazı seçilmiş ve akış hızı 1,0 mL/dk’ya sabitlenmiştir. MS için ise ara yüzey sıcaklığı 230°C olarak seçilmiş ve tarama aralığı 35-350 m/z olarak ayarlanmıştır.

2.3.15. Reolojik Özellikler

Çalışma kapsamında üretilen ayranların akış davranış grafikleri, viskozite değerleri, viskoz ve elastik özelliklerinin frekans ile değişimleri incelenmiştir. Bu amaç ile reometre ile paralel plaka (çap 35 mm, aralık 1,000 mm) kullanılmıştır. Akış davranış özelliklerinin belirlenmesi için 4 ve 25 °C sıcaklıklarda, 1-100 s⁻¹ kayma hızı aralığında kayma gerilimi ölçülmüştür. Kayma hızına karşı viskozite değerleri grafiğe işlenerek akış davranış grafikleri elde edilmiştir. Görünür viskozite değerleri 50 s⁻¹ kayma hızında belirlenmiştir [148].

Frekans tarama analizleri lineer viskoelastik bölgede, 4 °C sıcaklıkta ve 0,1-100 Hz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Örneklerin viskoz (G') ve elastik (G'') özelliklerinin belirlenebilmesi için frekans tarama grafikleri elde edilmiştir.

2.3.16. Reolojik Parametrelerinin Modellenmesi

Ayran örneklerinin viskozite ve frekans tarama grafiklerinin modellenmesi amacıyla üssel yasa (Eşitlik 3) kullanılmıştır;

$$\eta = K \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

Eşitlik 3.

Burada akış eğrisi modellenirken;

η : görünür viskozite

K: kıvam katsayısı

$\dot{\gamma}$: kayma hızı

n; akış davranış indeksini ifade etmektedir. Frekans tarama grafikleri modellenirken ise Eşitlik 4 kullanılmıştır;

$$y = a \cdot x^b$$

Eşitlik 4.

Burada ise;

x: frekans

y: G' veya G''

a: kıvam katsayısı

b: y'nin x'e karşı olan grafiğinin eğimini ifade etmektedir.

2.3.17. Duyusal Analiz

Ayran örneklerinin duyusal analizi hedonik skala yöntemi kullanılarak 10 kişilik panelist yardımı ile yapılmıştır [149]. Duyusal analiz formu Ek-1'de verilmiştir.

2.3.18. İstatistik Analizler

GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un teknolojik ve probiyotik özelliklerine olan etkisi, SPSS (Versiyon 22.0, IBM, ABD) yazılımı ile çift yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılarak belirlenmiştir. Karşılaştırma Tukey testi ile %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir.

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Gelişme Kinetikleri

Tez çalışması kapsamında GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un gelişme kinetikleri incelenerek, logaritmik evrede spesifik gelişme hızı (μ), rejenerasyon süresi (g) ve ikiye katlanma süresi (t_d) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Gelişme kinetikleri

	Örnekler	μ (h^{-1})*	g (h)**	t_d (h)***
<i>S. thermophilus</i>	Kst	0,051±0,00 ^B	3,670±0,00 ^A	2,620±0,00 ^B
	Rst	0,062±0,00 ^A	3,474±0,00 ^B	2,830±0,00 ^A
<i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	Klb	0,041±0,00 ^B	3,887±0,00 ^A	2,430±0,00 ^B
	Rlb	0,077±0,00 ^A	3,257±0,00 ^B	2,970±0,00 ^A

* μ : Logaritmik evrede spesifik gelişme hızı, **g: Jenerasyon süresi, *** t_d : İkiye katlama süresi. Kst: Kontrol *S. thermophilus*, Rst: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus*, Klb: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* Rlb: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, ^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un spesifik gelişme hızlarının (μ) kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un generasyon (g) ve ikiye katlanma sürelerinin (t_d) GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış örneklerde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, her iki bakterinin de GSM 1800 bandı MD radyasyonuna maruz kaldığında, kontrol örneğine göre daha hızlı büyüdüğü tespit edilmiştir. Bu durum, şimdiye kadar bilinen MD radyasyonunun mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkisi olduğu teorisiyle uyuşmamaktadır. Literatürde MD radyasyonunun öldürücü etkisinin ısı etkisinden kaynaklandığını belirtilmiştir [150]. Fakat son zamanlarda yapılan çalışmalar da MD radyasyonunun ısı olmayan etkilerinin bakterilerin genetik yapısını etkilediği tespit edilmiştir. Örneğin Blevins ve ark. [151], *Salmonella typhimurium* suşlarına 2450 MHz MD radyasyonu uygulamıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen verilere göre, MD radyasyonun mutasyona sebep olabilecek bir etken olduğu açıklanmıştır. Leach [152] ise 5 MD/cm² ile 5000 MD/cm² güç aralığındaki MD radyasyonunun sahip olduğu foton enerjisinin DNA'nın yapısını iyonize edemeyecek kadar zayıf olduğundan mutasyonlarla ilgili genetik bir etkiye neden olmayacağını belirtmiştir. Ancak MD radyasyonunun, kromozol yapı ile miktarını etkileyebileceğini ve gen fonksiyonlarındaki düzensizliklere neden olabileceğini iddia etmiştir. Sagripanti ve Swicord [153] ise yürüttükleri bir çalışmada MD radyasyonun DNA'da zincir kırılmasına neden olduğunu tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada 2450 MHz MD radyasyonunu uygulanmış farelerin beyin hücresi DNA'larında tek zincir kırıklarına rastlandığı bildirilmiştir [154]. 2450 MHz MD radyasyonunun *Staphylococcus aureus* bakteri enzimlerinin metabolik aktivitesi üzerindeki etkilerini inceleyen bir başka araştırmada ise *S.aureus* hücrelerinin sadece termal etki teorileri ile açıklanamayacak şekilde etkilendiği belirtilmiştir [155]. Bir diğer çalışmada 2450 MHz radyasyonunun bakterileri öldürmesinin yanı sıra hücresel aktivitede de bir bozulmaya neden olabileceği sonucuna ulaşılmıştır [156]. Arndt ve ark. [157], 5 GHz altındaki MD radyasyon uygulamalarının bakteri canlılığını çok az etkilediğini belirtmiştir. Yapılan bu araştırmalar MD radyasyonunun hücreleri ısıl etkiden daha başka bir mekanizma ile etkilediğini ortaya koymaktadır. Fakat yine de bu

araştırmalar MD radyasyonunun mikroorganizmalar üzerinde nasıl ve neden ortaya çıktığını tam olarak açıklayamamaktadır. Araştırmacıların bir kısmı MD radyasyonunun meydana getirdiği etkilerin ısıdan kaynaklandığını [158], bir kısmı ise MD radyasyonunun kromozom tahribatı için ısı etkilerinin yetersiz olduğunu ancak serbest radikal oluşumu ile bu durumun açıklanabileceğini düşünmektedir [159]. Bir kısım araştırmacı ise MD radyasyonunun meydana getirdiği etkilerin hücre ısınması ile açıklanamayacağını ileri sürmüştür [160]. Mevcut çalışmada elde edilen verilere göre GSM 1800 bandı MD radyasyonu literatürün aksine *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un gelişmesini teşvik etmiştir. Nitekim literatürde yapılan çalışmalarda MD radyasyonun ısı etkisinden kaynaklanan mikroorganizmaları öldürücü etkisi olduğu teorisi ağır basmaktadır [161,162]. Örneğin, Kozempel ve ark. [163], mikrodalga fırının içerisine soğutmalı bir sistem geliştirerek *Pediococcus* sp., *Escherichia coli*, *Listeria innocua* ve *Enterobacter aerogenes* inoküle edilmiş su, sıvı yumurta ve elma suyu gibi farklı sıvıların sterilizasyon işlemini yapmaya çalışmışlardır. Fakat çalışma sonunda elde edilen verilere göre, MD radyasyonun düşük sıcaklıklarda mikroorganizmaları öldürmediğini, MD ile sterilizasyonun tamamen ısı etkiden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Fujikawa ve ark [164], *E.coli*'nin MD radyasyonunun ısı etkisi ile öldüğünü bildirmiştir. Bir başka çalışmada *Escherichia coli* ve *Bacillus subtilis* hücre yapısına MD radyasyonun etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçta termal etki ile hücrelerin etkilenecek parçalandığı bildirilmiştir [165]. Shazman ve ark. [166] ise ısı olmayan etkiler ile maillard reaksiyonu, protein denatürasyonu ve polimer çözünürlüğü ile bakterilerin mutajenezi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Fakat çalışma sonunda MD radyasyonunun ısı olmayan etkisini saptayamadıklarını bildirmişlerdir. Mevcut tez çalışmasında ise uygulanan MD radyasyonun *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'u öldürmemesi, yapılan analizlerin bir inkübatör içerisinde 42 °C sabit sıcaklıkta gerçekleştirildiğinden MD radyasyonun ısı etkisinin etkili olmadığı düşünülmektedir. Dolayısıyla GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* üzerinde belirlenen geliştirici etkisi daha detaylı genetik çalışmalarla açıklanabileceği sonucuna varılmıştır.

3.2. Asit Üretim Yetenekleri

Yoğurt bakterileri olarak bilinen *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un laktik asit üretimleri endüstriyel açıdan önemlidir. Çünkü yoğurt üretimi sırasında kültürün oluşturduğu laktik asit, kazein misellerinin kararlılığını etkileyerek, protein koagülasyonuna neden olmaktadır. Böylece yoğurt jelinin oluşumu gerçekleşmektedir [167]. Laktik asit gelişimi sonucu pH'daki düşüşütün koagülasyonunu sağlayan enzimlerin aktiviteleri için uygun koşulları oluşturmaktadır. Ortamdaki laktik asit miktarı olgunlaşma, tat-aroma oluşumu ve konsistensin sağlanmasında da etkili olmaktadır [168]. Literatür incelendiğinde *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un asit üretim yeteneklerini farklı yöntemlerle inceleyen çalışmalara sıkça rastlanmaktadır. Kültürlerin geliştirdiği laktik asidin tespitinde en fazla kullanılan yöntem ise titrasyon yöntemi [169] olup, mevcut çalışma kapsamında da bu yöntem kullanılmıştır. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örnekleri tarafından üretilen laktik asit miktarları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Laktik asit miktarları (%)

	Örnekler	12. saat	24. saat	48. saat
<i>S. thermophilus</i>	Kst	0,61±0,00 ^{Aa}	0,72±0,00 ^{Ab}	0,81±0,00 ^{Ab}
	Rst	0,52±0,02 ^{Aa}	0,60 ± 0,00 ^{Aa}	0,70 ± 0,00 ^{Ab}
<i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	Klb	0,34±0,00 ^{Bb}	0,62±0,01 ^{Ba}	0,67±0,09 ^{Ba}
	Rlb	0,77±0,00 ^{Ac}	1,03±0,00 ^{Ab}	1,12±0,00 ^{Aa}

Kst: Kontrol *S. thermophilus*, Rst: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus*, Klb: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* Rlb: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. ^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$). ^{ab} Aynı satırdaki küçük harfler ise sürelerin karşılaştırılması olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 12., 24. ve 48. saatlerde GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* kontrol örneğine göre daha az laktik asit ürettiği belirlenmiştir. Fakat bu durum istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur. Analiz süresince *S. thermophilus*'a ait her iki örneğin 48. saatte en yüksek miktarda laktik asit ürettiği tespit edilmiştir. Ancak GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus*'un 24. ve 48. saat laktik asit üretim miktarı istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bulunurken, kontrol örneğin 24. ve 48. saat laktik asit üretim miktarları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un laktik asit üretim miktarları incelendiğinde 12., 24. ve 48. saat sonunda en çok laktik asit üretiminin GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış örnekte olduğu belirlenmiştir. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un kontrol örneğinin laktik asit üretimi 48 saat süresince arttığı tespit edilmiştir. Ancak 24. ve 48. saat laktik asit üretimi arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$). Mevcut çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örneklerinin 24. saatten itibaren, *S. thermophilus* örneklerine kıyasla daha fazla laktik asit üretim miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşlarının *S. thermophilus* suşlarına oranla daha fazla laktik asit ürettiklerine ilişkin bulgular mevcuttur [170]. Bu kapsamda mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar literatür bulgularıyla uyumlu bulunmuştur. Literatürde GSM 1800 bandı MD radyasyonun mikroorganizmaların laktik asit üretime üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak MD radyasyonunun bakterilerin asit üretimi üzerine benzer çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Turgut [171], 2450 MHz frekans uygulamasının yoğurt starter kültürlerinin laktik asit üretim miktarları üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmanın sonunda, kontrol örneklerinin 2450 MHz frekans uygulanan örneklerle göre daha az laktik asit ürettiklerini tespit etmiştir. Dimitrov ve ark. [172] ise 2450 MHz frekans uygulamasının, peynir olgunlaştırılması sırasında starter kültür üzerine etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, 2450 MHz frekans uygulanarak ısıtılan sütlerle yapılan peynirlerde, olgunlaşmadan sorumlu starter kültürlerin, kontrol grubuna göre daha fazla arttığını ortaya koymuştur. Dolayısıyla frekans uygulanan ürünün laktik asit miktarının da kontrol örneğine göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Mevcut tez

çalışması kapsamında da GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un laktik asit üretim miktarını artırdığı istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Bu durumun, “3.1. Laktik Asit Bakterilerinin Gelişme Kinetiklerinin Belirlenmesi” başlığında tartışıldığı üzere, GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un büyümesini stimüle etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca elde edilen veriler ışığında, GSM 1800 bandı MD radyasyonun *S. thermophilus*'un laktik asit üretimi üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir.

3.2. Organik Asit Profili

Bu çalışma kapsamında GSM 1800 bandı MD radyasyonu *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'a 48 saat uygulanmıştır. Bu süre kapsamında bakterilerden 12., 24. ve 48. saatte örnekler alınarak laktik asit, asetik asit, propiyonik asit, sitrik asit, tartarik asit, okzalik asit ve formik asit içerikleri belirlenmiştir. Fakat mevcut çalışmada kullanılan bakterilerde okzalik asit ve tartarik asit üretimine rastlanmamıştır. Laktik asit, asetik asit, propiyonik asit, sitrik asit ve formik asit içerikleri Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* en bilinen starter kültürler olup yoğurt üretiminde gerekli en önemli laktik asit bakterileridir. Özellikle karbonu metabolize etmeleri sonucu meydana gelen laktik asit en önemli ara üründür. LAB'ların bu özellikleri gıdalarda asitliğin yükselmesine yol açarak raf ömrünün uzatılması bakımından yararlı olmaktadır. Laktik asit üretiminin yanı sıra, asetik asit, sitrik asit, pürivik asit gibi diğer metabolitleri sayesinde ürünlerin arzu edilen tat, aroma ve kıvamda olmasını sağlamaktadırlar [173]. Literatürde laktik asit bakterilerinin organik asit içeriği ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Fakat genel olarak standart bir organik asit miktarına rastlanmamıştır. Bu durumun kullanılan suşa, besiyerine ve pH derecesine bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir [173]. Mevcut tez çalışmasında *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un hem GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış hem de kontrol örneklerinde laktik asit, asetik asit ve propiyonik asit ürettikleri belirlenmiştir. Starter kültürlerin, birçok patojen mikroorganizmanın gelişimini engellemek amacıyla laktik asit, asetik asit ve propiyonik asit ürettiği bilinmektedir [196].

Tablo 3.3. Organik asit profili (mg/L)

Organik Asitler	Saat	<i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>		<i>S. thermophilus</i>	
		Klb	Rlb	Kst	Rst
Formik Asit	12	-	1551,434±0,00 ^{Aa}	-	1626,922±0,00 ^{Aa}
	24	-	1323,432±0,00 ^{Ca}	-	1507,415±0,00 ^{Aa}
	48	-	1484,169±0,00 ^{Ba}	-	1000,775±0,00 ^{Ba}
Laktik Asit	12	1431,746±0,00 ^{Aa}	829,569±0,00 ^{Ab}	4146,107±0,00 ^{Aa}	3417,205±0,00 ^{Bb}
	24	1631,746±0,00 ^{Bb}	3307,144±0,00 ^{Ba}	3037,204±0,00 ^{Ba}	148,295±0,00 ^{Cb}
	48	3021,466±0,00 ^{Ca}	953,470±0,00 ^{Ab}	4410,784±0,00 ^{Ab}	9267,992±0,00 ^{Aa}
Asetik Asit	12	1553,959±0,00 ^{Ab}	3158,641±0,00 ^{Ba}	2457,874±0,00 ^{Ba}	1727,933±0,00 ^{Bb}
	24	716,033±0,00 ^{Bb}	1855,446±0,00 ^{Ca}	1728,573±0,00 ^{Ca}	262,297±0,00 ^{Cb}
	48	682,808±0,00 ^{Cb}	6314,361±0,00 ^{Aa}	2920,933±0,00 ^{Aa}	1884,136±0,00 ^{Ab}
Sitrik Asit	12	-	730,511±0,00 ^{Aa}	-	936,938±0,00 ^{Aa}
	24	-	498,826±0,00 ^{Ba}	-	642,790±0,00 ^{Ba}
	48	-	-	-	-
Propiyonik Asit	12	9866,311±0,00 ^{Ca}	8182,036±0,00 ^{Ab}	7777,526±0,00 ^{Aa}	5693,986±0,00 ^{Ab}
	24	5271,502±0,00 ^{Ba}	5519,409±0,00 ^{Ba}	7014,879±0,00 ^{Ba}	5189,876±0,00 ^{Ab}
	48	4886,142±0,00 ^{Ab}	4791,423±0,00 ^{Cb}	4873,511±0,00 ^{Ca}	3248,205±0,00 ^{Bb}

Klb: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, Rlb: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, Kst: Kontrol *S. thermophilus*, Rst: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus*. ^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$). ^{ab} Aynı satırdaki küçük harfler ise sürelerin karşılaştırılması olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$).

Tablo 3.3.'de belirtildiği üzere formik asit ve sitrik asit üretimi ise sadece GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış örneklerde 12. ve 24. saatlerde tespit edilmiştir. Sitrik asit *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* için birincil enerji kaynağı değildir. Ancak LAB'lar farklı koşullara uyum sağlayarak metabolizmalarını değiştirerek farklı son ürün kompozisyonlarına yol açabilmektedirler [174,175]. Örneğin, Belgundouz ve ark. [176], *Leuconostoc mesenteroides* ile *Lactococcus lactis*'in ortamda değişen pH homeostazının korumak amacıyla sitrik asit üretimini

artırdığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla bakterilere uygulanan GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* üzerinde strese neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca mikrodalga radyasyonunun ısı olmayan etkilerinden dolayı çevre koşullarının değişerek sitrik asidin kullanımının artmış olabileceği de söz konusu olabilir. Asetik asit ise laktozun veya sitrik asit fermentasyonu sonucu oluşan bir organik asittir [177]. Mevcut tez çalışmasında asetik asit *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* örneklerinin hepsinde tespit edilmiştir. Fakat sitrik asit tespit edilen örneklerde (GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*) daha fazla miktarda asetik asit belirlenmiştir. Bu durum, GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un asetik asit üretimi için sitrik asidi tercih etmelerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. İnkübasyon süresince asetik asit miktarının arttığı belirlenmiştir. Bu durum istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bulunarak literatürde asetik asidin inkübasyona süresinde arttığını belirten çalışmalarla uyumlu olduğu belirlenmiştir [178]. Propiyonik asit kontrol ve GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile *S. thermophilus* örneklerinde belirlenmiş olup, depolama süresince arttığı tespit edilmiştir. İnkübasyon süresinin probiyonik asit miktarı üzerinde etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) olduğu bulunmuştur. Daha önce yapılmış çalışmalarda da probiyonik asidin inkübasyona süresi uzadıkça arttığı belirlenmiştir [179]. Laktik asit bakterilerinin ürettikleri başlıca organik asit laktik asittir. Çalışmada kullanılan LAB örneklerinde de beklendiği üzere başlıca organik asit laktik asit olmuştur. Laktik asit inkübasyonun 12. saatinden itibaren en baskın asit olup, inkübasyon süresince de arttığı belirlenmiştir. Daha önce yapılmış çalışmalarda laktik asit bakterilerinde tespit edilen laktik asit miktarı 8043 mg/L ile 13884 mg/L arasında tespit edilmiştir [177-180]. Fakat GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış LAB örneklerinde literatürde ki verilerden daha fazla laktik asit miktarı tespit edilmiştir. Bu durum “3.2. *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un Asit Üretim Yetenekleri” başlığında elde edilen verilerle de uyumlu bulunmuştur.

Tez çalışmasında *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un belirlenen organik asit içeriklerinin, daha önce yapılmış çalışmalardan daha fazla olduğu tespit

edilmiştir. Bu durum GSM 1800 bandı MD radyasyonun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un aktivitelerinin etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bakterilerin stres koşullarında daha fazla organik asit ürettiklerini belirten çalışmalar mevcuttur [181,182]. Dolayısıyla GSM 1800 bandı MD radyasyonun bakteriler üzerinde bir strese neden olduğu ve organik asit metabolizmalarını etkilediği düşünülebilir. İnkübasyon süresince asetik asit miktarının da arttığı belirlenmiştir. Bu durum daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu bulunmuştur [178].

3.3. Antimikrobiyal Aktivite

Mevcut tez çalışmada *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un 4 Gram pozitif ve 2 Gram negatif olmak üzere toplam 6 patojen mikroorganizmaya karşı antibakteriyel aktiviteleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4. *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un antimikrobiyal zon çapları (mm)

Örnek Kodu	Patojen Bakteriler				
	<i>E. coli</i> *	<i>B. subtilis</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>S. Typhimurium</i>	<i>S. aureus</i>
Klb	4,40±0,011 ^B	-**	-	-	7,10±0,011 ^A
Rlb	4,30±0,011 ^B	-	-	-	4,00±0,01 ^B
Kst	5,50±0,011 ^A	-	5,10±0,01 ^A	-	-
Rst	4,20±0,011 ^B	-	-	-	-

**Escherichia coli* ATCC 11230, **Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Listeria monocytogenes* ATCC 7644, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Staphylococcus aureus* ATCC 2592, *Aeromonas hydrophila* ATCC 7965, **Herhangi bir aktivite tespit edilememiştir. Klb: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, Rlb: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, Kst: Kontrol *S. thermophilus*, Rst: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus*. ^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$). ^{ab} Aynı satırdaki küçük harfler ise sürelerin karşılaştırılması olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$).

Tablo 3.4.'de gösterildiği üzere *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un hem GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış hem de kontrol örneklerinin *Escherichia coli*'ye karşı zon oluşturduğu belirlenmiştir. Diğer indikatör

mikroorganizmaların (*Salmonella typhimurium* ve *Bacillus subtilis*) ise çalışmada kullanılan örneklerle karşı herhangi bir aktivite göstermediği tespit edilmiştir.

LAB'ların antibakteriyel aktiviteleri ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu konu ile ilgili bir çalışmada, çeşitli süt ürünlerinden izole edilen *Lb. paracasei*'nin *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus pyogenes* ve *Streptococcus agalactiae*'ye karşı antimikrobiyel aktivitesi incelenmiştir. Çalışma sonunda en fazla antibakteriyel etki *Staphylococcus aureus*'a karşı tespit edilmiştir [183]. Zhang ve ark. [184] yaptıkları çalışmada dört farklı laktik asit bakteri suşunun (*Lb. paracasei* subsp. *paracasei* M5-L, *Lb. rhamnosus* J10-L, *Lb. casei* Q8-L ve *Lb. rhamnosus* GG (LGG)) *Salmonella typhimurium*, *Shigella sonnei* ve *Escherichia coli* patojenleri üzerindeki antimikrobiyal etkilerini incelemişlerdir. LAB'ların en fazla *Shigella sonnei* üzerinde antibakteriyel etkisi olduğu bildirilmiştir. Gonzalez ve ark. [185] yaptığı çalışmada ise peynirlerden izole edilmiş toplam 395 laktik asit bakteri suşunun patojen bakterilere karşı antibakteriyel etkisini incelemiştir. Bunlardan sadece 24 laktik asit bakteri suşunun, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Lactobacillus plantarum*, *Clostridium tyrobutyricum* ve *Listeria monocytogenes* patojenleri üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar, kullanılan LAB suşu ve patojen bakteri suşuna bağlı olarak değişmektedir. Mevcut tez çalışmasından elde edilen sonuçların genel olarak literatürle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak mevcut çalışmadan elde edilen önemli sonuçlardan biri de GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un antimikrobiyel aktiviteleri üzerinde etkili olmadığıdır. Çünkü *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un kontrol örnekleri diğer örneklerle göre patojenlere karşı daha fazla antibakteriyel etki gösterdikleri belirlenmiştir.

3.4. Bakteriyosin Üretim Yeteneği

LAB'ların Başlık "3.3 L *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un Antimikrobiyal Aktivite Yetenekleri" bölümünde elde edilen antimikrobiyal aktivite sonuçlarını bakteriyosin veya diğer bileşiklerden kaynaklanıp kaynaklanmadığını belirlemek amacıyla bakteriyosin üretim miktarları belirlenmiştir. Bu aşamada, antimikrobiyal aktivite yeteneği tespit edilmiş LAB örneklerine karşı zon veren

patojen mikroorganizmalar (*E. coli*, *L. monocytogenes* ve *S. aureus*) kullanılmıştır. Asitliği nötralize edilerek santrifüj edilen ve membran filtreden geçirilen LAB örneklerinin hiçbirinde indikatör mikroorganizma olarak kullanılmış *E. coli*, *L. monocytogenes* ve *S. aureus*'a karşı inhibisyon zonuna rastlanmamıştır. Genel inhibisyonun asitlikten kaynaklandığı ve seçilen kültürler tarafından inhibisyona neden olacak oranda bakteriyosin üretilmediği sonucuna ulaşılmıştır.

3.5. EPS Üretim Yeteneği

Tez çalışması kapsamında GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *S. thermophilus* ile *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un EPS üretim miktarlarına etkisinin olup olmadığını belirlemek üzere EPS üretimi miktarları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Tablo 3.5. EPS (mg/mL)

<i>Lb. delbrueckii</i>	Klb	0,60±0,01 ^B	S.	Kst	0,63±0,00 ^C
subsp. <i>bulgaricus</i>	Rlb	0,73±0,01 ^A	<i>thermophilus</i>	Rst	1,45±0,01 ^A

Klb: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, Rlb: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, Kst: Kontrol *S. thermophilus*, Rst: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus*.^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır ($p<0.05$).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en fazla EPS üreten örneğin GSM 1800 bandı MHz MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* (1,45 mg/100 mL) olduğu belirlenmiştir. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un kontrol örneğinin ise en düşük EPS üretimini (0,40 mg/100 mL) gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Genel olarak Tablo 3.5. incelendiğinde, *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un *S. thermophilus*'a göre daha az EPS ürettiği tespit edilmiştir. Literatürde yapılmış daha önceki çalışmalarda, *S. thermophilus*'un EPS miktarı 0,03 g/L gibi düşük miktarlardan [186], 890 mg/L'ye kadar [187], *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un EPS miktarı da 0,06 - 0,15 g/L [187] arasında değiştiği belirlenmiştir. Dolayısıyla mevcut çalışmada elde edilen EPS miktarları literatür verileriyle uyumlu bulunmuştur. Öte yandan GSM 1800 bandı MD radyasyonu *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S.*

thermophilus'un EPS üretimini arttırdığı tespit edilmiştir. Literatürde GSM 1800 bandı MD radyasyonunun LAB'ların EPS üretim miktarları üzerinde herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Fakat az sayıda, radyasyonun farklı kaynaklardan elde edilen EPS'lerin miktar ve yapısal özelliklerine etkisini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların birinde, Çernobil bölgesinden toplanan bir bitkinin kökünde tespit edilen bir bakterinin endüstriyel olarak üretilen EPS'den daha fazla ve yapısal olarak daha farklı olduğu bildirilmiştir [188]. Bir başka çalışmada ise *X. campestris*'a mikrodalga uygulayarak ksantam gam üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre mikrodalgaın ksantam gam üretme verimini etkilediği ve bu durumun mutasyondan kaynaklandığı bildirilmiştir [189].

Mevcut çalışmada kullanılan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un EPS üretimi üzerinde GSM 1800 bandı MD radyasyonunun mutasyona sebep olduğu için artırıp artırmadığı yapılacak daha geniş çalışmalarla açıklanabilecektir. Ancak EPS üretimi kullanılan LAB'ın suşuna ve besin ortamının bileşimi (karbon ve nitrojen) ile bakterilerin gelişme şartlarına da bağlı olarak değiştiği bilinmektedir.[190]. Dolayısıyla GSM 1800 MHz MD radyasyonunun mevcut çalışmada kullanılan *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un EPS üretimini arttırdığı fakat bunun mutasyondan mı yoksa farklı bir neden mi olduğu elde edilen verilerle açıklamanın mümkün olmadığı kanısına varılmıştır.

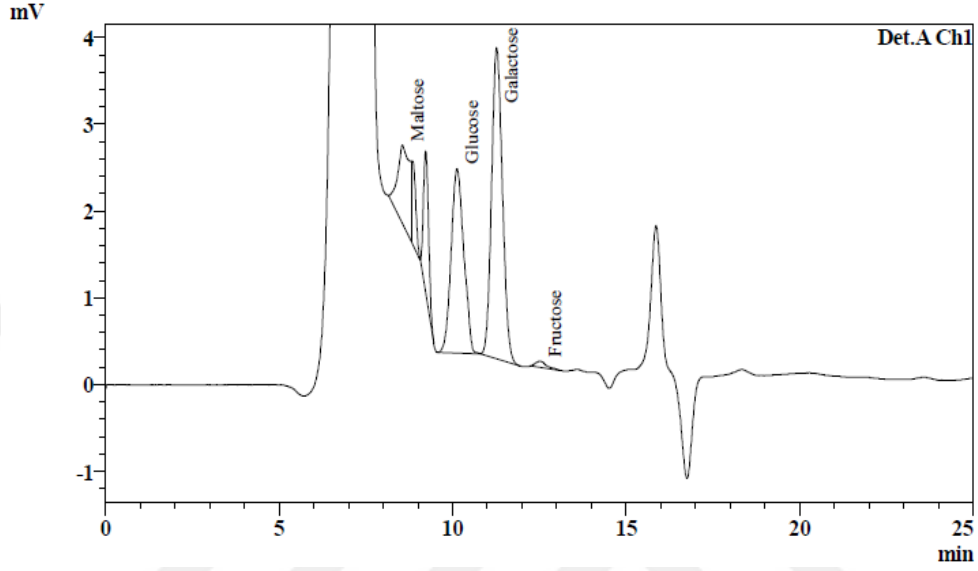
3.6. EPS'lerin Monosakkarit Kompozisyonları

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* tarafından üretilen EPS örneklerinin monosakkarit kompozisyonları HPLC analizi ile belirlenerek glukoz, galaktoz, maltoz ve fruktoz birimlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Elde edilen kromatogramlar Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de verilmiştir.

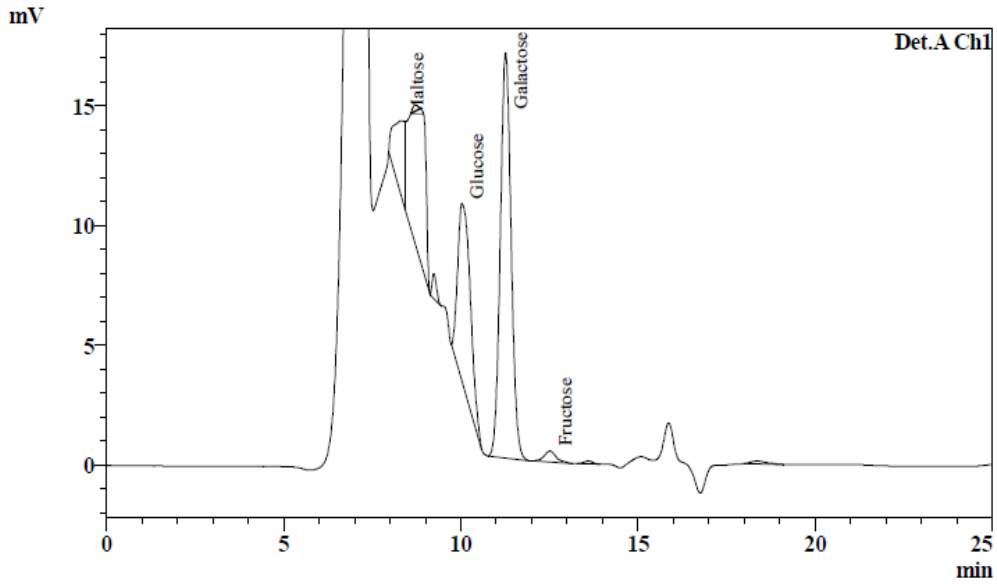
S. thermophilus tarafından üretilen EPS'lerin şeker içeriklerine ait kromatogramlar incelendiğinde glukoz, galaktoz, maltoz ve fruktozun alıkonma zamanları sırasıyla 10,1; 11,2; 8,2 ve 12,5 dk olarak belirlenmiştir. *S. thermophilus*'un kontrol örneğinde maltoz 0,074 mg/mL, glukoz 0,181 mg/mL, galaktoz 0,313 mg/mL tespit edilirken, fruktoz 0,035 mg/L olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1.a.). GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus*'ta ise maltoz 0,234 mg/mL, glukoz 0,626

mg/mL, galaktoz 1,397 mg/mL tespit edilirken fruktoz 0,069 mg/mL olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1.b.).

a)

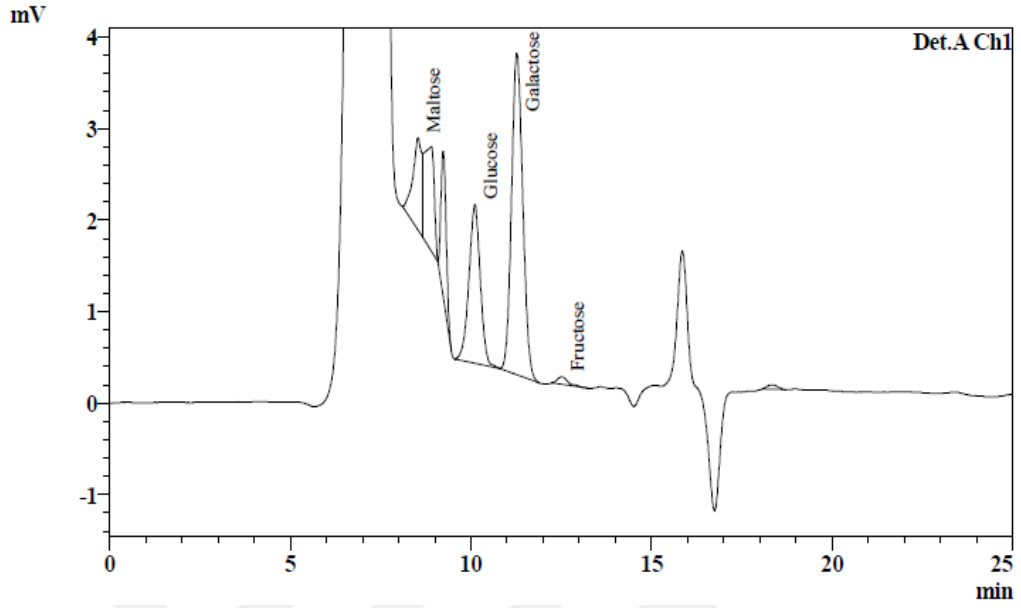


b)

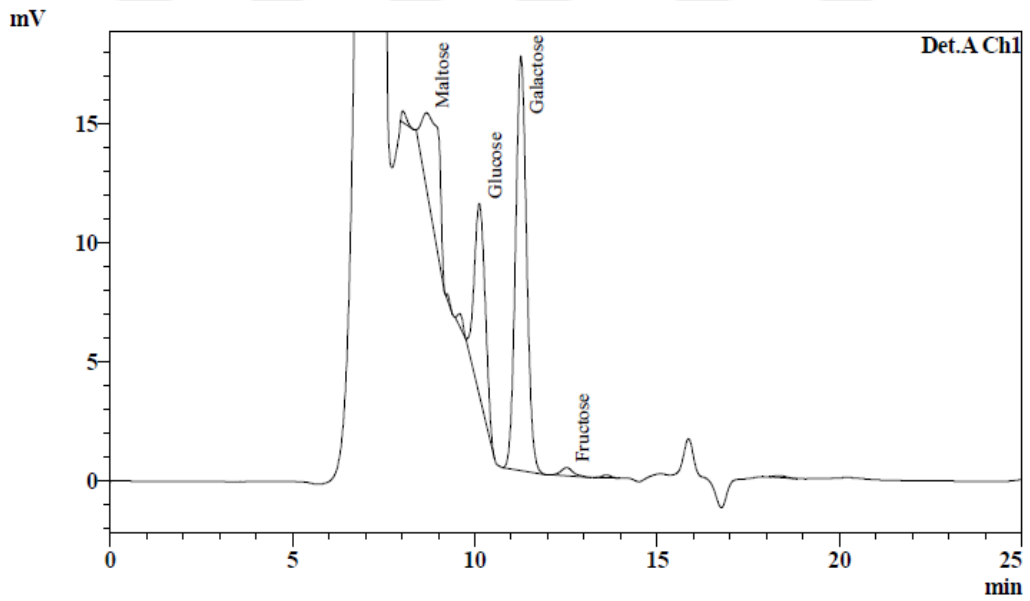


Şekil 3.1. *S. thermophilus* örneklerine ait şeker içeriği kromotogramı a): Kontrol *S. thermophilus*'a ait EPS'nin şeker içeriği kromotogramı, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus*'a ait EPS'nin şeker içeriği kromotogramı

a)



b)



Şekil 3.2. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örneklerine ait şeker içeriği kromotogramı a): Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a ait EPS'nin şeker içeriği kromotogramı, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a ait EPS'nin şeker içeriği kromotogramı

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* örneklerinin şeker kompozisyonları incelendiğinde ise kontrol örneğinde maltoz 0,056 mg/mL, glukoz 0,127 mg/mL, galaktoz 0,306 mg/mL ve fruktoz 0,035 mg/mL olarak saptanmıştır (Şekil 3.2.). Benzer şekilde GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örneğinde ise maltoz, glukoz, galaktoz ve fruktoz oranları sırası ile 0,502 mg/mL, 0,554 mg/mL, 1,430 mg/mL ve 0,060 mg/mL olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.4.).

Elde edilen sonuçlara göre GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus*' tan elde edilen EPS'nin glukoz ve fruktoz içeriği GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un glukoz ve früktoz içeriğinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak maltoz ve galaktoz içerikleri göz önüne alındığında GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak GSM 1800 bandı MD radyasyonu, üretilen EPS'lerin şeker kompozisyonu değiştirdiği belirlenmiştir. Mevcut tez çalışmasında *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un kontrol örneklerinde fruktoz içeriğinin çok az olduğu fakat galaktoz içeriklerinin fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca maltoz oranı GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanana örneklere (R1b ve Rst) oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Mevcut tez çalışmasında elde edilen şeker kompozisyonu sonuçları, çalışılan LAB örneklerinin heteropolimerik EPS üretme kabiliyetinde olduklarını göstermiştir. Aynı zamanda *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından üretilen EPS'lerin şeker kompozisyonları literatürde daha önce belirlenen EPS'ler ile şeker içeriği ile uyumludur. Literatürde daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, *Lactobacillus* türleri tarafından üretilen EPS'lerde yapılan şeker analizlerinde özellikle glukoz ve galaktozun mutlaka bulunduğu, bunun dışında fruktoz, arabinoz ve mannoz birimleri de tespit edilmiştir [191]. LAB'lar tarafından üretilen EPS'nin kimyasal yapısı genel olarak stabil olabilse de ortamdaki karbon kaynağına bağlı olarak değişebilmektedir [191]. Örneğin Cerning ve ark. [192] *Lb. casei*'nin ortama ilave edilen farklı karbon kaynaklarını kullanarak üretilen EPS'nin monosakkarit kompozisyonunu değiştirdiğini bildirmiştir. Benzer şekilde Yüksekdağ ve ark. [193] *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'u farklı karbon kaynakları kullanarak ürettikleri EPS'lerin hem miktar hem de yapısal olarak değiştiğini belirtmişlerdir.

Zhanf ve ark. [194] yağsız süttten izole ettikleri *S. thermophilus* ST1 suşunun ürettiği EPS'nin monoakkarit içeriğinin farklı pH ve sıcaklık derecelerinde değişip değişmediğini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuca göre, üretilen EPS'nin monosakkarit içeriği pH ve sıcaklıkla değişmediği ancak miktarların değiştiği iddia edilmiştir. Benzer şekilde Li ve ark. [195] *S. thermophilus* KLDS SM suşunu farklı besi ortamlarında geliştirerek EPS üretimi gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, farklı besi ortamlarının EPS'nin şeker içeriğini değiştirmediyi ancak miktarlarını değiştirdi belirlenmiştir. Örneğin, glukoz, sukroz ve laktoz ilave edilen besi ortamında elde edilen EPS'nin galaktoz+glukoz kompozisyonu $1,8\pm0,02$ mg/mL iken kontrol grubunda $1,8\pm0,03$ mg/mL tespit edilmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar EPS'nin monosakkarit bileşimini genetik olarak belirlendiğini, meydana gelen miktar değişimlerini ise EPS üretimini kodlayan genlerin transkripsiyon seviyelerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Geel-Schutten ve ark. [196] ise fermente gıdalar, hayvan bağırsağı ve insan dış plağından izole ettikleri *Lb. bulgaricus* suşlarının EPS monosakkarit kompozisyonlarını belirlemişlerdir. Çalıştıkları 20 suşun iki tanesi dışında, üretilen EPS'ler %84-95 (w/w) arasında glukoz ürettikleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda literatürde yapılmış diğer çalışmalarla benzer olarak suşların monosakkarit içeriği aynı kalmakla birlikte oranlarının değiştiği belirtilmiştir. Mevzut tez çalışmasında da bütün örneklerin monosakkarit içerikleri aynı olduğu belirlenmiştir. Ancak GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus*'un maltoz (0,234 mg/mL), glukoz (0,626 mg/mL), galaktoz (1,397 mg/mL) ve früktoz miktarları (0,065 mg/mL) kontrol örneğine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örneğinde ise maltoz (0,502 mg/mL), glukoz (0,554 mg/mL), galaktoz (1,430 mg/mL) ve fruktoz (0,060 mg/mL) miktarları da kontrol örneğinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Dolayısıyla mevcut çalışmada elde edilen veriler ile literatürde daha önce yapılmış çalışmalar arasındaki monosakkarit kompozisyonların değişikliği hem suşların farklılığına hem de ortamda besiyerinden ve bakterilerin metabolitleri sonucu açığa çıkan karbon kaynaklarına bağlı olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda GSM 1800 bandı MD radyasyonunun bakteriler üzerinde stres kaynağı olarak etki ederek

EPS'lerin şeker kompozisyonlarını değiştirebileceği de düşünülebilir. Bakterilerin çeşitli stres faktörleri altında ürettikleri EPS'lerin içeriklerinin de değişebileceği daha önce yapılmış çalışmalarla belirlenmiştir [197].

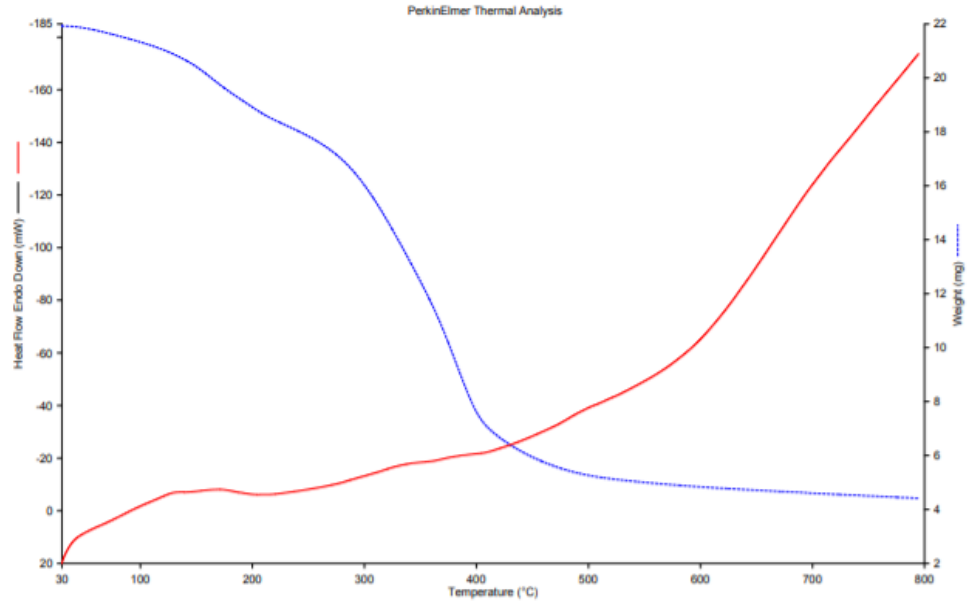
3.7. EPS'lerin Termal Özellikleri

LAB örnekleri tarafından üretilen EPS'lerin TGA analizleri, dinamik olarak sıcaklık artışı ile kütle kaybı belirlenerek yapılmıştır. Elde edilen TGA kütle kaybı spektrumları Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'da verilmiştir.

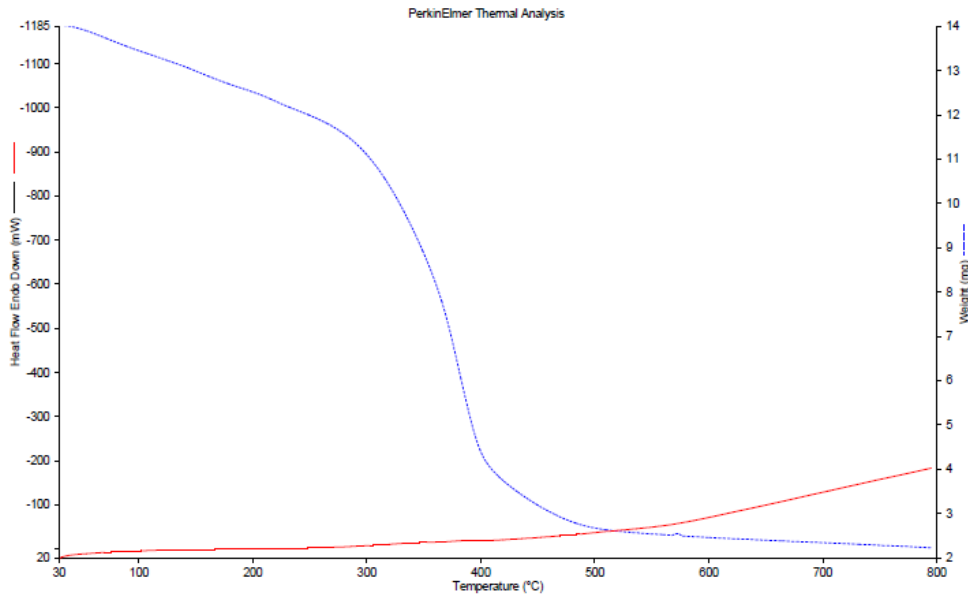
EPS'lere ait termogramlar incelendiğinde *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örneklerinde iki bozulma piki gözlenmektedir. Tüm EPS örneklerinde 100 °C civarlarında %8 ile %15 kadar birinci kütle kaybı meydana gelmiştir. Bu birinci kütle kaybının, EPS'lerin karbonil grupları içermesinden dolayı bağlanmış olan suyun uzaklaşmasından olduğu tahmin edilmektedir [198]. En düşük rezidü oranı GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* örneğinde tespit edilmiştir. Örneklerin 800 °C kadar yanmaları sonucu GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. Thermophilus* örneğinde kütle kaybı %92,3 olarak belirlenirken kontrol örneğinde %75,01 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örneğinde %73,7 olarak hesaplanan kütle kaybı, kontrol örneğinde %77,6 olarak belirlenmiştir.

LAB'lar tarafından üretilen EPS'lerin termal degradasyon sıcaklığı, GSM 1800 bandıMD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* dışında diğer örneklerde bugüne kadar yapılan çalışmalarda edilen EPS'lerden yüksek bulunmuştur [199]. Örneğin endüstride en çok kullanılan ve en iyi bilinen ksantan ve keçiyoynuzu gamlarının degradasyon sıcaklığı 282,65 ve 278,46 °C olduğu bilinmektedir [200,201].Bu durumda mevcut çalışmada elde edilen sonuçlara göre üretilen EPS'lerin degradasyon sıcaklığı yüksektir. Bu sonuçlar bu çalışma kapsamında elde edilen EPS'lerin yüksek sıcaklık gerektiren işlemlerde kullanılabileceğini göstermektedir. Farklı kaynaklardan üretilen EPS'lerin yapısal farklılıkları nedeni ile hepsinin termal özellikleri de farklılık göstermektedir [202].

a)



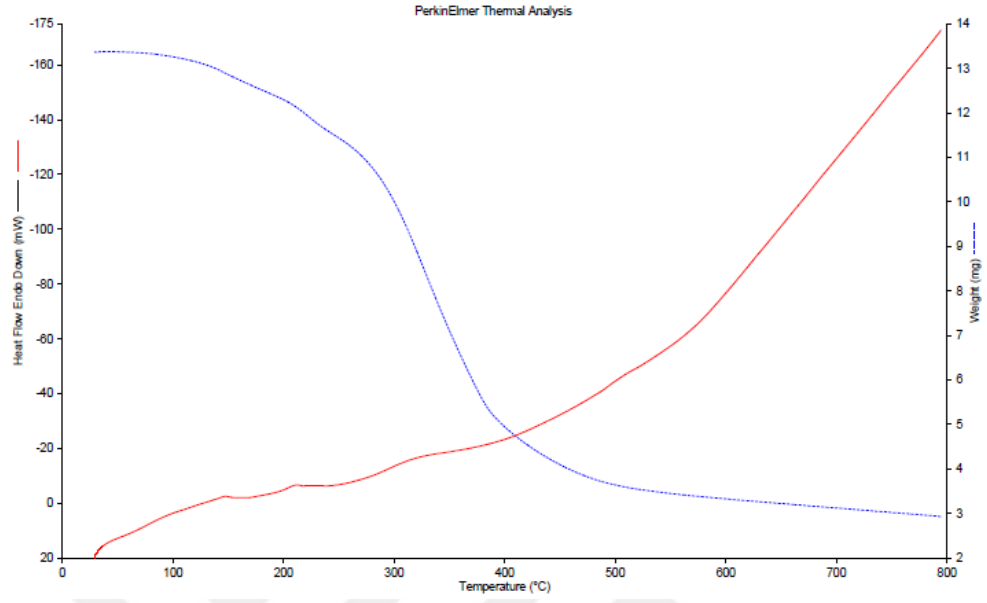
b)



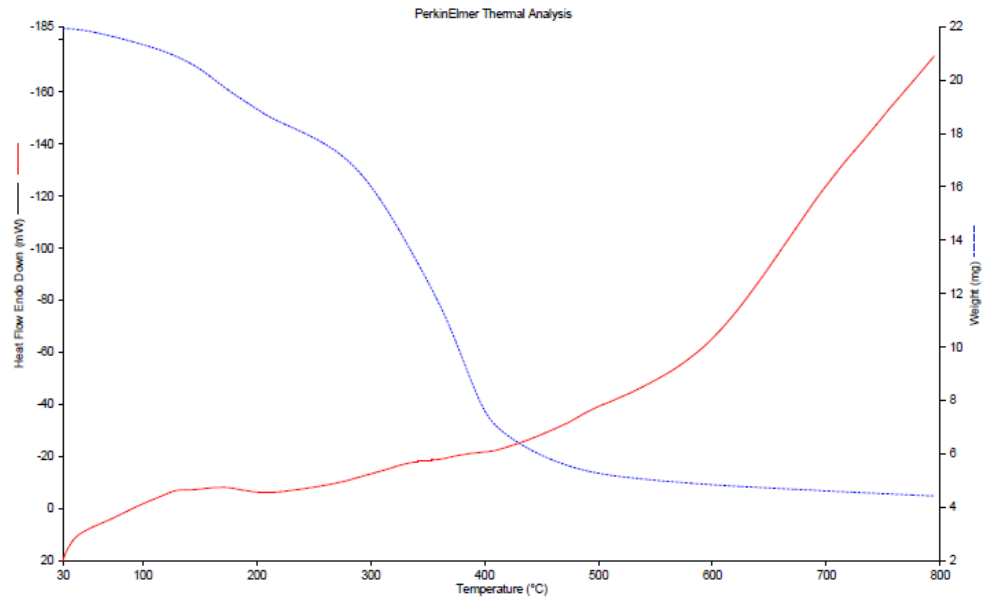
Şekil 3.3.

S. thermophilus örnekleri tarafından üretilen EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu a): Kontrol *S. thermophilus*'a ait EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus*'a ait EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu

a)



b)



Şekil 3.4. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örnekleri tarafından üretilen EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu a); Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a ait EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu, b); GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a ait EPS'nin TGA kütle kaybı spektrumu

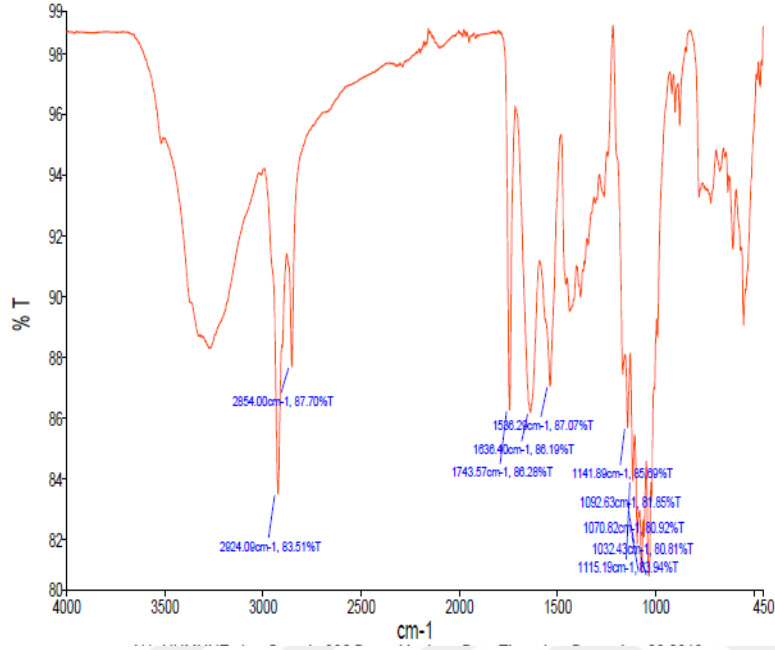
Elde edilen EPS'ler gıda sektöründe stabilizatör, emülgatör ve su bağlayıcı ajan gibi uygulamalarda kullanılmasının yanı sıra antikanser, antitümör gibi özelliklerinin yanı sıra tıpta da kullanılmaktadır [203]. Ayrıca, bir biopolimer olduklarından ötürü ambalaj yapımında da son zamanlarda ilgi odağı olmuşlardır [204]. EPS'lerin termal stabilitelerinin yüksek olması, farklı sektörlerde farklı kullanım özelliklerine göre yüksek ısı işleme proseslerinde stabilitelerini koruyabilmeleri açısından önemli olduğu bilinmektedir [205]. Yüksek sıcaklıkta en az kütle kaybına uğrayan EPS üretim ve maliyet açısından daha verimli olmaktadır. Mevcut tez çalışmasında GSM 1800 bandı MD radyasyonu *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından üretilen EPS'lerin termal özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir.

3.9. EPS'lerin Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi

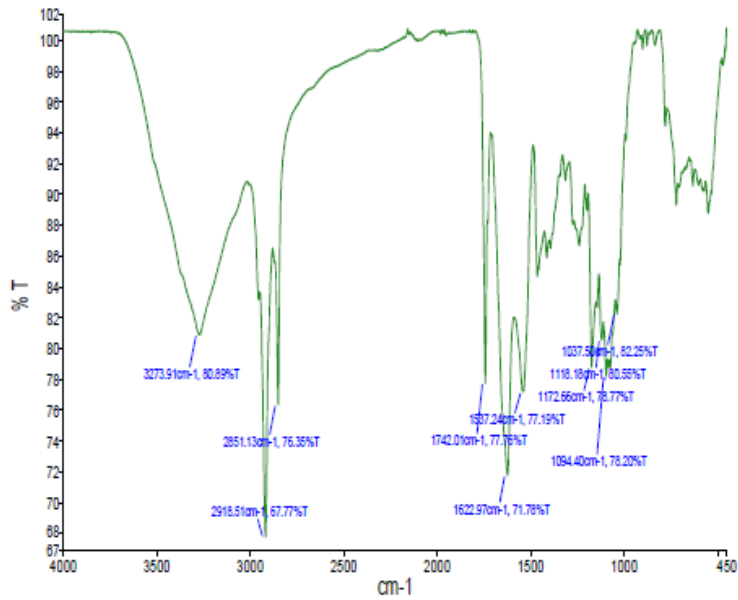
Fourier transform infrared (FTIR) spektroskopisi, katı sıvı veya gaz halindeki organik veya inorganik bileşiklerin yapısal, kompozisyonel ve fonksiyonel özelliklerini aydınlatmak amacıyla kullanılan analitik bir tekniktir [206]. Mevcut çalışma kapsamında *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* tarafından üretilen EPS'lerin kimyasal karakterizasyonu yapılarak elde edilen FTIR spektrumları Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'da verilmiştir.

GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* tarafından üretilen EPS'ler ile kontrol örneklerinden üretilen EPS'lerden benzer FTIR spektrumları elde edilmiştir. FTIR analizi ile elde edilen EPS'lerin fonksiyonel grupları literatür ile kıyaslanarak belirlenmiştir. Hidroksil gruplarında bulunan O-H bağlarının titreşimi $3275,6 \text{ cm}^{-1}$ EPS pikinde belirlenmiştir [207]. C-H bağının titreşiminden kaynaklanan pikler ise $2924,16 \text{ cm}^{-1}$ ile $2852,88 \text{ cm}^{-1}$ arasındaki elde edilmiştir [208]. EPS'lerin amid grubu ihtiva ettiğini yani proteinin ana bileşenlerinden biri olduğunu ise $1742,81 \text{ cm}^{-1}$ ile $1534,96 \text{ cm}^{-1}$ arasında elde edilen pikler göstermektedir [209]. Metil grubu ve karboksilik gruplarını $1456,89 \text{ cm}^{-1}$ elde edilen pikler temsil etmektedir [210]. Sülfat gruplarının (S=O ve COS bağları) titreşimi $1172,66 \text{ cm}^{-1}$ ile $1115,19 \text{ cm}^{-1}$ arasındaki piklerden kaynaklanmaktadır [211]. EPS'ler de karbonhidratların varlığını $1094,40 \text{ cm}^{-1}$ ve $1032,43 \text{ cm}^{-1}$ 'de elde edilen büyük pikler göstermektedir [212].

a)



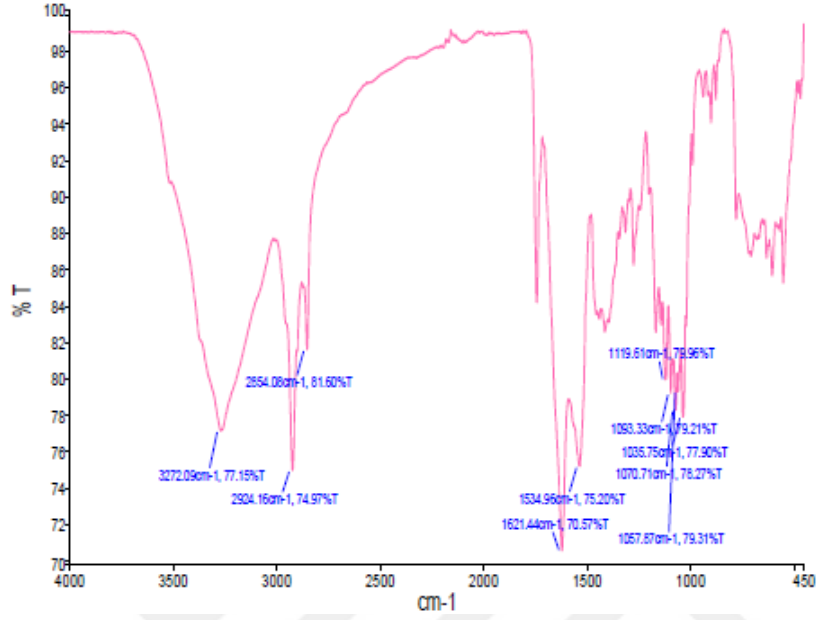
b)



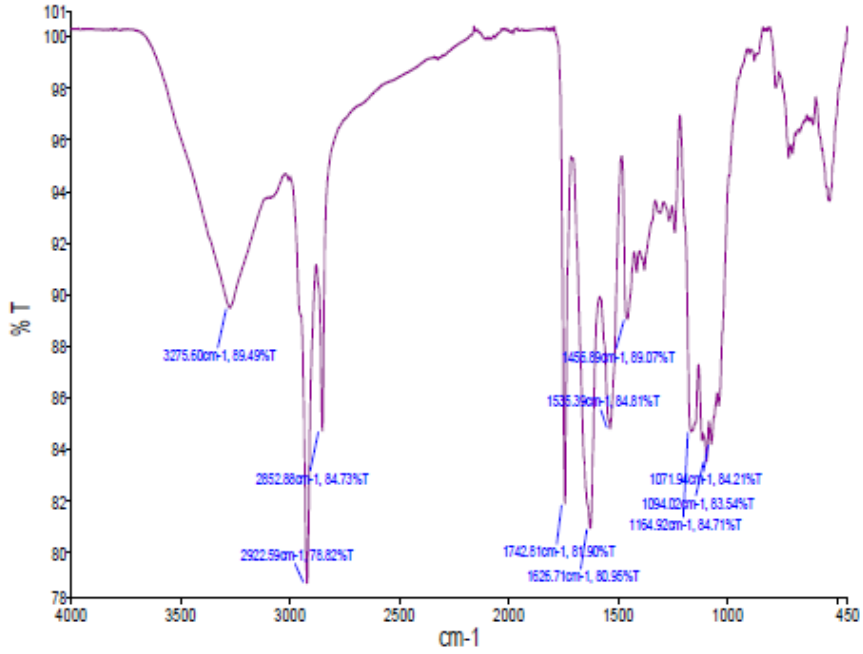
(b)

Şekil 3.5. *S. thermophilus* örnekleri tarafından üretilen EPS'nin FTIR spektrumu
a): Kontrol *S. thermophilus*'a ait EPS'nin FTIR spektrumu, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus*'a ait EPS'nin FTIR spektrumu

a)



b)



Şekil 3.6. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örnekleri tarafından üretilen EPS'nin FTIR spektrumu a): Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a ait EPS'nin FTIR spektrumu, b): GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a ait EPS'nin FTIR spektrumu

Literatürde GSM 1800 bandı MD radyasyonunun EPS üretim ve karakterizasyonuna etkisi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Fakat farklı radyasyon uygulamalarının farklı kaynaklardan EPS üretimine ve karakterizasyonuna etkisi ile ilgili az sayıda da olsa çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Zhao ve ark. [213], kozmik radyasyon uygulayarak mutasyona uğrattığı bir mantar türünden daha fazla ve suda çözünebilir EPS ürettiğini belirtmiştir. Ayrıca bu EPS'nin FTIR spektroskopisinde de yapısal değişikliklere uğradığını bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada ise UV radyasyonu ile muamele edilmiş *Leuconostoc mesenteroides*'ten üretilen dekstranın yapısal özellikleri incelenmiştir [214]. Elde edilen sonuçlara göre UV radyasyon uygulanmış *Leu.mesenteroides*'ten üretilen dekstranda β -(2 $\rightarrow$ 6)-fruktana rastlanırken, kontrol örneklerinde bu bağ tespit edilememiştir. Shingel [215] ise IR radyasyonu uyguladığı pullulanın yapısal özelliklerini inceleyerek, IR radyasyonun α -(1 $\rightarrow$ 4) bağlarını kopardığını saptamıştır. Mevcut tez çalışmasında elde edilen verilere göre ise GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'tan elde edilen EPS'lerin yapısal özelliklerini değiştirmedeği belirlenmiştir. Literatürde uygulanan radyasyonların iyonize radyasyon olmalarından ötürü EPS'nin molekül özelliklerini değiştirmesi beklenen bir durumdur. Ancak MD radyasyonunun bağları koparacak ya da değiştirecek bir güce sahip olmadığından çalışmada üretilen EPS'lerin fonksiyonel gruplarını değiştirmedeği düşünülmektedir.

3.10. Ayran Üretimi

Mevcut tez çalışmasında ayran üretimi TS 3810 Ayran Standardı ve Fermente Sütler Tebliği' ne uygun olarak yapılmıştır [168]. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile radyasyon uygulanmamış kontrol örnekleri, 10^3 log kob/mL olacak şekilde ayarlanarak 1:1 oranında karıştırılmıştır. Kültürler kurumaddesi ve yağ oranı ayarlanmış sütlere ilave edilerek inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresince yarım saatte bir örnek alınarak pH kontrolü yapılmıştır. Elde edilen ölçümler Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Ayran üretimi sırasında örneklerin pH değerleri

Süre (dk)	pH	
	K	R
0	6,63±0,00 ^{Aa}	6,63±0,00 ^{Aa}
30	6,60±0,00 ^{Aa}	6,58±0,00 ^{Bb}
60	6,40±0,00 ^{Ab}	5,98±0,00 ^{Bc}
90	6,10±0,00 ^{Ac}	5,50±0,00 ^{Bd}
120	6,00±0,00 ^{Ac}	4,60±0,00 ^{Be}
150	5,65±0,00 ^{Ad}	-
180	5,15±0,00 ^{Ae}	-
210	4,90±0,00 ^{Af}	-
240	4,60±0,00 ^{Ag}	-

K: Kontrol *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneği, R: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneği.^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır (p<0.05).

Tablo 3.6.'da belirtildiği üzere GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranların pH'sı 120.dakikada 4,60'a ulaşırken kontrol örnekleri 240. dakikada aynı değere ulaşmıştır. Bu durum "3.1. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un Gelişme Kinetiklerinin Belirlenmesi" başlığında belirtildiği gibi GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan örneklerin kontrol örneklerine göre spesifik büyüme hızları daha fazla olmasını desteklemektedir. Benzer şekilde "3.1. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un Asit Üretim Yetenekleri" başlığında elde edilen sonuçlarda GSM 1800 bandı MD radyasyonu *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un laktik asit üretimini artırdığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayranların pH'ları istenen değere kontrol örnekleri ile

üretilmiş ayranlardan daha hızlı bir sürede ulaşmıştır. Üretilen ayranların organik asit, aroma, reolojik özellikleri ile duyu analizleri yapılmıştır.

3.11. Organik Asit Profili

Fermente süt ürünlerinde bulunan organik asitler, süt yağının parçalanması (asetik asit ve bütirik asit), asitlendirici katkı maddelerin doğrudan ilavesi (sitrik asit ve laktik asit), süt hayvanlarının doğal biyokimyasal mekanizması (sitrik asit, propiyonik asit ve formik asit) veya bakteriyel gelişim (laktik asit, asetik asit, pirüvik asit, probiyonik asit ve formik asit) sonucu meydana gelmektedir [216]. Oluşan bu organik asitler hem patojen mikroorganizmaların gelişimini önlerken aynı zamanda arzu edilen tat ve aroma karakteristiklerinin de oluşmasını sağlamaktadır [217]. Aynı zamanda ürünlerin organik asit profilinin bilinmesi, starter kültür aktivitesini ve depolama süresince kalite değişiminin belirlenebilmesi bakımından önemlidir [218]. Çalışma kapsamında üretilen ayran örneklerinin organik asit bileşimi Tablo 3.7.'de verilmiştir.

Ayran örneklerinde laktik, asetik, sitrik ve propiyonik asidin bulunduğu tespit edilmiştir. Limon asidi olarak da bilinen sitrik asit karboksilik asitlerden meydana gelen renksiz, kristal yapılı organik asittir. Sütte ortalama %0,2 oranında bulunmaktadır [219]. Sütte fonksiyonu, kalsiyum ve magnezyumla kompleks oluşturarak tamponlama sistemini düzenlemek olarak bilinmektedir [219]. Böylece ısıtma ve donma gibi işlemlerde süt proteinlerinin flokleşmeye karşı stabilizasyonlarını korumaktadır [220]. Aynı zamanda fermente süt ürünlerinde, tat ve aroma bileşenlerinin başlangıç maddesini oluşturmaktadır.

Tablo 3.7. Organik asit profili (mg/L)

Organik Asit	K	R
Laktik Asit	4135,206±0,00 ^A	4765,817±0,00 ^B
Asetik Asit	0±0,00 ^B	256,360±0,00 ^A
Sitrik Asit	272,671±0,00 ^A	241,300±0,00 ^A
Propiyonik Asit	1009,747±0,00 ^A	0±0,00 ^B

K: Kontrol *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneği, R: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneği.^{AB} Aynı sütündeki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır (p<0.05).

Sitrik asit, yeni sağılmış inek sütünde yüksek konsantrasyonda bulunmakta ve sitrataz enzimi bulunan LAB'lar tarafından diasetile parçalanmaktadır [221]. Sitrik asit LAB'lar için enerji kaynağı değildir. Ancak ortamda fazla bulunan piruvatın toksin etkisini gidermek için diasetil üretiminde kullanılmaktadır. Çalışmada üretilen ayranlardan kontrol grubunun sitrik asit miktarı GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayrandan daha fazla miktarda tespit edilmişse de bu durum istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) bulunmuştur. Kristo ve ark. [222], son üründe tespit edilen sitrik asit miktarındaki değişimin kullanılan starter kültür ve kültürler arasındaki oransal değişime bağlı olduğunu aktarmaktadır. Serra ve ark. [223], ise sitrik asidin sütte doğal olarak bulunduğunu ve fermentasyon işleminde bir miktarının kullanılabileceğini belirtmiştir. GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* kontrol örneklerine kıyasla daha fazla geliştikleri belirlenmiştir. Dolayısıyla GSM 1800 bandı mikrodalga uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* ile üretilen ayrandaki sitrik asit miktarının daha fazla bakteri tarafından kullanıldığı için daha az olduğu düşünülmektedir.

Süt asidi olarak bilinen laktik asit, kokusuz ve ekşi tada sahip, su, alkol ve eterle karışabilen zayıf bir asittir. Kolaylıkla polimerleşmesinden ötürü gıda sanayiinde geniş bir kullanım alanına sahiptir [224]. Laktik asit, fermente süt ürünlerinde en fazla bulunan organik asittir [225]. *Lactobacillus* cinsine ait bakterilerin, laktik asit oluşumundan ağırlıklı olarak sorumlu olduğu bilinmektedir. *S. thermophilus*'un *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a göre karbonhidratlar üzerindeki aktivitesi daha zayıftır. Laktik asit, laktozun önce β -galaktosidaz (laktaz) enzimi ile glukozu parçalanması sonucu meydana gelmektedir [226]. Tablo 3.7.'de görülebileceği gibi GSM 1800 bandı mikrodalga uygulanan LAB'lardan üretilen ayranın laktik asit miktarı kontrol grubuna göre daha fazla bulunmuştur. "3.1. *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'un Gelişme Kinetiklerinin Belirlenmesi" analizinde elde edilen verilere göre GSM 1800 bandı mikrodalga radyasyonu uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* daha fazla büyüdüğü belirlenmiştir. Dolayısıyla GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranın laktik asit

miktarının daha fazla olması daha fazla büyümelerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Pirüvik asit, pirüvat-ekarboksila enzimin katalizörlüğünde asetaldehit ve kabrondioksite parçalandıktan sonra asetaldehit hidrata dönüşür. Asetaldehit hidrata iki hidrojen kaybederek asetik aside dönüşmektedir. Asetik asit, fermente süt ürünlerinde duyusal olarak olumsuz etkilere sahip olduğundan dolayı istenmeyen bir üründür [227]. Tablo 3.7.'de görülebildiği üzere GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranada asetik asit tespit edilirken kontrol örneğinde belirlenememiştir.

3.12. Aroma Profili

Gıdaların aroması genel olarak, uçucu ve uçucu olmayan bileşiklerin varlığında meydana gelmektedir. Uçucu ve uçucu olmayan bileşenler gıdaların hem tat hem de aroma üzerinde etkili olmaktadır. Alkoller, aldehitler, esterler, dikarbonil bileşikler, ketonlar, metil ketonlar, laktonlar, fenolik maddeler, sülfürlü bileşikler ve organik asitler aroma üzerinde etkili olan bileşiklerdir [228]. Geleneksel fermente bir içecek olan ayranın kendine has tat ve aroması bulunmaktadır. Ayranada bulunan karakteristik aroma bileşikleri sütte bulunan protein, laktoz ve lipidlerini lipoliz proteoliz ve glikoliz gibi mikrobiyal ve kimyasal dönüşümleriyle meydana gelmektedir [229]. Mevcut tez çalışmasında üretilen ayranların aroma bileşenleri Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8.'de görüldüğü üzere ayran örneklerinden 11 aroma bileşiği tespit edilmiş olup bunlar arasında alkoller, karboksilik asitler, ketonlar ve esterler bulunmaktadır. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmamış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranlarda (K) etilen oksidin en baskın aroma bileşiği olduğu tespit edilmiştir. Ayran örneklerinde tespit edilen alkoller 2-butanol, 2H-Benzimidazoldur. 2- butanal diğer süt ürünlerinde de bulunan birincil alkoller olarak rapor edilmiştir [230]. Literatürde yapılan çalışmalarda etanolün en çok bulunan aroma bileşenlerinden biri olduğu bildirilmiştir. Etanol, asetaldehit veya sütte bulunan aldehitlerden alkol dehidrojenaz enzimi ile meydana gelmektedir [231]. Etanol, yoğurt [232] ve peynir [233] gibi süt ürünlerinde ana alkol olduğu bildirildiği

için ürün aromatisasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Fakat mevcut çalışmada üretilen ayran örneklerinde asetaldehit de belirlenemediği için böyle bir dönüşüm meydana gelmediği dolayısıyla örneklerde etanolün tespit edilemediği düşünülmektedir.

Tablo 3.8. Ayran örneklerinin aroma bileşenleri (%)

	K	R
Alkol		
2-Butanol	8,13±0,00 ^A	8,76±0,00 ^A
2H-Benzimidazol	8,27±0,00 ^B	14,26±0,00 ^A
Asit		
Asetik asit	-*	1,16±0,00 ^A
Dodekanoik asit	2,99±0,00 ^A	3,39±0,00 ^A
Heksoniok asit	2,81±0,00 ^B	3,53±0,00 ^A
Oktonoik asit	6,14±0,00 ^A	9,27±0,00 ^A
n-dekanoik asit	10,53±0,00 ^A	10,64±0,00 ^A
Keton		
Asetoin	6,37±0,00 ^A	4,55±0,00 ^A
Terpen		
Benzene	18,27±0,00 ^A	13,88±0,00 ^B
Aldehit		
2-Methylbutanal	15,19±0,00 ^A	14,45±0,00 ^A
Ester		
Etilen oksit	11,19±0,00 ^A	3,11±0,00 ^B

K: Kontrol *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneği, R: üzere GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneği. ^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır (p<0,05).

Ayran örneklerinde asetik, oktonoik, heksanoik, dodekanoik ve n-dekanoik asit olmak üzere 5 adet karboksilik asit belirlenmiştir. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranlarda asitlerin aroma üzerinde daha belirgin olduğu belirlenmiştir. N-dekanoik asit %10,64 oranında, oktonoik asit ise %9,27 oranında olduğu tespit edilmiştir. Kontrol ayran örneklerinde ise en baskın %6,14 oranında oktonoik asidin olduğu tespit edilmiştir. Bu bileşikler daha önce süt ürünlerinde tespit edilerek fermente süt ürünleri [234] ve yoğurttaki [235] başlıca karboksilik asitler olduğu belirlenmiştir.

Karboksilik asitlerin, süt yağının lipolize edilerek üretildiği belirlenmiştir [236]. Ayrıca esterlerin, ketonların ve aldehitlerin oksidasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkan kısa zincirli yağ asitleri süt ürünlerinde karakteristik kokusunda etkili olmaktadır [237]. Gerek GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayran örneklerinde gerekse dekontrol ayran örneklerinde keton ve aldehit oranına bağlı olarak n-dekanoik asit, oktonoik asit, heksonoik asit ve dodekanoik asit gibi kısa zincirli yağ asitleri meydana geldiği belirlenmiştir. Asetik asit sadece GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayran örneklerinde %1,16 olarak tespit edilirken kontrol grubunda belirlenememiştir. Heksonoik asit ise kontrol grubunda %2,81 olarak tespit edilirken GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayran örneklerinde %3,53 olarak belirlenmiştir. Bu durum istatistiksel olarak da önemli ($p < 0,05$) bulunmuştur.

Ayran örneklerinde keton olarak sadece asetoin belirlenmiştir. Kontrol grubu ayran örneklerinde %6,37 oranında, GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranlarda ise %4,55 oranında belirlenmiştir. Ketonlar çoğu süt ürününde yaygın bileşikler olup, karakteristik aromaları ve düşük algı kokueşikleri nedeniyle üründe peynir kokusuna neden olmaktadır [238]. Dolayısıyla ayranında bulunması istenmeyen bir aroma bileşenidir. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayran ve kontrol grubu ayranlarda tespit edilen miktarlarda istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır ($p > 0,05$).

Mevcut çalışmada elde edilen verilere göre ayranlarda olması beklenen ana aroma maddesi asetaldehit belirlenememiştir. Daha önce yapılmış çalışmalarda *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un asetaldehit üretimi çok farklılık göstermekle birlikte asetaldehit üretmeyen suşlarında olduğu bildirilmiştir [231]. Aynı zamanda asetaldehit üretimi hayvanların diyeti, süte uygulanan sıcaklık işlemleri, nem ve süt içeriği gibi faktörlerden ötürü farklılık gösterdiği de bildirilmiştir. Sütün bileşiminin de LAB'larda metabolik, fizyolojik ve fonksiyonel olarak önemli olan genlerin ekspresyonunu da etkilediği bildirilmiştir [239]. Stresin

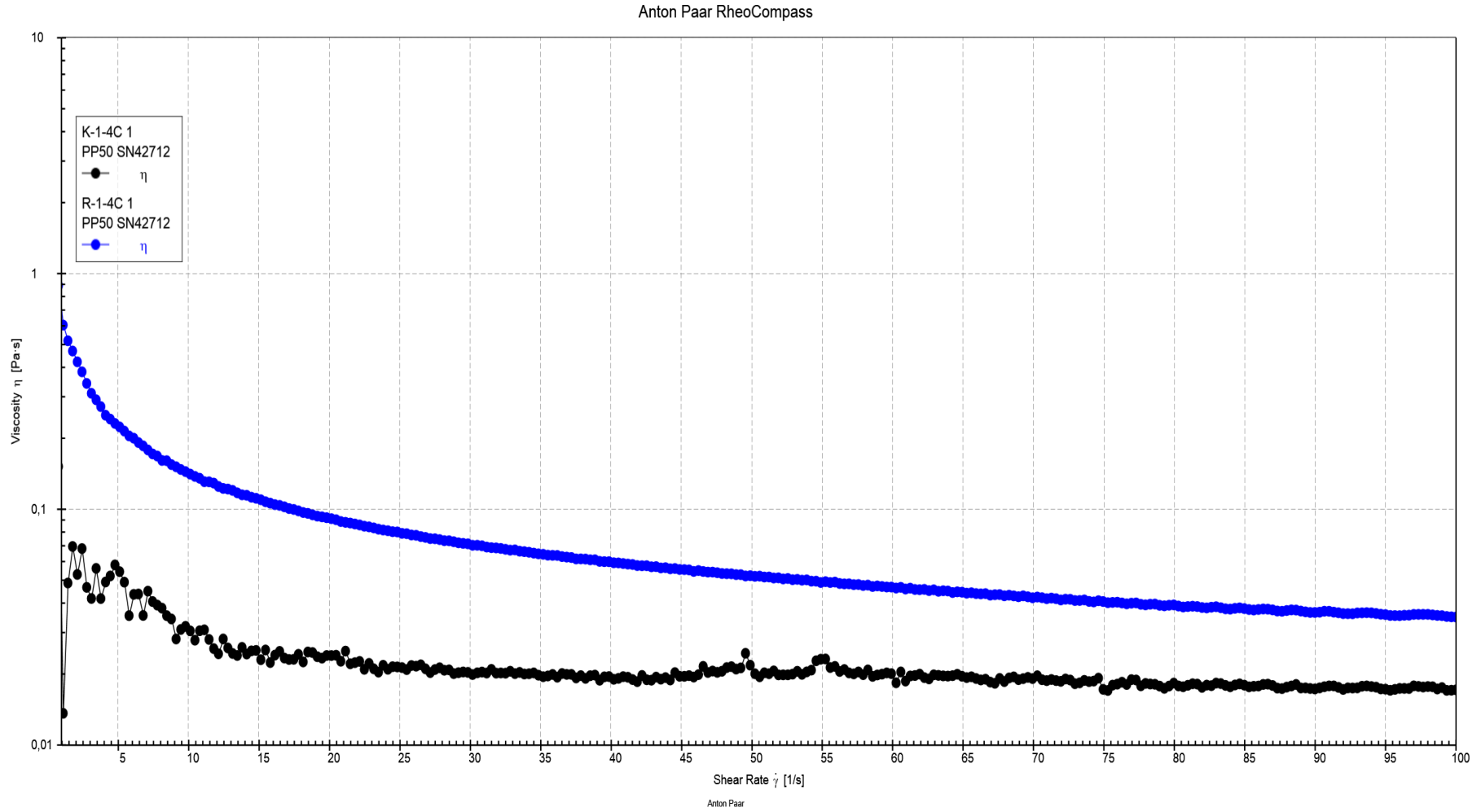
bakteriler üzerindeki etkisini, inceleyen bir çalışmada, ekşi mayadan izole edilen LAB'ların asit, oksijen ve ısı stresine maruz kaldığında metabolitlerinin dolayısıyla aroma bileşenlerinin de değiştiği bildirilmiştir [239]. Aynı zamanda yapılan bir başka çalışmada kullanılan *Lactobacillus* cinsi bakterilerin bir kısmında, aroma bileşeni üretmek amacıyla amino asit dönüşümünü başlatan enzimin olmadığı belirlenmiştir [240]. Dolayısıyla bu bakteriler aminoasitleri dönüştüremediklerinden dolayı karakteristik aroma bileşenlerinin oluşmadığı tespit edilmiştir [241].

Literatürde MD veya RD uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un aroma bileşenlerini inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla mevcut tez çalışmasında elde edilen aroma bileşenleri, benzer çalışmalarla tartışılamamıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranlar ile kontrol ayranların aroma bileşenleri asetik asit dışında benzer bulunmuştur. Aroma madde miktarlarındaki farklılıkların ise inkübasyon süresiyle alakalı olabileceği düşünülmektedir.

3.13. Reolojik Özellikler

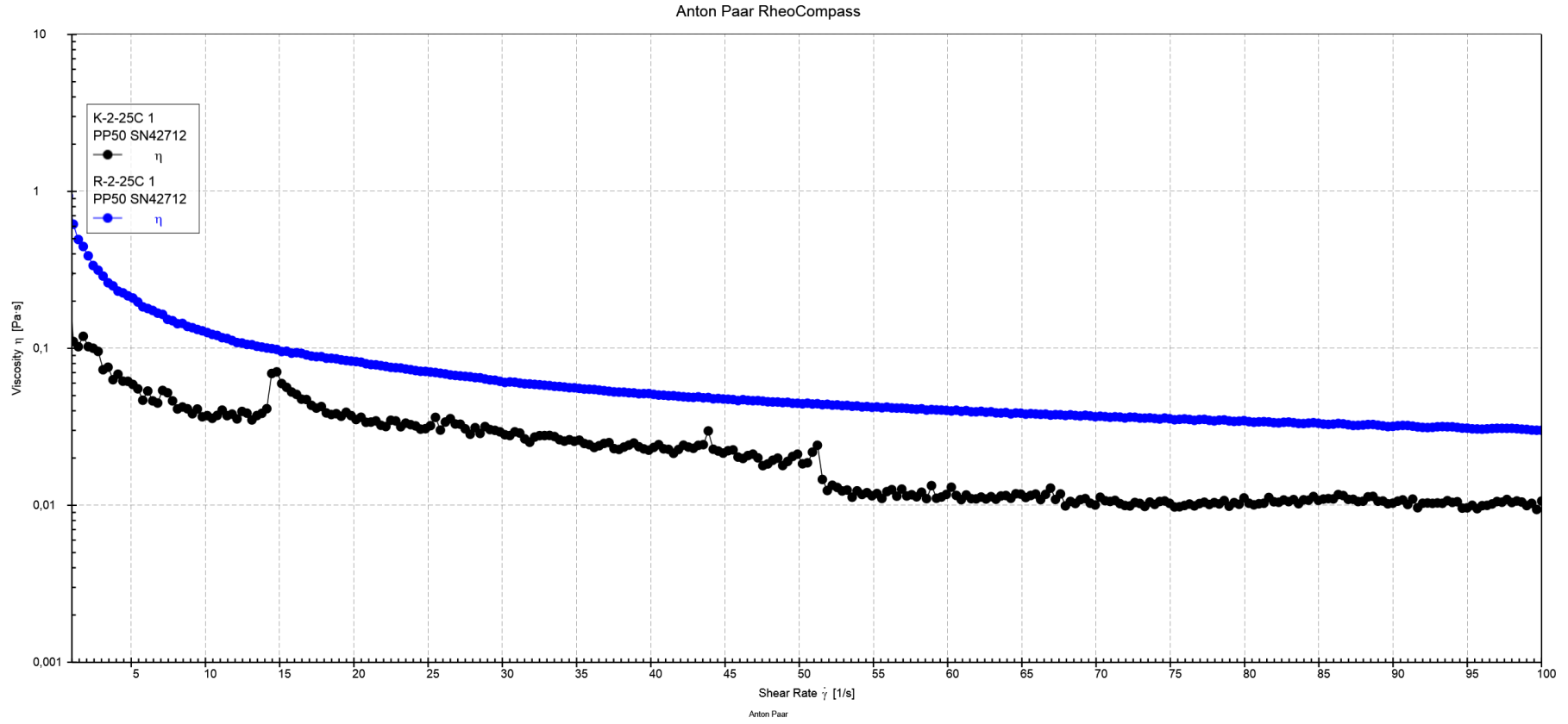
3.13.1. Farklı Sıcaklılardaki Reolojik Özellikler

Üretilen ayran örneklerinin 4°C' deki viskozite değişimleri Şekil 3.7.'de gösterilmiştir. Ayran örneklerinin reolojik ölçümleri, 1 ile 100 s⁻¹ hız aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, ölçüm süresi boyunca her bir örnek için toplam 304 adet viskozite verisi kaydedilmiştir (Ek.1). Şekil 3.7. incelendiğinde, başlangıç kayma hızında (1 s⁻¹) GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranda (R) kontrol örneğine göre daha yüksek viskoziteye sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek viskozitenin R örneğinde tespit edilmesi en fazla EPS üretimi yapan suşlar kullanılarak üretilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışılan sıcaklıkta bitiş kayma hızındaki (100 s⁻¹) viskozite değerleri incelendiğinde ise bütün örneklerin viskozitelerinde bir düşüş olduğu saptanmıştır. Üretilen ayran örneklerinin 25 °C'deki viskozite değişimleri Şekil 3.8.'de gösterilmiştir



Şekil 3.7. Ayran örneklerinin 4 °C'deki viskozite değerleri

(R: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği, K: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği)



Şekil 3.8. Ayran örneklerinin 25 °C’deki viskozite değerleri

(R: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği, K: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği

Çalışılan bu sıcaklıkta da başlangıç kayma hızında en yüksek viskozite R örneğine aittir. R örneğini, en düşük başlangıç viskozitesine sahip K örneği takip etmiştir. Kayma hızı ilerlerken, bütün örneklerin viskozitelerinde düşüş saptanmıştır. Bitiş kayma hızında ise en düşük viskozite başlangıçta olduğu gibi K örneğine aittir.

Çalışılan sıcaklıklar karşılaştırıldığında ise örneklerin 4 °C’de daha yüksek viskoziteye sahip oldukları söylenebilir. Sıcaklık arttığında örneklerin viskozitelerinde azalma meydana gelmiştir. Ancak bütün sıcaklık değerlerinde en yüksek viskoziteyi R örneği vermiştir. Bunun nedeni R örneği en fazla EPS üretimi tespit edilmiş kültürlerle üretilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen kesme hızına karşılık kayma basıncı değerleri Ostwald de Waele modeline fit edilerek model katsayıları hesaplanmıştır. Örneklere ait model katsayıları ve 50 s⁻¹ kesme hızındaki görünür viskozite değerleri (η_{50}) Tablo 3.9.’da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Karışık kültür kullanılarak üretilen ayran örneklerine ait model parametreleri ve η_{50} değerleri

Örnekler		K	n	R ²	η_{50}
4 °C	R	1779,002±0,00 ^A	0,323±0,00 ^B	0,989	113,47±0,00 ^A
	K	299,119±0,00 ^B	0,452±0,00 ^A	0,9644	31,62±0,00 ^B
25 °C	R	667,324±0,00 ^A	0,314±0,00 ^B	0,9954	44,28±0,00 ^A
	K	52,151±0,00 ^B	0,656±0,00 ^A	0,8944	12,94±0,00 ^B

R: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği, K: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği. ^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır (p<0.05).

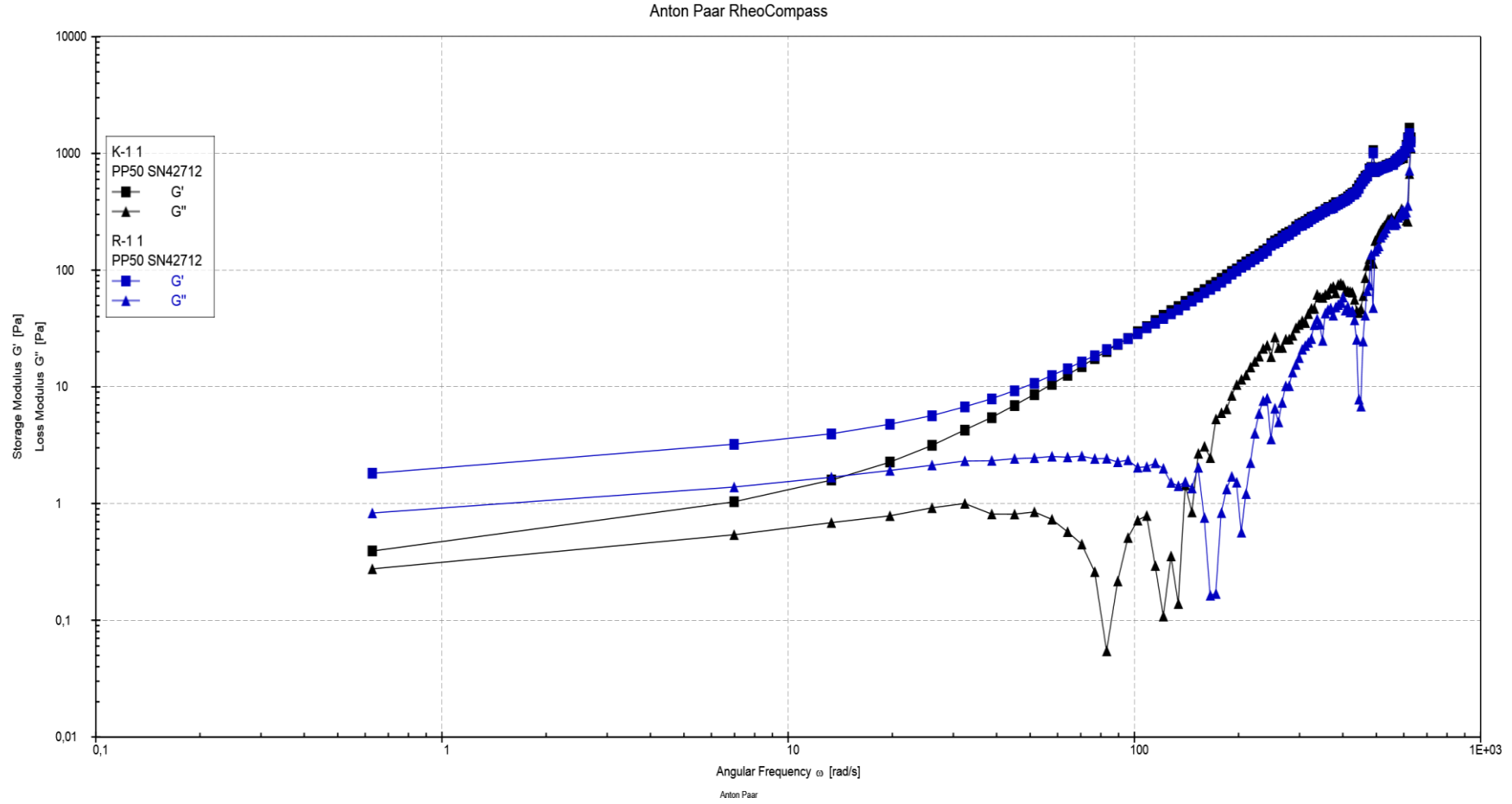
Elde edilen sonuçlara göre, farklı miktarlarda EPS üreten suşlarla üretilen ayran örneklerinin Ostwald de Waele modeline ait determinasyon katsayısı (R²) değerleri 4 °C için 0,989 ile 0,9644 arasında değişmektedir. R² değerlerinin 1’e yakın olmasından Ostwald de Waele modelinin, ayran örneklerinin akış davranışını başarılı bir şekilde tanımladığı anlaşılmaktadır. GSM 1800 bandı MD radyasyonu *S. thermophilus* ve *Lb.*

delbrueckii subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranlarda 4 °C’ deki kıvam katsayısı (K) ve akış davranış indeks değerleri (n) sırasıyla 1779,002 mPa.sn ve 0.3236 olarak hesaplanmıştır. Ağızdaki kesme hızı olarak kabul edilen 50,2 s⁻¹ deki viskozite değeri (η_{50}) ise 113,47 mPa.sn olarak bulunmuştur. Kıvam katsayısı kontrol ayranlarda ise daha fazla olmasına rağmen, bu örneğin görünür viskozite değeri GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranlardan daha düşüktür. Hem kıvam katsayısı (299,119) hem de görünür viskozite değeri (31,626) en düşük olan örnek kontrol örneği olmuştur. Benzer şekilde 25 °C’ deki R² değerleri incelendiğinde ise 0,9954 ile 0,8944 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu sıcaklıkta en yüksek kıvam katsayısı 667,3243 mPa.s değerine sahip GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneğine aittir. En düşük kıvam katsayısı ise kontrol ayran örneğinde tespit edilmiştir. Görünür viskozite değeri en yüksek olan örnek 44, 28 mPa.sn ile GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneği olurken, 12,944 mPa.s değeri ile kontrol ayran örneği en düşük değere sahiptir.

GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranların reolojik özellikleri kontrol grubuna göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Daha önce bahsedildiği üzere, GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneğinde kullanılan LAB’larda en fazla EPS üretimi gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı, GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranın viskozitesinin diğerlerine göre daha fazla olması beklenen bir durumdur. Mende ve ark. [242], tarafından yoğurtlar üzerinde gerçekleştirilen araştırmada fermente süt ürünlerinin viskozitesi ve EPS konsantrasyonu arasında açık bir ilişki bulunması sonucunu desteklemektedir.

3.13.2. Frekans Tarama Testi

Çalışmada üretilen ayranların farklı sıcaklıkta viskozite değerleri belirlendikten sonra, ayran örneklerinin visko-elastik özelliklerinin belirlenmesi için frekans taraması testleri gerçekleştirilmiştir. Ayran örneklerinin açılmal hızına bağlı olarak depo modülü (G') ve kayıp modülü (G'') değerlerindeki değişimi Şekil 3.9.’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Ayran örneklerinin frekans tarama analiz sonuçları

R: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği, K: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmamış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği)

Mevcut tez çalışmasında farklı miktarda EPS üreten suşlarla yapılan ayran örneklerinin G' ve G'' değerlerinin açısal hıza bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Kullanılan suşların farklı özellikte olması bu değerleri önemli derecede etkilediği düşünülmektedir (Şekil 3.9). R örneğinde G' değerlerinin G'' değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum R örneğinde elastik davranışın hakim olduğunun göstergesidir. Diğer ayran örneklerinde de benzer durum söz konusudur. Elde edilen datalara ait üssel yasa parametreleri Tablo 3.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Frekans tarama testi üssel yasa parametreleri

Örnekler		A	b	R ²
G'	R	0,02±0,00 ^A	2,30±0,00 ^B	0,98
	K	0,02±0,00 ^A	2,37±0,00 ^A	0,94
G''	R	1,26.10 ⁻¹¹ ±0,00 ^A	6,84±0,00 ^A	0,81
	K	1,39.10 ⁻¹⁰ ±0,00 ^A	6,30±0,00 ^B	0,73

R: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği, K: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği. ^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır (p<0.05)

Frekans tarama grafikleri üssel yasa (Eşitlik 3) ile modellenmiştir. Yasada, x; frekans, y; G' veya G'' , a; kıvam indeksi ve b; y' nin x' e karşı olan grafiğin eğimidir. Üssel model parametreleri frekansın modüller üzerine etkisini tanımlamakta kullanılmaktadır. Elastik modülün modellenmesinde en yüksek a değeri GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneğinde iken, en düşük a değeri kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Aynı şekilde viskoz modül için yapılan modellemede de en yüksek a değeri kontrol örneği iken, en düşük a değeri GSM 1800 bandı MD radyasyonu

uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayran örneğinde hesaplanmıştır. Elastik modül için örneklerin b değerleri 2,3747- 2,3094 aralığında tespit edilirken, viskoz modül için 6,8444-4,768 aralığında bulunmuştur. Elastik ve viskoz modüller için b değerleri incelendiğinde en yüksek değer GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranı belirlemiştir (Tablo 3.7.).

3.14. Duyusal Analiz

Ayran örneklerinin duyusal analiz değerlendirilmesi oluşturulan 10 kişilik panelistler tarafından yapılarak elde edilen veriler Tablo 3.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Duyusal analiz

	R	K
Renk	7,67±0,01 ^B	8,08±0,01 ^A
Koku	6,58±0,00 ^B	7,58±0,00 ^A
Görünüş	8,75±0,00 ^A	7,07±0,00 ^B
Kıvam	7,40±0,00 ^A	6,35±0,01 ^B
Genel Beğeni	7,25±0,01 ^A	6,73±0,00 ^B

R: GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği, K: Kontrol *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus* ile üretilmiş ayran örneği. ^{AB} Aynı sütundaki büyük harfler örnekler arasındaki karşılaştırma olup, aynı harflerle simgelenen örnekler arasında istatistiki olarak fark bulunmamaktadır (p<0.05)

Ancak GSM 1800 bandı MD radyasyonunun henüz insanlar ve gıdalar üzerindeki etkileri tam bilinemediği için duyusal değerlendirmeye “Tat-Aroma” parametresi alınmamıştır. Görünüşü en çok beğenilen R örneği olurken en az beğenilen K örneği olmuştur. Bunun nedeni duyusal değerlendirme formunda notlar bölümünde belirtilen "fazla köpük"ten kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan renk parametresinden 7,67 puan ve koku parametresinden de 6,58 puan alan örnek R olmuştur. K örneğinde ise bu parametreler sırası ile 8,08 ile 7,58 puan almıştır.

Dolayısıyla R örneği koku ve renk değerlendirmesinden kontrol örneğine göre düşük puan almıştır. Fakat R örneği kıvam parametresinden 7,40 puan alarak kontrol örneğine göre daha yoğun bulunmuştur. Renk, koku ve genel beğeni olarak sırası ile 8,08, 7,58 ve 6,73 puan alan K örneği ise kıvam parametresinden daha düşük bulunmuştur. Sonuç olarak duyuşal değerlendirme analizinde R örneği genel olarak en çok beğenilen örnek, K örneği ise en az beğenilen örnek olmuştur. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* örnekleriyle üretilen ayranlar duyuşal değerlendirme sonucu en yüksek puanları almıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde renk parametresi dışında diğer parametrelerde GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayran örneği daha iyi puan almıştır. Özellikle görünüş parametresi en yüksek puanı almıştır. Mevcut tez çalışmasında üretilen ayranlarda kullanılan starter kültürler “2.1. Materyal” başlığında belirtildiği üzere her ne kadar yerel olarak üretilmiş yoğurtlardan izole edilmiş olsa da, GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanarak bazı değişiklikleri belirlenmiştir. Ancak mevcut tez çalışması kapsamında bu bakteriler genetik olarak incelenememiştir. Aynı zamanda GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan bakterilerin insan sağlığına etkisi henüz bilinmemektedir. Dolayısıyla etik olarak panelistler tat ve aroma parametresini değerlendirememişlerdir. Ancak örneklerin, “3.12. Ayran Örneklerinin Aroma Profili” başlığında aroma bileşenleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayran örneğinde asetaldehit bulunmadığı tespit edilmiştir. Asetaldehit ayranlarda arzu edilen lezzetin oluşmasında temel bileşen olarak belirtilmişse de yapılan son çalışmalarda yoğurdun ana lezzet bileşeninin aroma bileşiklerinden değil asitlikten kaynaklandığı belirtilmiştir [241]. Dolayısıyla GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış starter kültürle üretilen ayran örneklerinin asitliği daha fazla olduğu belirlendiğinden aromasının da kontrol grubuna göre daha fazla olabileceği düşünülmektedir. GSM 1800 bandı MD radyasyonu ayranın kıvam, organik asit ve aroma gibi bir çok parametresini değiştiren duyuşal özelliğini de etkilemiştir. Fakat bu durumun olumlu olup olmadığı yapılacak daha ileri ve daha fazla analiz ile belirleneceği düşünülmektedir.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında GSM 1800 bandı MD radyasyonu yoğurt starter kültürleri olarak bilinen *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a uygulanarak gelişme kinetikleri, laktik asit üretim miktarı, organik asit ve aroma profili ile ekzopolisakkarit üretim miktarları incelenmiştir. Ayrıca üretilen ekzopolisakkaritlerin monosakkarit kompozisyonları ile termal ve yapısal özellikleri de belirlenmiştir. Aynı zamanda mevcut tez çalışması kapsamında sayılan özellikleri belirlenen *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış suşlarıyla 1:1 oranında karıştırılarak ayran üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen ayranın ise organik asit içeriği ile aroma profili ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Bütün işlemler GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmamış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a da uygulanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen veriler incelendiğinde aşağıda sıralanmış sonuçlar elde edilmiştir;

1. GSM 1800 bandı MD radyasyonu *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un spesifik gelişme hızlarını artırarak, jenerasyon ve ikiye katlanma sürelerini kısalttığı tespit edilmiştir. Her iki bakterinin, GSM 1800 bandı MD radyasyonuna maruz kaldığında, kontrol örneğine göre daha hızlı büyüdüğü tespit edilmiştir. Fakat mevcut çalışmada bu durumun hangi mekanizma ile gerçekleştiği belirlenememiştir.
2. *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un oluşturduğu laktik asit miktarı son ürünün özellikleri üzerinde etkilidir. GSM 1800 bandı MD

radasyonu *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un laktik asit üretimini artırırken *S. thermophilus*'un laktik asit üretiminde istatistiksel olarak etkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

3. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un organik asit içeriğinin laktik asit, asetik asit, probiyonik asit, sitrik asit ve formik asitten oluştuğu belirlenmiştir. Formik asit ve propiyonik asidin sadece GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'ta belirlenirken kontrol örneklerinde bu asitlere rastlanılmamıştır.
4. *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un 6 adet indikatör mikroorganizmaya (*Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas hydrophila*) karşı genel antimikrobiyel aktivitesi belirlenmiştir. Örnekler *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* ve *Staphylococcus aureus* üzerinde antimikrobiyel aktivite göstermiştir.
5. Çalışmada kullanılan LAB'ın bakteriyosin ve benzeri metabolit üretim yetenekleri incelenmiş, genel inhibisyonun asitlikten kaynaklandığı ve seçilen kültürler tarafından bakteriyosin üretilmediği sonucuna ulaşılmıştır.
6. GSM 1800 bandı MD radyasyonun *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un EPS üretim miktarlarına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. GSM 1800 bandı MD radyasyonuna uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* kontrol örneklerine kıyasla daha fazla EPS ürettikleri çalışma sonunda elde edilen önemli sonuçlar arasındadır.
7. GSM 1800 bandı MD radyasyonun *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından üretilen EPS'lerin monosakkarit içeriklerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre GSM 1800 bandı MD radyasyonu EPS'lerin monosakkarit içeriklerini kantitatif olarak değiştirdiği ancak yapısal herhangi bir değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir.

8. EPS'lerin sıcaklıkla meydana gelen kütle kayıpları endüstriyel açıdan çok önemlidir. Bu açıdan GSM 1800 bandı MD radyasyonuna *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tarafından üretilen EPS'lerin termal dirençlerine etkisi incelenmiştir. GSM 1800 bandı MD radyasyonu *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'tan elde edilen EPS'nin termal direncini artırmıştır. Fakat *S. thermophilus*'tan üretilen EPS'lerin termal direnci üzerinde GSM 1800 bandı MD radyasyonunun herhangi bir etki göstermediği belirlenmiştir. Bu durumda yüksek termal dirence sahip EPS örnekleri yüksek ısı işlem uygulanan gıdaların yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi açısından fayda sağlayabileceği düşünülmektedir.
9. Çalışmada yapılan FTIR spektra analizi sonuçlarına göre, GSM 1800 bandı MD radyasyonunun *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *S. thermophilus*'tan elde edilen EPS'lerin yapısal özelliklerini değiştirmedeği saptanmıştır.
10. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 1:1 oranında karıştırılarak ayran üretiminde starter kültür olarak denenmiştir. Ayran üretiminde kullanıldığında, kontrol örneğine göre daha kısa bir sürede pH'nın 4,6'ya ulaştığı belirlenmiştir.
11. Üretilen ayranların organik asit içerikleri belirlendiğinde ise laktik asit, asetik asit, sitrik asit ve propiyonik asitten meydana geldiği tespit edilmiştir. Asetik asit sadece GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayranlarda belirlenirken, propiyonik asit ise sadece kontrol grubu ayranlarda saptanmıştır.
12. Ayranların aroma profilleri incelendiğinde ise aroma bileşeni olarak alkoller, karboksilik asitler, ketonlar ve esterler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranlar ile kontrol ayranların aroma bileşenleri asetik asit dışında benzer bulunmuştur.
13. Üretilen ayranların farklı sıcaklıklarda reolojik özellikleri incelendiğinde, 4 °C ve 25 °C'de GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve

Lb. delbrueckii subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranların kontrol ayranlarına kıyasla viskozitesinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca frekans tarama analizinde GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilen ayranların G' ve G'' değerlerinin açılma hızına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir.

14. Ayranların duyuşal özellikleri değerlendirildiğinde ise renk parametresi dışında diğer parametrelerde GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ile üretilmiş ayran örneği diğer örneklere kıyasla daha yüksek puan almıştır. Dolayısı ile genel olarak bu grup en beğenilen örnek olarak tespit edilmiştir.

Yukarıda elde edilen sonuçlar ışığında, GSM 1800 bandı MD radyasyonu çalışmada kullanılan bakterilerin gelişme kinetiği, laktik asit üretim miktarları, organik asit içerikleri ile EPS miktar ve karakterizasyonunda istatistiksel olarak önemli değişiklikler meydana getirmiştir. Fakat mevcut çalışmada bu durumun neden ve nasıl kaynaklandığı tam olarak belirlenememiştir. Yapılacak daha geniş kapsamlı bir araştırma ile GSM 1800 bandı MD radyasyonunun ısı ve ısı olmayan etkileri aydınlatılabilir. Ayrıca elde edilen sonuçlarda *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un EPS üretim miktarını da artırdığı belirlenmiştir. Son yıllarda biyopolimer olarak popüler olan EPS'nin güvenilir olarak kabul edilen laktik asit bakterilerinden üretilmesi üzerinde çok sayıda araştırma yapılan konular arasındadır. Mevcut tez çalışmasında GSM 1800 bandı MD radyasyonunu uygulanan *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'tan kontrol örneklerine göre daha fazla EPS üretilmesi elde edilen en çarpıcı sonuçlardandır. GSM 1800 bandı MD radyasyonu uygulanmış *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ayranlarda starter kültür olarak kullanılmasının reolojik ve duyuşal özelliklerini iyileştirici olduğu tespit edilmiş olsa da, yapılacak daha detaylı genetik çalışmalar ve insan sağlığına etkileri belirlendikten sonra endüstride kullanılabileceği düşünülmektedir.

4.2. Öneriler

Bu araştırmanın sonuçları dikkate alındığında aşağıdaki önerilerin yapılabilceğı düşünölmektedir;

1. Literatürde GSM 1800 bandı MD radyasyonunun bakterilere etkisi daha önce incelenmiş bir konu değildir. Mevcut tez çalışması bu konuda ilk kez yapılmıştır. Fakat yapılacak daha detaylı çalışmalarla, elde edilen sonuçların hangi mekanizma ile meydana geldiğı aydınlatılmalıdır.
2. Mevcut tez çalışmasında, GSM 1800 bandı MD radyasyonunun yoğurt starter kültürleri olarak bilinen *S. thermophilus* ve *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'a uygulanmıştır. Bu durumda, GSM 1800 bandı MD radyasyonu daha farklı bakterilerde de denenerek nasıl sonuçlar verdiğinin literatüre kazandırılmasının faydalı olacağı düşünölmektedir.
3. Benzer şekilde daha önce literatürde gıdalara mikrodalga uygulaması ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ancak GSM 1800 bandı MD radyasyonunun gıdalara nasıl etki ettiğı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla GSM 1800 bandı MD radyasyonunun farklı gıdalara uygulanarak kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik etkilerinin araştırılmasının farklı çalışmalara yol açabileceğı düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

1. Saunders, T., 2003. Health hazards and electromagnetic fields. **Complementary Therapies in Nursing and Midwifery**, **9**: 191-197.
2. Maxwell, J. C., 1865. A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field. **Phil. Trans.**, 166, 459-512, 1865.
3. Canbay, C., 2010. The essential environmental cause of multiple sclerosis disease. **Electromagnetics Research**, **101**: 375-391.
4. Vadala, M., Vallelunga, A., Palmeirei, L., Morales-Medina, J.C., Iannitti, T., 2015. Mechanisms and therapeutic applications of electromagnetic therapy in Parkinsons's disease, **Behavioral and Brain Functions**, **11**: 1-12.
5. Emre, M. 2018. The effects of radiofrequency and low frequency electromagnetic fields on the immune system, **Journal of Immunology Clinic Microbiology**, **4**: 68-80.
6. Gerardi, G., De Ninno, A., Prosdocimi, M., Ferrari, V., Barbaro, F., Mazzariol, S., Bernardini, D., Talpo, G., 2008. Effects of electromagnetic fields of low frequency and low intensity on rat metabolism. **Biomagnetics Research Technologies**, **6**: 1-8.
7. İltir, S.M., GSM 900 ve GSM 1800 şebekesinden kaynaklanan radyasyonun bazı mikroorganizmalar üzerindeki etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2012
8. Develi, İ., 2010. Kablosuz ve Gezgin Haberleşme. Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 159 s / 10-45 pp.
9. Sengupta D. L., Sarka T. K., 2003. Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the early history of electromagnetic waves. **IEEE Antennas and Propagation Magazine**, **45**: 13-19.
10. Aysto, J., Rubchenya, V., 2002. Neutron-rich nuclei and fission; recent developments and future aspects. **The European Physical Journal A**, **13**: 109-115.
11. Manuel C, Lagunas S, 1995. Radiation processing of foods: An overview of scientific principles and current status, **Journal of Food Protection**, **58**: 186-192.

12. Lacroix, M. and Ouattara B., 2000. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products-a review. **Food Research International**, **33**: 719-724.
13. Haff, R.P., Toyofuku, N., 2008. X-ray detection of defects and contaminants in the food industry. **Sensing and Instrumentation for Food Quality**, **2**: 262-273.
14. Graves, M., Smith, A., Batchelor, B., 1998. Approaches to foreign body detection in foods. **Trends in Food Science and Technology**, **9**: 21-27.
15. Mery, D., Lillo, I., Lobel, H., Riffo, V., Soto, A., Cipriano, A., Aguilera, J.M., 2011. Automated fish bone detection using X-ray imaging. **Journal of Food Engineering**, **105**: 485–92.
16. Smith, J.S., Pillia, S., 2004. Irradiation and food safety. **Food Technology**, **58**: 48-55.
17. Javanmard, M., Rokni, N., Bokaie, S., Shahhosseini, G., 2006. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. **Food Control**, **17**: 469-473.
18. Variyar, P.S., Gholap, A.S., Thomas, P., 1997. Effect of γ -irradiation on the volatile oil constituents of fresh ginger (*zingiber officinale*) rhizome. **Food Research International**, **30**: 41-43.
19. Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., Robinson, R.K., 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. **Science of Food and Agriculture**, **80**: 637-645.
20. Suess, M.J., Benwell-Morisoni D.A., 1989. Non-ionizing Radiation Protection, 1989. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
21. Chang, J. C., Ossoff, S. F., Lobe, D. C., Dorfman, M. H., Dumais, C. M., Qualls, R. G., Johnson, J. D., 1985. UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. **Applied and Environmental Microbiology**, **49**: 1361-1365.
22. Koutchma, T., Keller, S., Chirtel, S., Parisi, B., 2004. Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, **5**: 179-189.

23. Franz, C.M.A.P., Specht, I., Cho, G.S., Graef, V., Stahl, M.P., 2009. UV-C inactivation of microorganisms in naturally cloudy apple juice using novel inactivation equipment based on Dean vortex technology. **Food Control**, **20**: 1103-1107.
24. Zwinkels, J.C., 2016. Light, Electromagnetic Spectrum. *In: Encyclopedia of Color Science and Technology*, Canada.
25. Wrolstad, R.E., Smith, D.E., 2010. Color Analysis. *In: Food Analysis*, Springer, Boston.
26. Skjöldebrand, C., 2001. Infrared Heating. In *Thermal Technologies in Food Processing*, Edited by R. Richardson, Boca Raton, Florida, 208-227p.
27. Sakai, N., Mao, W., 2006. Infrared Heating. In *Thermal Food Processing New Technologies and Quality Issues*, Edited by D.W. Sun, Boca Raton, Florida, 493-527p.
28. Krishnamurthy, K., Khurana, H.K., Jun, S., Irudayaraj, J., Demirci A., 2008. Infrared heating in food processing: An overview. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, **7**: 2-13.
29. Dold, B., 2016. Infrared radiation in modern technology. Brigham Young University, Idaho.
30. Daisuke, H., Tshitaka, U., Wenzhong, H., Eriko, Y., 2001 The short time infrared ray sterilization of the cereal surface. **IFAC Proceeding Volumes**, **34**: 197-203.
31. Çakmak, H., Tavman, S., 2011. Radio Frequency System and Its Applications in Food Industry. **Gıda**, **36**: 365-372.
32. Kim, S.Y., Sagong, H.G., Choi, S.H., Ryu, S., Kang, D.H., 2012. Radio frequency heating to inactivate *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* O157:H7 on black and red pepper spice. **International Journal of Food Microbiology**, **153**: 171-175.
33. Lagunas-Solar, M. C., Zeng, N. X., Essert, T. K., Truong, T. D., Piña, C., Cullor, J. S., Smith, W. L., Larraín, R., 2005. Disinfection of fishmeal with radiofrequency heating for improved quality and energy efficiency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, **85**: 2273-2280

34. Rosenthal, I., 1992. Microwave radiation in *Electromagnetic Radiations in Food Science*, Springer-Verlag, Berlin.
35. Datta, A. K., Davidson, P. M., 2001. Microwave and radio frequency processing, **Journal of Food Processing**, **1**: 32-41.
36. Decareau, R. V., 2001. Microwave processing, 99-105. In *Thermal Technologies in Food Processing*. (Eds: Regier, M., Schubert, H.) 2001. Woodhead Publishing, England.
37. Meredith, R., 1998. Introduction and Fundamental Concepts in Engineers Handbook of Industrial Microwave Heating, The Institute of Electrical Engineers, London, United Kingdom.
38. Giese, J., 1992. Advances in microwave food processing. **Food Technology**, **1**: 118-123.
39. Decareu, U.R., 1986. Microwave food processing equipment throughout the world. **Food Technology**, **1**: 99-105.
40. Paola, A.M., Juliano, S.B., Ricardo, A.G., 2014. Microwave Heating, **Microwave-Assisted Sample Preparation for Trace Element Analysis**, **1**: 59-75.
41. Bogdal, D., 2005. Techniques for conducting chemical reactions under microwave irradiation. **Tetrahedron Organic Chemistry Series**, **25**: 39-42.
42. LeBlanc, G.N. 2000. Microwave-Assisted Extraction: **Environmental Applications**, **1**: 3387-3394.
43. Harrierson, L.D., 1980. Microwave versus conventinal cooking methods: effects on food quality control attributes. **Journal of Food Protection**, **43**: 633-637.
44. Bengtsson, N., 2001. Microwave Technology and foods. **Advances in Food and Nutrition Research**, **43**: 65-140.
45. Doores, S., Heddleson, R., 1994. Factors affecting microwave heating of foods and microwave induced destruction of foodborne pathogens. **Journal of Food Protection**, **57**: 1025-1037.
46. Heddleson. R.A., Doores., S., Anatheswaran, R., Khun. G., 1996. Viability loss of *Salmonella* species, *Staphylococcus aureus* and *Listeria*

- monocytogenes* in complex foods heated by microwave energy. **Journal of Food Protection**, **59**: 813- 818.
47. Varabioff, Y., Hollywood, N.W., Mitchell. G.E., 1991. The Effect of microwave and conventional cooking on the temperature profiles and microbial flora of minced beef. **International Journal of Food Microbiology**, **14**: 67-76.
 48. Hollywood, N.W., Naidoo. R.I., 1991. Effect of microwave heating on microbial flora of frozen convenience foods. **Food Australia**, **43**: 160-163.
 49. Chipley, J. R., 1980. Effect of microwave irradiation on microorganisms. **Advances Applied Microbiology**, **26**: 129-145.
 50. Vela, G. R., Wu J. F., 1979. Mechanism of lethal action of 2,450 Mhz radiation on microorganisms. **Applied and Environmental Microbiology**, **37**: 550-553.
 51. Reinemann,J.D., Gouws, P., Cilliers, T., Houck, K., Bishop,J.R., 2006. New methods for UV treatment of milk for improved food safety and product quality. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, ASABE Meeting Presentation,
 52. Pereira, R.N., & Vicente, A.A., 2010. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. **Food Research International**, **43**: 1936-1943.
 53. Çakıroğlu, E., 2001. Mikrodalga fırında pişirilen kıymadaki *Yersinia enterocolitica*'nın gelişiminin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
 54. Apostolou, I., Papadopoulou, C., Levidiotou, S., Loannides, K., 2005. The effect of short- time microwave exposures on *Escherichia coli* O157:H7 inoculated onto meat portions and whole chickens. **International Journal of Food Microbiology**, **101**: 105-110.
 55. Coote, P.J., Holyoak, C.D., Cole, M.B., 1991. Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* during a process simulating temperatures achieved during microwave heating. **Journal of Applied Bacteriology**, **70**: 489-494.

56. Woo, I.S., Rhee, I.K., Park, H.D., 2000. Differential damage in bacterial cells by microwave radiation on the basis of cell wall structure. **Applied and Environmental Microbiology**, **66**: 2243-2247.
57. Brodsky, A., 1978. Handbook of Radiation Measurement and Protection, Boca Raton, CRC Press,
58. ICRP,2012. Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60.
59. Sowby, F.D., 1965. The recommendations of ICRP. **ICRP Publications 9**, Pergamon Press 1399.
60. Bebeshko, V., Bazyka, D., Loganovsky, K., Volovik, S., Kovalenko, A., 2006. Does ionizing radiation accelerate the aging phenomena? International Conference. Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook. April 24 -26,2006, Kiev, Ukraine. Contributed Papers (HOLTEH, Kiev) 1: pp.13-18 ([//www.tesec-int.org/pdf](http://www.tesec-int.org/pdf).)
61. Rösli, M., Frei, P., Mohler, E., Hug, K., 2010. Bulletin of the World Health Organization, **88**: 887-910.
62. Verschaeve, L., Juutilainen, J., Lagroye, I., Miyakoshi, J., Saunders, R., de Seze, R., Tenforde, T., van Rongen, E., Veyret, B., Xu, Z., 2010. *In vitro* and *in vivo* genotoxicity of radiofrequency fields. **Mutation Research/Reviews in Mutation research**, **705**: 252-268.
63. Sarkar, S., Ali, Sher, Behari, J., 1994. Effect of low power microwave on the mouse genome: A direct DNA analysis. **Mutation Research/Genetic Toxicology**, **320**: 141-147.
64. Lai, H., Singh, N.P., 2015. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. **Environmental Health Perspectives**, **12**: 687-694.
65. Gertner, J., 2012. The Idea Factory Bell Labs and the Great Age of American Innovation. The penguin Press, New York.
66. Haq, I., Rahman, Z.U., Ali, S., Faisal, E.M., 2017. GSM Technology: architecture, security and future challenges. **International Journal of Science Engineering and Advance Technology**, **5**: 70-74.
67. Otal, B., Alonso, L., Agusti, R., 2002. Design and analysis of cellular mobile communications system based on DQRAP/CDMA MAC protocol. **Electronics Letters**, **38**: 138-139.

68. Scharnhorst, W., 2006. Life-Cycle Assessment of Mobile Telephone Networks, with Focus on the Environmental Relevance of the End-of-Life Phase. Uppsala University, PhD thesis, Lausanne, 182 pp.
69. Yin, H.D., Zhang, X.M., Huang, M.G., Chen, W., Song, Y., Du, Q.J., Wu, Y.N., Yang, R.B., 2017. Curative effect and mechanism of radiofrequency ablation nucleoplasty in the treatment of cervical vertigo. **British Journal of Radiology**, 2-6
70. Ishibashi, N., Yamazaki, S., 2001. Probiotics and safety. **American Journal of Clinical Nutrition**, 73: 465-470.
71. Donohue, D.C., Salminen S., 1996. Safety of bacteria asia pacific. **Journal of Clinical Nutrition**, 5: 25-28.
72. Bakırcı, I., Kavaz, A., 2008. An investigation of some properties of banana yogurts made with commercial ABT-2 starter culture during storage. **Dairy Technology**, 61: 270-276.
73. Doron, S., Snyderman, D.R., 2015. Risk and safety of probiotics. **Clinical Infectious Diseases**, 60: 129-134.
74. Schleifer, K., Kilpper-Bälz, R., 1987. Molecular and chemotaxonomic approaches to the classification of *Streptococci*, *Enterococci* and *Lactococci*: A Review. **Systematic and Applied Microbiology**, 10: 1-19.
75. Hardie, J., 1986. Genus *Streptococcus*, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2, 1043-1071.
76. Farrow, J. A. E., Collins, M. D., 2009. DNA base composition, DNA-DNA homology and long-chain fatty acid studies on *Streptococcus thermophilus* and *Streptococcus salivarius*. **Microbiology**, 130: 357-362.
77. Tang, W., 2017. Structural characterization and antioxidant property of released exopolysaccharides from *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* SRFM-1. **Carbohydrate Polymers**, 173: 654-664.
78. Khalisanni, K., 2011. An overview of lactic acid bacteria. **International Journal of Bioscience**, 1: 1-13.
79. Ravula, R. R., Shah, N. P., 1998. Selective enumeration of *Lactobacillus casei* from yogurts and fermented milk drinks. **Biotechnology Technics**, 12: 819-822.

80. Van de Guchte M., 2006. The Complete genome sequence of *Lactobacillus bulgaricus* reveals extensive and ongoing reductive evolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, **103**: 9274-10279.
81. Surono, S., Hosono, A., 2011. Fermented Milks: Starter Cultures. Encyclopedia of Dairy Sciences
82. Zourari, A., Accolas, J. P., Desmazeaud, M. J., 1992. Metabolism and biochemical characteristics of yogurt bacteria: a review. **Lait**, **72**: 1-34.
83. Foucaud, C., Poolman, B., 1992. Lactose transport system of *Streptococcus thermophilus*. **Journal of Biology and Chemistry**, **267**: 22087-22094.
84. Hutkins, R. W., Morri, H. A., 2016. Carbohydrate metabolism by *Streptococcus thermophilus*: a review. **Journal of Food Protection**, **50**: 876-884.
85. Svensson, M., Waak, E., Svensson, U., Radström, P., 2005. Metabolically improved exopolysaccharide production by *Streptococcus thermophilus*. **Environmental Microbiology**, **71**: 6398-6400.
86. Kyla-Nikkila, K., 2016. Genetic engineering of lactic acid bacteria to produce optically pure lactic acid and to develop a novel cell immobilization method suitable for industrial fermentations (p. 117). Doktora Tezi, Helsinki Üniversitesi, Helsinki-Finland
87. Carevic, M., Vukasinovic-Sekulic, M., Banjanac, K., Milivojevic, A., Corovic, M., Bezbradica, D., 2017. Characterization of β -galactosidase from *Lactobacillus acidophilus*: stability and kinetic study. **Advance Technology**, **6**: 5-13.
88. Adams, R. M., 1994. Characterization of two cold sensitive mutants of the β -galactosidase from *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. **Journal of Biology Chemistry**, **269**: 5666-5672.
89. Germond, J. E., Lapierre, L., Delley, M., Mollet, B., Felis, G. E., Dellaglio, F., 2003. Evolution of the bacterial species *Lactobacillus delbrueckii*: a partial genomic study with reflections on prokaryotic species concept. **Molecular Biology Evolution**, **20**: 93-104.
90. Castillo Martinez, F.B., Marcos Balciunas, E., Manuel Salgado, J., Domínguez González, J.M., Converti, A., Pinheiro de Souza Oliveira, R.,

2013. Lactic acid properties, applications and production: a review. **Trends in Food Science & Technology**, **30**: 70-83
91. Giraffa, G., Mora, D., 1999. DNA probe for *Lactobacillus delbrueckii* subsp *lactis*. **Journal of Dairy Research**, **66**: 303-311.
 92. Alm, L., 1981. Effect of fermentation on L(+) and D(-) lactic acid in milk. **Journal of Dairy Science**, **65**: 515-520.
 93. Doco, T., Wieruszeski, J.M., Fournet, B., Carcano, D., Ramos, P., Loones, A., 1990. Structure of an exocellular polysaccharide produced by *Streptococcus thermophilus*. **Carbohydrate Research**, **198**: 313-321.
 94. Bouzar, F., Cerning, J., Desmazeaud, M., 2010. Exopolysaccharide production and texture-promoting abilities of mixed-strain starter cultures in yogurt production. **Journal of Dairy Science**, **80**: 2310-2317.
 95. Ruas-Madiedo, P., de los Reyes-Gavilán, C. G., 2010. Invited review: methods for the screening, isolation, and characterization of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. **Journal of Dairy Science**, **88**: 843-856.
 96. Laws, A. P., Marshall, V. M., 2001. The relevance of exopolysaccharides to the rheological properties in milk fermented with ropy strains of lactic acid bacteria, **International Dairy Journal**, **11**: 709-721.
 97. Patel, S., Majumder, A., Goyal, A., 2012. Potentials of exopolysaccharides from lactic acid bacteria. **Indian Journal of Microbiology**, **52**: 3-12.
 98. Tuinier, R., Grotenhuis, E., Holt, C., Timmins, P. A., de Kruif, C. G., 1999. Depletion interaction of casein micelles and an exocellular polysaccharide. **Physical Review E - Statistical physics, plasmas, fluids, and related interdisciplinary topics**, **60**: 848-856.
 99. Broadbent, J. R., McMahon, D. J., Welker, D. L., Oberg, C. J., Moineau, S., 2010. Biochemistry, genetics, and applications of exopolysaccharide production in *Streptococcus thermophilus*: a review. **Journal of Dairy Science**, **86**: 407-423.
 100. Levander, F., Radström, P., 2001. Requirement for phosphoglucomutase in exopolysaccharide biosynthesis in glucose- and lactose-utilizing *Streptococcus thermophilus*. **Applied Environmental Microbiology**, **67**:

2734-2738.

101. Levander, F., Svensson, M., 2002. Enhanced Exopolysaccharide Production by Metabolic Engineering of *Streptococcus thermophilus*. **Applied Environmental Microbiology**, **68**: 784-790.
102. Stingle, F., Neeser, J. R., Mollet, B., 1996. Identification and characterization of the eps (exopolysaccharide) gene cluster from *Streptococcus thermophilus* Sfi6. **Journal of Bacteriology**, **178**: 1680-1690.
103. E. Almiron-Roig, F. Mulholland, M. J. Gasson, A. M. Griffin, 2000. The complete cps gene cluster from *Streptococcus thermophilus* NCFB 2393 involved in the biosynthesis of a new exopolysaccharide. **Microbiology**, **146**: 2793-2802.
104. Faber, E. J., Zoon, P., Kamerling, J. P., Vliegthart, J. F. G., 1998. The exopolysaccharides produced by *Streptococcus thermophilus* Rs and Sts have the same repeating unit but differ in viscosity of their milk cultures. **Carbohydrate Research**, **310**: 269-276.
105. Van Kranenburg, R., Kleerebezem, M., De Vos, W. M., 2000. Nucleotide sequence analysis of the *Lactococcal* EPS plasmid pNZ4000. **Plasmid**, **43**:130-136.
106. Bianchi-Salvadori, B., Camaschella, P., Cislighi, S., 1995. Rapid enzymatic method for biotyping and Control of Lactic Acid Bacteria Used in the Production of Yogurt and Some Cheeses. **International Journal of Food Microbiology**, **27**: 255-261.
107. Duboc, P., Mollet, B., 2001. Applications of exopolysaccharides in the dairy industry. **International Dairy Journal**, **11**: 759-768.
108. Cerning, J., Bouillanne, C., Desmazeaud, M. J., Landon, M., 1986. Isolation and characterization of exocellular polysaccharide produced by *Lactobacillus bulgaricus*. **Biotechnology Letters**, **8**: 625-628.
109. Cheng, H., 2010. Volatile flavor compounds in yogurt: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, **50**: 938-950.
110. Karagül, Yüceer Y., Drake, M., 2013. Sensory Analysis of Yogurt. *Manufacture Yogurt Fermented Milks* October, 353-367
111. Bongers, R. S., Hoefnagel, M. H. N., Kleerebezem, M., 2005. High-level

- acetaldehyde production in *Lactococcus lactis* by metabolic engineering. **Microbiology**, **71**: 1109-1113.
112. Nosova, T., 2000. Acetaldehyde production and metabolism by human indigenous and probiotic *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains. **Alcohol**, **35**: 561-568.
 113. Marshall, M., 1987. Lactic Acid Bacteria: Starters for Flavor. *FEMS Microbiology Letters*, **46**, 327-336.
 114. Baranowska, M., 2006. Intensification of the Synthesis of Flavour Compounds in Yogurt by Milk Enrichment with Their Precursors. International Science Conferences Advance Technology Olsztyn, Poland; 9-10 Febr. 15, 5-11
 115. Less, G.J., Jago, G.R., 1969. Methods for the estimation of acetaldehyde in cultured dairy product. **Australian Journal of Dairy Technology**, **24**: 181-185.
 116. Manca de Nadra, M.C., Nadra Chaud, C.A., de Ruiz Holgado, A.P., Oliver, G., 1986. Arginine metabolism in *Lactobacillus leichmannii*, **Current Microbiology**, **13**: 155-158.
 117. Raya, I., Mayasari, E., Yahya, A., Syahrul, M., Latunra, A.I., 2015. Synthesis and characterizations of calcium hydroxyapatite derived from crabs' shells (*Portunus pelagicus*) and its potency in safeguard against to dental demineralizations. **International Journal of Biomaterials**, **8**: 1-9.
 118. Rodríguez-Serrano, G. M., Perez-Hernández, G., Gallardo, F., Gomez-Ruiz, L., Garcia-Garibay, M., 2002. Performance of yoghurt cultures during the fermentation of whey concentrated by ultrafiltration for the elaboration of a fermented beverage. **Milchwissenschaft**, **57**: 540-543.
 119. Ott, A., Germond J-E., Chaintreau, A., 2000. Origin of acetaldehyde during milk fermentation using (13)C-labeled precursors. **Journal of Agriculture Food Chemistry**, **48**: 1512-1517.
 120. Ayhan, K., Durlu-Özkaya, F., Tunail, N., 2005. Commercially important characteristics of Turkish origin domestic strains of *Streptococcus*

- thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. **International Journal of Dairy Technology**, **58**: 150-157.
121. Chaves, A.C.S.D., Fernandez, M., Lerayer, A.L.S., Mierau, I., Kleerebezem, M., Hugenholtz, J., 2002. Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. **Applied Environmental Microbiology**, **68**: 5656–5662.
 122. Wilkins, D.W., Schmidt, R.H., Shireman, R. B., Smith, K.L., Jezeski J.J. 1986. Evaluating acetaldehyde synthesis from L-[C(U)] threonine by *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*. **Journal of Dairy Science**, **69**: 1219-1224.
 123. Botazzi, V., Dellaglio, F., 1996. Acetaldehyde and diacetyl production by *Streptococcus thermophilus* and other lactic Streptococci. **Journal Dairy Research**, **34**:1 09-113.
 124. Moulay, M., Aggad, H., Benmechernene, Z., Guessas, B., Henni, D.E., Kihal, M., 2006. Cultivable lactic acid bacteria isolated from algerian raw goat's milk and their proteolytic activity. **World Journal of Dairy & Food Sciences**, **1**: 12-18.
 125. Rodriguez-Serrano, G.M., Perez-Hernandez, G., Lorena Gomez-Ruiz, F.G., Garcia-Garibay, M., 2002. Performance of yogurt cultures during the fermentation of whey concentrated by ultrafiltration for the elaboration of a fermented beverage. **Milchwissenschaft**, **57**: 540-542.
 126. Bertrand-Harb, C., Ivanova, I. V., Dalgalarondo, M., Haertle T., 2003. Evolution of β -lactoglobulin and α -lactalbumin content during yoghurt fermentation. **International Dairy Journal**, **13**: 39-45
 127. Stefanitsi, D., Garel, J. R., 1997. A zinc-dependent proteinase from the cell wall of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. **Letters of Applied Microbiology**, **24**: 180-184.
 128. Kok, J., 1990. Genetics of the proteolytic system of lactic acid bacteria. **FEMS Microbiology Reviews**, **87**: 5-42.
 129. Gilbert C., 1996. A new cell surface proteinase: sequencing and analysis of the prtB gene from *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. **Journal of Bacteriology**, **178**: 3059-3065.

130. Germani, A., Luneia, R., Nigro, F., Vitiello, V., Donini, L. M., del Balzo, V., 2014. The yogurt amino acid profile's variation during the shelf-life. **Applied Microbiology**, **26**: 205-212.
131. Savijoki, K., Ingmer, H., Varmanen, P., 2006. Proteolytic Systems of Lactic Acid Bacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**, **71**: 394-406.
132. Bertrand-Harb, C., Ivanova, I. V., Dalgalarrodo, M., Haertle, T., 2003. Evolution of β -lactoglobulin and α -lactalbumin content during yoghurt fermentation. **International Dairy Journal**, **13**: 39-45.
133. Hamann, W. T., Marth, E. H., 2016. Survival of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* in commercial and experimental yogurts. **Journal of Food Protection**, **47**: 781- 786.
134. Beyatli, Y., Tunail, N., 1984. Relationship between lactic acid production and proteolytic activity of thermophilic lactic microorganisms isolated from yogurt. **Journal of Dairy Science**, **67**: 83-95.
135. Ferretti, J.J., McShan, W.M., Ajdic, D., Savic, D. J., Savic, G., Lyon, K., Primeaux, C., Sezate, S., Suvorov, A.N., Kenton, S., Lai, H.S., Lin, S.P., Qian, Y., Jia, H.G., Najar, F.Z., Ren, Q., Zhu, H., Song, L., White, J., Yuan, X., Clifton, S.W., Roe, B.A., Mclaughin, R., 2001. Complete genome sequence of an M1 strain of *Streptococcus pyogenes*. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, **98**: 4658-4663.
136. Pernoud, A., Fremaux, C., Sepulchre, A., Corrieu, G., Monnet, C., 2004. Effect of the metabolism of urea acidifying activity of *Sterptococcus thermohilus*. **Journal of Dairy Science**, **87**: 550-555.
137. Savijoki, K., Ingmer, H., Varmanen, P., 2006. Proteolytic Systems of Lactic Acid Bacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**, **71**: 394-406.
138. Alm, L., 1982. Effect of fermentation on B-vitamin content of milk in Sweden. **Journal of Dairy Science**, **65**: 353-361.
139. Akerberg, C., Hofvendahl, K., Zacchi, G. Hahn-Hagerdal, B. 1998. Modelling the influence of pH, temperature, glucose and lactic acid concentrations on the kinetics of lactic acid production by *Lactococcus lactis*

- ssp. *lactis* ATCC 19435 in whole-wheat flour. **Applied of Microbiology and Biotechnology**, **49**: 682-690.
140. Bulut, Ç., 2003. Isolation and Molecular Characterization of Lactic Acid Bacteria from Cheese. Yüksek Lisans Tezi. İzmir Teknoloji Enstitüsü, 102 s., İzmir
 141. Cizeikiene, D., Grazina, J., Paskevicius, A., Bartkiene, E., 2013. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria against pathogenic and spoilage microorganism isolated from food and their control in wheat bread, **Food Control**, **31**: 539-545.
 142. Tagg, J.R., Mcgiven, A.R., 1971. Assay System for Bacteriocins. **Applied Microbiology**, **21**: 943-952.
 143. İspirli, H., Özmen, D., Yilmaz, M., Sagdic, O., Dertli, E., 2019. Impact of glucan type exopolysaccharide (eps) production on technological characteristics of sourdough bread. **Food Control**, **107**: 106-112.
 144. Dertli, E., Toker, O.S., Durak, M.Z., Yilmaz, M.T., Tatlısu, N.B., Sagdic, O., Cankurt, H., 2016. Development of a fermented ice-cream as influenced by in situ exopolysaccharide production: rheological, molecular, microstructural and sensory characterization. **Carbohydrate Polymers**, **136**: 427-440.
 145. Wang, Y., Li, C., Liu, P., Ahmed, Z., Xiao, P., Bai, X., 2010. Physical characterization of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum* KF5 isolated from Tibet Kefir. **Carbohydrate Polymers**, **82**: 895-903
 146. Anonim, 1982. Ayran Standardı. TS 3810. TSE (Türk Standartları Enstitüsü), Ankara.
 147. Rawson, H.L., Marshall, V.M., 1997. Effect of ropy strains of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* on rheology of stirred yoghurt. **International Journal of Food Science and Technology**, **32**: 213-220.
 148. Penna, A. L. B., Sivieri, K., Oliviera, M. N., 2001. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. **Journal of Food Engineering**, **49**: 7-13.

149. Priyashanta, H., Quintans, A.P., Baixaulli, R., Vidanarachchi, J.K., 2019. Type of starter culture influences on structural and sensorial properties of low protein fermented gels. **Journal of Texture Studies**, **50**: 482-492.
150. Woo, I.S., Rhee, I.K., Park, H.D., 2000. Differential damage in bacteria cells by microwave radiation on the basis of cell wall structure. **American Society for Microbiology**, **66**: 2243-2247.
151. Blevins, R.D., Crenshaw, R.C., Hougland, A.E., Clark, C.E., 1980. Effect of microwave radiation and heat on specific mutants of *Salmonella typhimurium* LT2, **Radiation Research**, **82**: 511-517.
152. Leach, W.M., 1980. Genetic growth, and reproductive effects of microwave radiation, **Bulletion of New York Academy of Medicine**, **56**: 249-257.
153. Sagripanti, J.L., Swicord, M.L., Davis, C.C., 1987. Microwave effects on plasmid DNA, **Radiation Research**, **110**: 219-31.
154. Lai, H., Singh, N.P., Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single strand breaks in rat brain cells, **Bioelectromagnetic**, **16**: 207-210.
155. Dreyfuss, M.S., Chipley, J.R., 1980. Comparison of effects of sublethal microwave radiation and conventional heating on the metabolic activity of *Staphylococcus aureus*. **Applied and Environmental Microbiology**, **39**: 13-16.
156. Porcelli, M., Cacciapuotia, G., Fuscoa, S., Massab, R., d'Ambrosiob, G., Bertoldoa, C., Rosaa, M.D., Zappia, V., 1997. Non-thermal effects of microwaves on proteins: thermophilic enzymes as model system. **FEBS Letters**, **402**: 102-106.
157. Arndt, D., Byerly, D., Ngo, P., Phan, C., Dusl, J., Sognier, M., Ott, M., 2005. Microwave radiation- therapeutic application for cure of subcutaneous bacterial infections. **NASA Biennial Research and Technology Report**, 71-72.
158. Belyaev, I., 2005. Nonthermal biological effects of microwaves: current knowledge, further perspective, and urgent needs. **Electromagnetic Biology and Medicine**, **24**: 375-403.

159. Atmaca, S., Akdag, Z., Dasdag, S., Celik, S., 1996. Effect of microwaves on survival of some bacterial strains. **Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica**, **43**: 371-378.
160. Hyland, G.J., 1998. Non-thermal bioeffects induced by low-intensity microwave irradiation of living systems. **Engineering Science and Education Journal**, **7**: 261-269.
161. Banik, S., Bandyopadhyay, S., Ganguly, S., 2003. Bioeffects of microwave - a brief review. **Bioresource Technology**, **87**:1 55-159.
162. Antonio, C., Deam, R.T., 2007. Can "microwave effects" be explained by enhanced diffusion? **Physical Chemistry Chemical Physics**, **9**: 2976-2982.
163. Kozempel, M., Cook, R.D., Scullen, O.J., Annous, B.A., 2000. Development of a process for detecting non-thermal effects of a microwave energy on microorganisms at low temperature. **Journal of Food Processing and Preservation**, **24**: 287-301.
164. Fujikawa, H., Ushioda, H., Kudo, Y., 1992. Kinetics of *Escherichia coli* destruction by microwave irradiation. **Applied Environmental Microbiology**, **58**: 920-924.
165. Woo, I.S., Rhee, I.K., Park, H.D., 2000. Differential damage in bacterial cells by microwave radiation on the basis of cell wall structure. **Applied and Environmental Microbiology**, **66**: 2243-2247.
166. Shazman, A., Mizrahi, S., Cogan, U., Shimoni, E., 2007. Examining for possible non-thermal effects during heating in a microwave oven. **Food Chemistry**, **103**: 444-453.
167. Lee, W.J., Lucey, J.A. Structure and physical properties of yogurt gels: effect of inoculation ate and incubation temperature. **Journal of Dairy Science**, **87**: 3153-3164.
168. Cheriguene, A., Chougrani, F., Bensoltane, A., 2006. Identification and characterization of lactic acid bacteria from algerian goat's milk. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, **9**: 1242-1249.

169. Tomovska, J., Gjorgievski, N., Makarijoski, B., 2016. Examination of pH, titratable acidity and antioxidant activity in fermented milk. **Journal of Materials Science and Engineering A**, **6**: 326-333.
170. Stiles, M.E., Holzapfel, W.H., 1997. Lactic acid bacteria of food and their current taxonomy. **International Journal of Food Microbiology**, **26**: 1-29.
171. Turgut, T., 2016. Süt ve süt ürünlerinde mikrodalga uygulamaları, **Akademik Gıda**, **14**: 451-457.
172. Dimitrov, D., Simov, Z., Vlaseva, R., Ospanov, A., 2015. Fatty acid and sensory profile in the process of ripening of Kaschkaval cheese from cow's milk produced by microwave treatment. **Annals: Food Science and Technology**, **16**: 45-51.
173. Özcelik, S., Kuley, E., Özogul, F., 2016. Formation of lactic, acetic, succinic, propionic, formic and butyric acid by lactic acid bacteria, **LWT**, **73**: 536-542.
174. De Baere, S., Eeckhaut, V., Steppe, M., De Maesschalck, C., De Backer, P., Van Immerseel, F., Croubels, S., 2013. Development of a HPLC-UV method for the quantitative determination of four short-chain fatty acids and lactic acid produced by intestinal bacteria during in vitro fermentation. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, **80**: 107-115.
175. Liu, S., Han, Y., Zhou, Z., 2011. Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese foods. **Food Research International**, **44**: 643-651.
176. Belguendouz, T., Cachon, R., Divies, C., 1997. pH homeostasis and citric acid utilization: differences between *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactococcus lactis*. **Current Microbiology**, **35**: 233-236.
177. Haller, D., Colbus, H., Gänzle, M.G., Scherenbacher, P., Bode, C., Hammes, W.P., 2001. Metabolic and functional properties of lactic acid bacteria in the gastro-intestinal ecosystem: A comparative in vitro study between bacteria of intestinal and fermented food origin. **Systematic and Applied Microbiology**, **24**: 218-226.
178. Fernandez-Garcia, E., McGregor, J.U., 1994. Determination of organic acids during fermentation and cold storage of yogurt. **Journal of Dairy Science**, **77**: 2934-2939.

179. Urbienė, S., Leskauskaitė, D., 2006. Formation of some organic acids during fermentation of milk. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, **15**: 277-281
180. Caplice, G., Fitzgerald, E.F., 1999. Food fermentations: Role of microorganisms in food production and preservation. **International Journal of Food Microbiology**, **50**: 131-149.
181. Cruz, A.G., Castro, W.F., Faria, J.A.F., Bogusz, J.S., Granato, D., Celeguini, R.M.S., Lima-Pallone, J., Godoy, H.T., 2012. Glucose oxidase: a potential option to decrease the oxidative stress in stirred probiotic yogurt. **Food Science and Technology**, **47**: 512-515.
182. Guan, N., Liu, L., 2020. Microbial response to acid stress: mechanisms and applications, **Applied Microbiology and Biotechnology**, **104**: 51-65.
183. Ammor, S., Tauveron, G., Dufour, E., Chevallier, I., 2006. Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-scale facility: 1-screening and characterization of the antibacterial compounds, **Food Control**, **17**: 454-461.
184. Zhang, Y., Zhang, L., Du, M., Yi, H., Guo, C., Tuo, Y., Han, X., Li, J., Zhang, L., Yag, L., 2011. Antimicrobial activity against *Shigella sonnei* and probiotic properties of wild *Lactobacilli* from fermented food. **Microbiological Research**, **167**: 27-31.
185. Gonzalez, L., Sandoval, H., Sacristan, N., Castro, J.M., Fresno, J.M., Tornadjio, M.E., 2007. Identification of lactic acid bacteria isolated from Genestoso cheese throughout ripening and study of their antimicrobial activity. **Food Control**, **18**: 716-722.
186. Zhang, T., Zhang, C., Li, S., Zhang, Y., & Yang, Z., 2011. Growth and exopolysaccharide production by *Streptococcus thermophilus* ST1 in skim milk. **Brazilian Journal Of Microbiology**, **42**: 1470-1478.
187. Liu, C. F., Tseng, K. C., Chiang, S. S., Lee, B. H., Hsu, W. H. and Pan, T. M., 2011. Immunomodulatory and antioxidant potential of *Lactobacillus* exopolysaccharides. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, **91**: 2284-2291
188. Pawlicki-Jullian, N., Courtois, B., Pillon, M., Lesur, D., Fleche-Maetos, A.,

- Laberche, J.C., Goncharova, N., Courtois, J., 2006. Çernobil: exopolysaccharide production by nitrogen-fixing bacteria within nodules of *Medicago* plants exposed to Chronic Radiation İn The Chernobyl Exclusion Zone. **Journal of Food Science and Biotechnology**, **6**: 49-53
189. Tsuda, H., Hara, K., Miyamoto, T., Binding of mutagens to exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum* mutant strain 301102S. **Journal of Dairy Science**, **91**: 2960-2966.
 190. Doğan, N.M., Doğanlı, G.A., Doğan, G., Bozkaya, O., 2015, Characterization of extracellular polysaccharides (EPS) produced by thermal bacillus and determination of environmental conditions affecting exopolysaccharide production, **International Journal of Environmental Research**, **19**: 1107-1116.
 191. Liu, C. F., Tseng, K. C., Chiang, S. S., Lee, B. H., Hsu, W. H. and Pan, T. M., 2011. Immunomodulatory and antioxidant potential of *Lactobacillus* exopolysaccharides. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, **91**: 2284-2291
 192. Cerning, J., Renard, C.M.G.C., Thibault, J.F., Bouillanne, C., Landon, I.M., Desmazeaud, M., Topisirovic, L.1994. Carbon source requirements for exopolysaccharide production by *Lactobacillus casei* CG11 and partial Structure analysis of the polymer. **Applied and Enviromental Microbiology**, **60**: 3914-3919.
 193. Yüksekdag, Z.N., Aslim, B., 2008. Influence of different carbon sources on exopolysaccharide production by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (B3, G12) and *Streptococcus thermophilus* (W22). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, **51**: 581-585.
 194. Zhang, T., Zhang, C., Li, S., Zhang, Y., Yang, Z., 2011. Growth and exopolysaccharide production by *Streptococcus thermophilus* ST1 in skim milk. **Food Microbiology**, **42**, 1470-1478.
 195. Li, B., Ding, X., Evive,S.E.,Jin, D., Meng, Y., Huo, G., Liu, F., 2017. Short communication: Genomic and phenotypic analyses of exopolysaccharides produced by Streptococcus thermophilus KLDS SM, **Journal of Dairy Sicence**, **101**: 106-112

196. Van Geel-Schutten, G.H., Flesch, F., ten Brink, B., Smith, M.R., Dijkhuizen, L., 1998. Screening and characterization of *Lactobacillus* strains producing large amounts of exopolysaccharides, **Applied Microbiology and Biotechnology**, **50**: 697-703.
197. Nwodo, U. U., Green, E., Okoh, A. I., 2012. Bacterial exopolysaccharides: functionality and prospects. **International Journal of Molecular Sciences**, **13**: 14002-14015.
198. Kanamarlapudi, S.L.R.K., Muddada, S., 2017. Characterization of exopolysaccharide produced by *Strerptococcus thermophilus* CC30, **Biomed Research Article**, **1**: 1-11.
199. Freitas F., Alves V.D., Reis M.A., 2011. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological application. **Trends in Biotechnology**, **29**: 388-398.
200. Kılınç, M., Tomar, O., Çağlar, A., 2017. Biyobozunur gıda ambalaj malzemeleri. **Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering**, **17**: 988-996.
201. Sutherlnd, I.W., 1994. Structure-function relationships in microbial exopolysaccharides. **Biotechnology Adbances**, **12**: 393-448.
202. Wang, K., Li, W., Rui, X., Chen, X., Jiang, M., Dong, M., 2014. Characterization of a novel exopolysaccharide with antitumor activity from *Lactobacillus plantarum* 70810. **International Journal of Biological Macromolecules**, **63**: 133-139.
203. Freitas, F., Alves, V.D., Reis, M.A.M., 2011. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. **Trends in Biotechnology**, **29**: 388-398.
204. Chowdhury, M. N. K., Ismail, A. F., Beg, M. D. H., Hegde, G., Gohari, R. J., 2015. Polyvinyl alcohol/polysaccharide hydrogel graft materials for arsenic and heavy metal removal. **New Journal of Chemistry**, **39**: 5823-5832.
205. Wang, Y., Li, C., Liu, P., Ahmed, Z., Xiao, P., Bai, X., 2010. Physical characterization of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum* KF5 isolated from Tibet Kefir. **Carbohydrate Polymers**, **82**: 895-903.

206. Verhoef, R., Schols, H. A., Blanco, A., Siika-aho, M., Rättö, M., Buchert, J., Lenon, G., & Voragen, A. G., 2005. Sugar composition and FT-IR analysis of exopolysaccharides produced by microbial isolates from paper mill slime deposits. **Biotechnology and bioengineering**, **91**: 91–105.
207. Yang, Y., Feng, F., Zhou, Q., Zhao, F., Du, R., Zhou, Z., Han, Y., 2019. Isolation, purification, and characterization of exopolysaccharide produced by *Leuconostoc citreum* N21 from dried milk cake. **Transactions of Tianjin University**, **25**: 161-168.
208. Chen, Y., Mao, W., Gao, Y., Teng, X., Zhu, W., Chen, Y., Zhao, C., Li, N., Wang, C., Yan, M., Shan, J., Lin, C., Guo, T., 2013. Structural elucidation of an extracellular polysaccharide produced by the marine fungus *Aspergillus versicolor*. **Carbohydrate Polymers**, **93**: 478-483.
209. Stingele, F., Lemoine, J., Neeser, J.R., 1997. *Lactobacillus helveticus* Lh59 secretes an exopolysaccharide that is identical to the one produced by *Lactobacillus helveticus* TN-4, a presumed spontaneous mutant *Lactobacillus helveticus* TY1-2. **Carbohydrate Research**, **302**: 197-202.
210. Sasikumar, K., Vaikkath, D.K., Devendra, L., Nampoothiri, K.M., 2017. An exopolysaccharide (EPS) from *Lactobacillus plantarum* BR2 with potential benefits for making functional foods. **Bioresource Technology**, **241**: 1152-1156.
211. Alvarez-Ordóñez, A., Mouwen, D. J., López, M., & Prieto, M., 2011. Fourier transform infrared spectroscopy as a tool to characterize molecular composition and stress response in foodborne pathogenic bacteria. **Journal of microbiological methods**, **84**: 369–378.
212. Beekes, M., Lasch, P., & Naumann, D., 2007. Analytical applications of Fourier transform-infrared (FT-IR) spectroscopy in microbiology and prion research. **Veterinary microbiology**, **123**: 305–319.
213. Zhao, C., Tian, X.M., Wang, G.Y., Song, A.R., Liang, W.X., 2016. High-level production of exopolysaccharides by a cosmic radiation-induced mutant m270 of the *Maitake* medicinal mushroom, *Grifola frondosa* (Agaricomycetes). **International Journal of Medical Mushrooms**, **18**: 621-630.

214. Siddiqui, N., Aman, A., Silip, A., Ulqader,A.S., Molinaro,A., 2014, Structural analysis and characterization of dextran produced by wild and mutant strains of *Leuconostoc mesenteroides*. **Carbohydrate Polymers**, **99**: 331-338.
215. Shingel, K.I., 2002. Determination of structural peculiarities of dextran, pullulan and γ -irradiated pullulan by Fourier-transform IR spectroscopy. **Carbohydrate Research**, **337**: 1445-1451.
216. Fernandez-Garcia, E., McGregor, J.U., 1994. Determination of organic acids during the fermentation and cold storages of yogurt. **Journal of Dairy Science**, **11**: 2934-2939.
217. Güzel-Seydim, Z.B., Seydim, A.C., and Grene, A.K., 2000. Organic acids and volatile flavor components evolved during refrigerated storage of kefir. **Journal of Dairy Science**, **83**: 275-277.
218. Metin, M., 2005. Süt Teknolojisi. Sütün Bileşimi ve İşlenmesi (6. Baskı), Ege Üniv. Basımevi, 802 s., Bornova, İzmir,
219. Supplee, G.C., Belli, B., 1921. Citric acid content of milk and milk products. **Journal of Biological Chemistry**, **48**, 453-461.
220. Lampitt, L.H., Rooke, H.S., 1936, Citric acid in milk and its determination. **Analyst**, **727**, 1-10.
221. Deysher, E., Holm, G., 1942. Determination of Citric Acid in Pure Solutions and in Milk by Pentabromoacetone Method, **Industrial and Engineering Chemistry**, **14**, 4-7.
222. Kristo, E., Biliaderis, C.G., Tzanetakis, N., 2003. Modelling of rheological, microbiological and acidification properties of a fermented milk product containing a probiotic strain of *Lactobacillus paracasei*. **International Dairy Journal**, **13**: 517- 528.
223. Serra, M., Trujillo A.J., Guamis, B., Ferragut V., 2009. Flavour profiles and survival of starter cultures of yoghurt produced from high-pressure homogenized milk. **International Dairy Journal**, **19**: 100-106.
224. Chammas, G.I., Saliba, R., Corrieu, G., Beal, C., 2006. Characterization of lactic acid bacteria isolated from fermented milk “laban”. **International Journal of Food Microbiology**, **110**: 52-61.

225. Tamime, A.Y., Robinson, R.K., 1985. Yoghurt Science and Technology Pergamon Pres NewYork.
226. Özer, B. and Atasoy, F., 2002. Effect of addition of amino acids, treatment with β - galactosidase and use of heat-shocked cultures on the acetaldehyde level in yoghurt. **International Journal of Dairy Technology**, 55:166-170.
227. Lees, G.J., Jago, G.R., 1978. Role of acetaldehyde in metabolism: a review: the metabolism of acetaldehyde in cultured dairy products. **Journal of Dairy Science**, 61: 1216-1224.
228. Tormo, M. and Izco, J.M., 2004. Alternative reversed-phase high performance liquid chromatography method to analyse organic acids in dairy products. **Journal of Chromatography A**, 1033: 305-310.
229. Donkor, O.N., Nilmini, S.L.I., Stolic, P., Vasiljevic, T. and Shah, N.P., 2007. Survival and activity of selected probiotic organisms in set-type yoghurt during cold storage. **International Dairy Journal**, 15: 657-665.
230. Alm, L., 1982. Effect of fermentation on volatile acids and ethanol in swedish dairy products. **Journal of Dairy Science**, 65: 186-190.
231. Tamime, A.Y., Deeth H.C., 1980. Yogurt: technology and biochemistry. **Journal of Food Protection**, 43: 939-977.
232. Torre, L.L., Tamime, A.Y. and Muir, D.D., 2003. Rheology and sensory profiling of set-type fermented milks made with different commercial probiotic and yoghurt starter cultures. **International Journal of Food Science and Technology**, 56: 163-170.
233. Dimitrov, D., Simov, Z., Dimitrov, Z., Ospanov, A., 2015. Improving of the microbiological and proteolytic profile of Kashkaval cheese by modification in heart treatments of cow's milk and cedared curd. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science**, 4: 546-549.
234. Yang, M.H. and Choong, Y.M., 2001. A rapid gas chromatographic method for direct determination of short-chain (C_2 – C_{12}) volatile organic acids in foods. **Food Chemistry**, 75: 101-108.
235. Gaafar, A.M., 1992. Volatile flavor compounds of yoghurt. **International Journal of Food Science and Technology**, 27: 87-91.

236. De Groof, V., Coma, M., Arnot, T., Leak, D., Lanham, A.B., 2019. Medium chain carboxylic acids from complex organic feedstocks by mixed culture fermentation. **Molecules**, **24**: 1-39.
237. Chaves, A.C.S.D., Fernandez, M., Lerayer, A.L.S., Mierau, I., Kleerebezem, M.; Hugenholtz, J., 2002. Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. **Applied and Environmental Microbiology**, **68**: 5656-5662.
238. Sandine, W.E., Elikler, P., 1970. Microbially induced and fermented foods flavor in fermented dairy products. **Journal of Agriculture Food Chemistry**, **18**: 557-562.
239. Camu, N., Winter, T., Verbrugghe, K., Cleenwerck, I., Vandemme, P., Takramai J.S., Vancanneyt, M., Vuyst, L., 2007. Dynamics and Biodiversity of Populations of Lactic Acid Bacteria and Acetic Acid Bacteria Involved in Spontaneous Heap Fermentation of Cocoa Beans in Ghana. **Applied and Enviromental Microbiology**, **73**: 1809-1824.
240. Wu, J. J., Ma, Y. K., Zhang, F. F., Chen, F. S., 2012. Biodiversity of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in the fermentation of "Shanxi aged vinegar", a traditional Chinese vinegar. **Food microbiology**, **30**: 289-297.
241. Ott, A., Hugi, A., Baumgartner, M., Chaintreau, A., 2000. Sensory investigation of yogurt flavor perception: mutual influence of volatiles and acidity. **Journal of Agriculture Food Chemistry**, **48**: 441-445.
242. Mende, S., Peter, M., Bartels, K., Rohm, H., Jaros, D., 2013. Addition of purified exopolysaccharide isolates from *S. thermophilus* to milk and their impact on the rheology of acid gels. **Food Hydrocolloids**, **32**: 178-185.

EKLER

EK 1. Duyusal analiz panelist formu

Panelistin Adı Soyadı:										
Panel Tarihi:					Örnek Kodu:					
Duyusal Özellikler	Değerlendirme									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Renk										
Koku										
Görünüş										
Tat-Aroma										
Yapı-Kıvam										
Genel Beğeni										
Puanlama	Çok iyi :10, Oldukça iyi :9, İyi :8, Biraz İyi :7, Yorumsuz :6, Biraz kötü :5, Kötü :4, Oldukça Kötü :3, Çok kötü :2, Kabul edilemez :1									

Şekil 2.6. Üretilen ayran örnekleri için hazırlanan duyuşal analiz panelist formu

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Şeyda Merve KARATAŞ
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 12.04.1987-İSPARTA
Medeni Durum: Evli
e-mail: seyda.merve@gmail.coö
Yazışma Adresi: Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü 29000 GÜMÜŞHANE

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Gıda Mühendisliği ABD	2012
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Gıda Mühendisliği	2010
Lise	Kocasinan Anadolu Lisesi, KAYSERİ	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2012-Halen	Gümüşhane Üniversitesi	7 yıl
2010-2012	Kaşıklı Manti Restaurant	2 yıl

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Hendek Ertop Müge, **Karataş Seyda Merve**, Yılmaz Fırat, Baltacı Cemalettin, Gündoğdu Ali (2018). Quality Properties of Wheat Breads Incorporated with Dried Sourdoughs Produced with Different Fermentation and Drying Methods. Food Science and Technology Research, 24(6), 971-980., Doi: 10.3136/fstr.24.971
2. Kavuncuoğlu Hatice, Kavuncuoğlu Erhan, **Karataş Seyda Merve**, Benli Büşra, Sağdıç Osman, Yalçın Hasan (2018). Prediction of the antimicrobial activity of walnut (Juglans regia L.) kernel aqueous extracts using artificial neural network and multiple linear regression. Journal Of Microbiological Methods, 148(5), 78-86., Doi: 10.1016/j.mimet.2018.04.003

3. Arslan Burnaz Nesibe, Hendek Ertop Müge, **Karataş Seyda Merve** (2018). Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanımı ile Ekmeğin Fenolik Madde İçeriğinin Zenginleştirilmesi. Gıda, 43(2), 240-249., Doi: 10.15237/ gida.GD17098
4. Kaya Afşin Ahmet, Üçüncü Osman, **Karataş Seyda Merve**, Baltacı Cemalettin, Öztürk Sinan (2017). The Chemical Composition and Bioactive Properties of The Essential Oil of *Rhinanthus angustifolius* subsp. *grandiflorus*. Bulgarian Chemical Communications, 49(4), 923-927.
5. Üçüncü Osman, Baltacı Cemalettin, **İlter Seyda Merve** (2016). Gladiolus italicus Miller Bitkisinin Uçucu Yağının Kimyasal Kompozisyonu ve Biyoaktif Özellikleri. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 150, Doi: 10.17714/gufbed.2016.06.014
6. Üçüncü Osman, Baltacı Cemalettin, **İlter Seyda Merve** (2016). Chemical Composition Antimicrobial and Antioxidant Activities of Essential Oil from *Pedicularis condensata* BIEB. Hittite Journal of Science and Engineering, 3(2), 105-109., Doi: 10.17350/HJSE19030000039
7. Uyar İhsan Sami, Ozdemir Ugur, **İlter Seyda Merve**, Akyıldız Muhittin, Sıvrıköz Oya Nermin (2016). The Effect of Soybean Extracts on Serum Lipid Profile and the Accumulation of Free Cholesterol and Cholesteryl Ester in the Aorta Carotid Artery and Iliac Artery Experimental Study. Journal of Food Processing & Technology, 7(9), Doi: 10.4172/2157-7110.1000616