

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELENEKSEL YOĞURT İZOLATI *LACTOBACILLUS*
DELBRUECKII SUBSP.*BULGARICUS* VE
STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS SUŞLARININ GABA
ÜRETİM YETENEKLERİNİN BELİRLENMESİ VE
FONKSİYONEL YOĞURT ÜRETİMİ

Göktürk ERİKLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. Enes DERTLİ

Şubat, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GELENEKSEL YOĞURT İZOLATI *LACTOBACILLUS*
DELBRUECKII SUBSP.*BULGARICUS* VE *STREPTOCOCCUS*
THERMOPHILUS SUŞLARININ GABA ÜRETİM
YETENEKLERİNİN BELİRLENMESİ VE FONKSİYONEL
YOĞURT ÜRETİMİ**

Göktürk ERİKLİ tarafından hazırlanan tez çalışması 28.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Enes DERTLİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Enes DERTLİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Salih KARASU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hamza GÖKTAŞ, Üye
İstinye Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Enes DERTLİ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Geleneksel Yoğurt İzolatı *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* Suşlarının Gaba Üretim Yeteneklerinin Belirlenmesi ve Fonksiyonel Yoğurt Üretimi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Göktürk ERİKLİ

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında yanımda olup bana yol gösteren, karşılaştığım zorlukları aşmamda her zaman yanımda olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Enes DERTLİ'ye saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarımın her aşamasında desteklerini benden esirgemeyen ve bilgi birikimlerini benimle paylaşan Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü araştırma görevlileri Selma KAYACAN ve Kader KORKMAZ'a,

Çeşitli analizlerin yapımında bana desteklerini sunan Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK'a ve Bayburt Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Hümeyra İSPİRLİ'ye

Yüksek lisans sürecimde küçük veya büyük yardımları dokunan ve üzerimde emeği olan tüm Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Sayelerinde bu günlere geldiğim, hayatta verdiğim her kararda arkamda duran sevgili aile fertlerim; babam Ayhan ERİKLİ'ye annem Filiz ERİKLİ'ye kardeşim Gökberk ERİKLİ'ye ve İstanbul'da geçirdiğim süre boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini sunan halam Aynur ERİKLİ REZAEI'ye eniştem Reza REZAEI'ye ve kuzenim Emir REZAEI'ye teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Göktürk ERİKLİ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.1.1 Yoğurt Tanımı ve Tarihçesi	1
1.1.2 Yoğurt Starter Kültürleri	2
1.1.3 Geleneksel Yoğurt Starter Kültürlerinin Simbiyotik Yaşamı	4
1.1.4 Yoğurt Üretimi	5
1.1.5 Yoğurdun Pıhtılaşma Mekanizması	7
1.1.6 Probiyotik Kavramı ve Etki Mekanizmaları	7
1.1.7 Psikobiyotik Kavramı	10
1.1.8 GABA ve Sağlık Üzerindeki Etkileri	11
1.2 Tezin Amacı	11
1.3 Hipotez	12
2 MATERYAL VE METOD	13
2.1 DNA Ekstraksiyonu ve Glutamik Asit Dekarboksilaz (<i>gad</i>) Gen Bölgesinin Belirlenmesi	13
2.2 Bakteri Kültürlerinin Geliştirilmesi	14
2.2.1 Suşların GABA üretim kapasitesinin ölçülmesi için kültürlerin geliştirilmesi	14
2.2.2 Yoğurt yapımı için kültürlerin hazırlanması	14
2.3 Suşların GABA Üretim Miktarlarının HPLC Analizi ile Belirlenmesi	14
2.4 Yoğurt Üretimi	15
2.5 Mikrobiyolojik Analiz	15
2.6 pH ve TTA	16
2.7 Sinerezis	17
2.8 Su Tutma Kapasitesi	17
2.9 Renk Analizi	17

2.10	Tekstür Analizi.....	17
2.11	Reoloji Analizi	17
2.12	Yoğurtların İçerdiği GABA Miktarının HPLC ile Belirlenmesi	18
2.13	Duyusal Değerlendirme	19
2.14	İstatistiksel Analiz.....	19
3	BULGULAR VE TARTIŞMA	20
3.1	Canlı Hücre Sayımı	20
3.2	pH ve Titrasyon Asitliği.....	21
3.3	Sinerezis	23
3.4	Su Tutma Kapasitesi	25
3.5	Renk Ölçümü	27
3.6	Tekstür Analizi.....	28
3.7	Reoloji Analizi	30
3.7.1	Dinamik reolojik özellikler.....	31
3.8	GABA Miktarı	33
3.9	Yoğurtların Duyusal Analizi.....	35
4	SONUÇ VE ÖNERİLER	36
	KAYNAKÇA	38
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	46

SİMGE LİSTESİ

pH	Asitlik veya Bazlık Derecesini Gösteren Ölçü Birimi
rpm	Dakikada devir sayısı
g	Gram
a*	Kırmızılık
L	Litre
Log	Logaritma
μ L	Mikrolitre
mg	Miligram
mL	Mililitre
mM	Milimolar
L*	Parlaklık
h	Saat
$^{\circ}$ C	Santigrat Derece
b*	Sarılık
OD	Optik yoğunluk
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

dk	Dakika
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
FTS	Fizyolojik Tuzlu Su
g	Gram
GABA	Gamma-amino bütirik asit
gad	Glutamatik asit dekarboksilaz
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
kob	Koloni oluşturan birim
LAB	Laktik Asit Bakterileri
M	Molar
MRS	De Man Rogosa Sharpe
MSG	Monosodyum glutamat
NaOH	Sodyum Hidroksit
PCR	Polimeraz Zincir Reaksiyonu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 <i>L. delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i> MRS 45-Y suşunun ışık mikroskobu altındaki görüntüsü.....	3
Şekil 1.2 <i>S. thermophilus</i> TD 1-4 suşunun ışık mikroskobu altındaki görüntüsü ...	4
Şekil 1.3 Yoğurt Üretim Şeması.....	6
Şekil 2.1 Mikrobiyolojik analizlerde kullanılan petrilerin görselleri	16
Şekil 2.2 HPLC analizi için türevlendirilmiş yoğurt örnekleri ve GABA standartları	19
Şekil 3.1 Yoğurt örneklerinin zamana bağlı pH değişimleri	22
Şekil 3.2 Yoğurt örneklerinin zamana bağlı TTA değişimleri	23
Şekil 3.3 Yoğurtların zamana bağlı sinerezis değişimi	24
Şekil 3.4 Yoğurtların zamana bağlı olarak su tutma kapasitesindeki değişim	26
Şekil 3.5 Yoğurt örneklerinin farklı günlerde depolamalarına ait kayma hızı- kayma gerilimi grafikleri	31
Şekil 3.6 Yoğurt örneklerinin farklı günlerde depolanmalarına ait frekans-depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') grafiği	32
Şekil 3.7 Yoğurtların depolama süresi boyunca GABA içeriklerindeki değişim..	34
Şekil 3.8 Yoğurtlara yapılan duyu analizi sonuçları	35

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Modifiye MRS İçeriği.....	16
Tablo 3.1 Canlı hücre miktarının depolama süresi boyunca değişimi (cfu /g)	20
Tablo 3.2 Yoğurtların pH ve titrasyon asitliği değişimi	21
Tablo 3.3 Yoğurtların zamana bağlı sinerezis değişimi.....	24
Tablo 3.4 Yoğurtların zamana bağlı su tutma kapasitesi değişimi	25
Tablo 3.5 Yoğurt örneklerinin depolama süresindeki renk parametreleri	27
Tablo 3.6 Yoğurtların depolama süresi boyunca tekstürel özelliklerindeki değişim	29
Tablo 3.7 Yoğurt örneklerinin dinamik reolojik davranışları	33
Tablo 3.8 Yoğurt örneklerinin depolama süresi boyunca GABA içeriklerindeki değişim	34

Geleneksel Yoğurt İzolatı *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* Suşlarının GABA Üretim Yeteneklerinin Belirlenmesi ve Fonksiyonel Yoğurt Üretimi

Göktürk ERİKLİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Enes DERTLİ

Bu tez çalışmasında, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde üretilen geleneksel süt ürünlerinden elde edilen 20 laktik asit bakterisi (LAB) gama-aminobütirik asit (GABA) üretimi açısından taranmıştır. İlk olarak LAB izolatlarının glutamat dekarboksilaz (GAD) aktivitesi değerlendirilmiş ve GAD aktivitesi gösteren izolatlar arasından yüksek GABA üretim kapasitesine sahip izolatları belirlemek için HPLC analizi yapılmıştır. Yüksek GABA üretim kapasitesine sahip *Streptococcus thermophilus* TD 1-4 ve onunla simbiyotik olarak çalışabilen *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus* MRS 45-Y yoğurt üretiminde starter kültür olarak kullanılmıştır. Monosodyum glutamat (MSG) eklenmiş ve eklenmemiş süt ile fermente edilen yoğurtlar GABA, canlı hücre, pH, titrasyon asitliği, su tutma, sinerezis, renk, tekstür, reoloji ve duyu özellikleri açısından analiz edilmiştir. Depolamanın 1, 7, 14 ve 28. günlerinde yapılan analizlerde en yüksek GABA içeriği ortalama 1.19 ± 0.21 mg/mL ile 14. günde ölçülmüştür.

Yapılan canlı hücre sayımlarında yoğurtlardaki toplam canlı hücre sayısının 28 günlük depolama süresi boyunca 10^6 kob/mL'nin üzerinde kaldığı gözlemlenmiştir. GABA içerikli yoğurtların 28 günlük depolama süresi boyunca pH'ları 4.34 - 4.15 aralığı ile kontrol grubu yoğurtların üzerinde kalmıştır. Yapılan titrasyon asitliği analizinde GABA içerikli yoğurtların % laktik asit miktarı 1.50 ± 0.02 ile 1.54 ± 0.02 arasında, kontrol grubu yoğurtların ise 1.55 ± 0.01 ile 1.65 ± 0.01 arasında ölçülmüştür. Sinerezis, su tutma, renk, tekstür ve reolojik analiz sonuçlarına göre kıyaslama yapıldığında ise GABA içerikli yoğurtların kontrol grubuna göre daha üstün olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yoğurt, GABA, Probiyotik, Psikobiyotik

Determination Of GABA Production Ability Of Traditional Yogurt Isolate *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* And *Streptococcus thermophilus* Strains And Functional Yogurt Production

Göktürk ERİKLİ

Department of Food Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Enes DERTLİ

In this study, 20 lactic acid bacteria (LAB) obtained from traditional dairy products of Turkey were screened for gamma-aminobutyric acid (GABA) production. Firstly, the glutamate decarboxylase (GAD) activity of the LAB isolates was evaluated and HPLC analysis was performed to determine the isolates with high GABA production capacity among the isolates showing GAD activity. *Streptococcus thermophilus* TD 1-4 with high GABA production capacity and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* MRS 45Y which can work symbiotically with it were used as starter cultures in yogurt production. The yogurts fermented with milk with and without the addition of monosodium glutamate (MSG) were analyzed for GABA, live cells, pH, water retention, syneresis, color, texture, rheology and sensory properties. The highest GABA content was measured on day 14 with an average of 1.19 ± 0.21 mg/mL on days 1, 7, 14 and 28 of storage. Live cell counts showed that the total number of live cells in the yogurts remained above 10^6 cfu/mL throughout the 28 day storage period. The pH of GABA containing yogurts remained above the control group yogurts with a range of 4.34 - 4.15 during the 28 day storage period. In the titration acidity analysis, the % lactic

acid content of GABA containing yogurts was measured between 1.50 ± 0.02 and 1.54 ± 0.02 , while the control group yogurts were measured between 1.55 ± 0.01 and 1.65 ± 0.01 . When the results of syneresis, water holding capacity, color, texture and rheological analysis were compared, it was observed that GABA containing yogurts were superior to the control group.

Keywords: GABA, Yogurt, Probiotic, Psychobiotic



1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Yoğurt Tanımı ve Tarihçesi

Yüzyıllardır geleneksel olarak üretilen fermente bir süt ürünü olan yoğurt, Türk Gıda Kodeksinde “Fermentasyonda spesifik starter kültür olarak *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un birlikte kullanıldığı, inkübasyon sonrasında pıhtısı karıştırılarak kırılmamış (set) ya da kırılmış (stirred) formda elde edilen ve son tüketim tarihinde yeterli sayıda, canlı ve aktif starter bakteri bulunduran fermente süt ürünü” olarak, tanımlanmıştır (Anon, 2022).

Yoğurdun ilk olarak nerede, ne zaman ve hangi yöntem ile üretildiği henüz kesin olarak bilinmemekte ancak tüketiminin çok eski zamanlara uzandığı düşünülmektedir (Tamime & Robinson, 2007). Bu bilinmezlik sebebiyle yoğurdun ilk defa üretimi ile ilgili birçok rivayet oluşmuştur, bunlardan en bilineni sütün taşıma ve depolama sırasında fermentasyonu gerçekleştirebilme yeteneğine sahip mikroorganizmalarla bir şekilde bir araya geldiği ve sıcak iklimin de etkisiyle yoğurdun tesadüfen oluştuğu yönündedir (Özden, 2008).

Birçok farklı millet yoğurdu ilk üretenlerin kendileri olduğunu öne sürse de; Yusuf Has Hacıp'in Kutadgu Bilig ve Kaşgarlı Mahmut'un Divan-ı Lugat-ı Türk isimli eserlerinde günümüzde kullandığımız “yoğurt” kelimesinin geçtiği bilinmektedir (Özer, 2006; Yöney, 1959).

Yapılan araştırmalarda Türkiye nüfusunun %93,36'sının yoğurt tükettiği gösterilmiştir. Kahvaltılardan ana yemeklere kadar Türk mutfağında yoğun olarak kullanılan yoğurdun ülkemizdeki yıllık kişi başı ortalama tüketimi ise 32,84 kg'dır (Engindeniz et al., 2021).

Yoğurt içeriğindeki protein, kalsiyum, fosfor, magnezyum, çinko, folik asit, B1, B2 ve B12 vitaminleri ile yüksek besin değerine sahip, günlük diyet içinde tüketimi tavsiye edilen bir gıdadır. Süt ile mukayese edildiğinde içeriğindeki proteinler

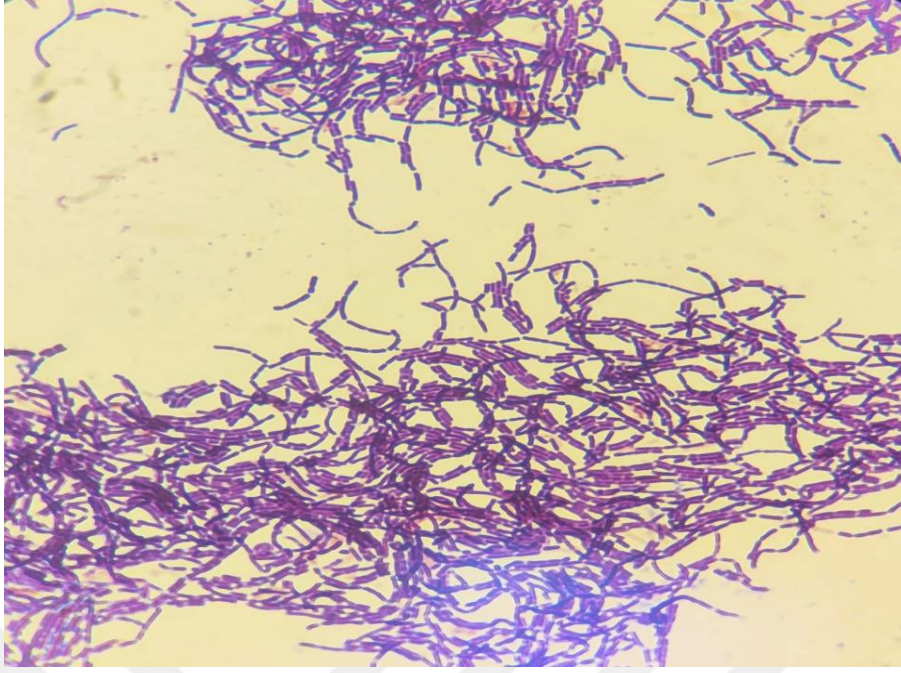
yüksek biyolojik değere, içerdiği vitamin ve mineraller ise yüksek biyoyararlılığa sahiptir (Mckinley, 2005).

Bunun dışında yoğurt sadece yüksek besin değeri ile değil aynı zamanda içerdiği probiyotik bakterilerin sağlık üzerindeki olumlu etkileri sebebiyle de tüketiciler tarafından ilgi görmektedir (Aryana & Olson, 2017). Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) probiyotik mikroorganizmaları yeterli düzeyde tüketildiğinde tüketenin sağlığı üzerinde faydalı etkiler gösterebilen mikroorganizmalar olarak tanımlamaktadır (Morelli & Capurso, 2012).

1.1.2 Yoğurt Starter Kültürleri

1.1.2.1 *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

Güncel gruplandırmaya göre *L. delbrueckii*'nin bir alt türü olan ve maltozu kullanamaması ile *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *lactis*'ten ayrılan *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* gram (+), katalaz (-), fakültatif anaerob, sporsuz, hareketsiz, tekli, ikili veya zincir formunda bulunabilen termofilik bir basildir (Özer, 2006). Zorunlu homofermentatif bir laktik asit bakterisi olan *L. bulgaricus*, optimum gelişimini pH 5.2-5.5 aralığında göstermektedir. Bu sebeple sayısal yoğunluğu fermentasyonun ileri aşamalarında artışa geçer. Laktozun yanında glikoz ve fruktozu da metabolize edebilen *L. bulgaricus* nadiren galaktoz ve mannozu da metabolize edebilmektedir (Axelsson, 2004). *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* D(-) laktik asit üretmektedir (Robinson, 2014). Bunun yanında fermantasyon sürecinde karbonil bileşikleri ve uçucu yağ asitleri ile düşük düzeyde etil alkol üretimi de gerçekleştirebilmektedir. Bu türün optimum gelişim sıcaklığı 42-45 °C arasındadır, <10 °C'de ise yavaş gelişim gösterebilmektedir. Diğer laktobasillerle karşılaştırıldığında DNA'sında (%49-51) ile atipik bir % G + C oranına sahiptir (Felis & Dellaglio, 2007; Göncü, 1994; Özer, 2006; Van De Guchte et al., 2006). *L. bulgaricus*'un proteolitik aktivitesi *S. thermophilus*'a göre daha fazladır ve *S. thermophilus*'un ihtiyaç duyduğu esansiyel aminoasitleri üretebilme yeteneğine sahiptir (Rajagopal & Sandine, 1990).



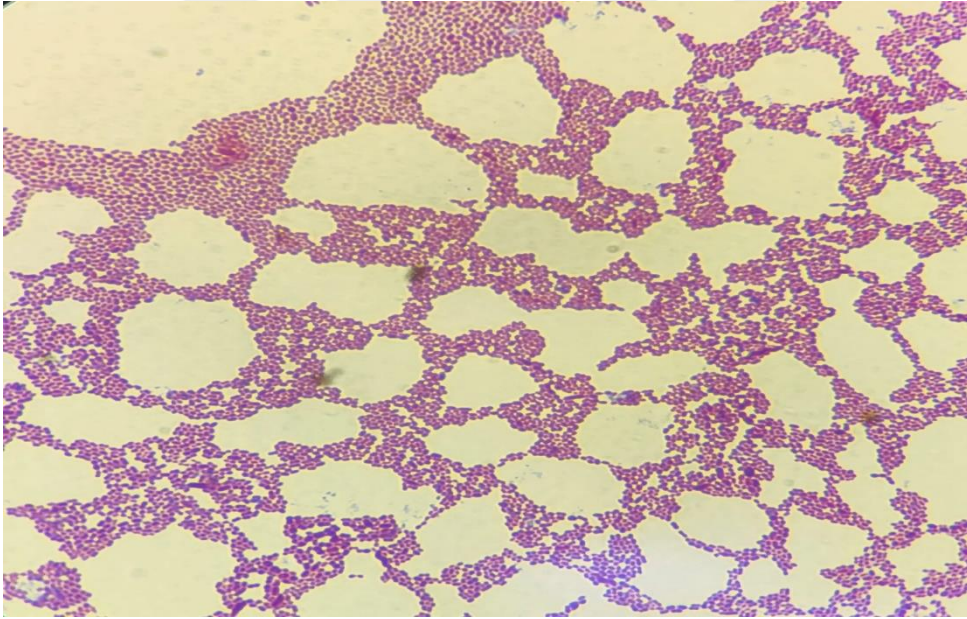
Şekil 1.1 *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* MRS 45-Y suşunun ışık mikroskobu altındaki görüntüsü

1.1.2.2 *Streptococcus thermophilus*

Moleküler çalışmalar sonucunda fenotipik ve genotipik farklılıkları belirlenmeden önce, uzun yıllar *S. salivarius* ssp. *thermophilus* olarak isimlendirilen bu bakteri gram (+), katalaz (-), sporsuz, hareketsiz, termofilik bir koktur (Goh et al., 2011; Özer, 2006). Bazı suşları 60 °C'de 30 dakikalık ısıtma direnç gösterebilen *S. thermophilus*'un optimum gelişim sıcaklığı 40-45 °C ve optimum pH'sı 6.0-6.5'tir. *S. thermophilus* düşük pH koşullarına karşı nispeten duyarlıdır (Nielsen et al., 2009). Fakültatif anaerob bir bakteri olan *S. thermophilus*, sitokrom, oksidaz ve katalaz enzimlerine sahip değildir. *S. thermophilus*'un Guanin+Sitozin içeriği %37.2 ile 40.3 arasında değişmektedir. *S. thermophilus*'un proteolitik aktivitesi düşüktür ve suşlar gelişimleri için ihtiyaç duydukları aminoasitleri dışarıdan elde etmek durumundadır (Ozer & Akdemir-Evrendilek, 2014; Zourari et al., 1992). Monosakkaritlerin fermentasyonu üzerindeki etkinliği oldukça düşük olan *S. thermophilus* laktoz ve sakkarozu fermente edebilir (Sinha, 1991). *S. thermophilus* laktozu fermente ederek laktik asit, asetaldehit ve diasetil oluşturur, genellikle L(+) laktik asit üretmektedir (Uduwerella, 2017).

S. thermophilus türünü diğer streptokok türlerinden ayıran en büyük genetik fark *S. thermophilus*'un hücre adezyonu yeteneğini neredeyse tamamen kaybetmiş olmasıdır, bu özellik patojenik streptokokların hepsinde mevcuttur.

S. thermophilus'lar patojen streptokoklar ile fenotipik ve genotipik olarak yakın özelliklere sahip olmasına karşın, patojen olarak tanımlanmamaktadır. Patojenik streptokokların virulens özelliklerini taşıyan gen bölgeleri *S. thermophilus*'ta ya hiç bulunmamakta veya psödogen olarak bulunmaktadır (Bolotin et al., 2004). Bu sebeplerden dolayı *S. thermophilus*, *Streptococcus* cinsinde gıda fermentasyonlarında kullanılan tek türdür (Fox et al., 2017). *S. thermophilus* süt üretiminde kullanılan ekipmanlarda ve çiftlik ortamlarında yaygın olarak bulunabilmektedir. *S. thermophilus* 40 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda süttten kolaylıkla izole edilebilir. Plakalı eşanjörlerin rejenerasyon ünitelerinde bulunan biyofilmler *S. thermophilus* suşlarının izolasyonu için önemli kaynaklardan biridir (Pearce & Flint, 2002).



Şekil 1.2 *S. thermophilus* TD 1-4 suşunun ışık mikroskobu altındaki görüntüsü

1.1.3 Geleneksel Yoğurt Starter Kültürlerinin Simbiyotik Yaşamı

Geleneksel yoğurt starter kültürü olan *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* ile *S. thermophilus* yoğurt üretimi sırasında simbiyotik bir ilişki içerisinde yani birbirlerinin gelişimini teşvik edecek ürünleri üreterek karşılıklı birbirlerine fayda sağlarlar, bu ilişki türü protokooperasyon olarak adlandırılmaktadır. Bu iki türün

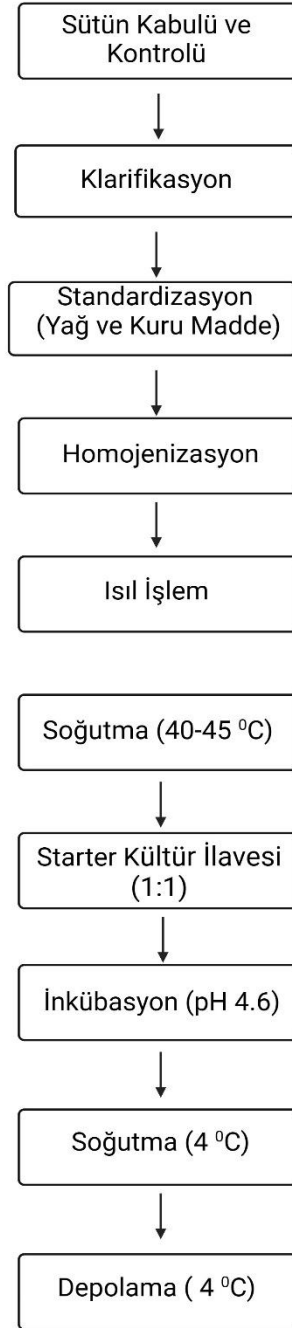
süte aşılmasından sonra ilk olarak *S.thermophilus* sütteki çözülmüş oksijen (O₂) sayesinde *L. delbrueckii ssp. bulgaricus*'a göre daha fazla aktivite göstermektedir. Gerçekleşen bu aktivite sonucunda süt içerisinde laktik asit, formik asit ve CO₂ birikmeye başlar. Fermentasyonun ilk aşamalarında oluşan bu maddeler *L. delbrueckii ssp. bulgaricus*'a daha iyi gelişebileceği bir ortam sunmuş olur, bu aşamada *L. delbrueckii ssp. bulgaricus* yüksek proteolitik aktivitesi ile *S.thermophilus*'un gelişimine katkıda bulunan valin, lizin, lösin, sistein ve histidin gibi aminoasitlerin üretimini gerçekleştirir. Bu iki bakteri türünün simbiyotik ilişkisi sonucu yoğurt fermentasyonu 3-6 saat içinde tamamlanmış olur (Ray & Bhunia, 2007; Roginski et al., 2003).

1.1.4 Yoğurt Üretimi

Yoğurt üretimi 20.yy'ın sonlarına kadar bilgi ve tecrübeye dayanan, standart prosedürü olmayan yollar ile yapılmıştır. Daha sonraları yoğurdun ekonomik değeri fark edilince standardize ürün üretme gerekliliği oluşmuştur ve endüstriyel ölçekte, spesifik başlangıç kültürleri ile belirli koşullar altında yoğurt üretimi başlamıştır (Sfakianakis & Tzia, 2014).

Yoğurt yapımına başlamadan önce çiğ süt birtakım işlemlerden geçirilmelidir. İlk işlem olarak klarifikasyon uygulanır somatik hücrelerin ve katı kir kalıntılarının süttten uzaklaştırılması sağlanır. Daha sonra süt 60-69 °C'ta 20-30 saniye bir ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Yapılan bu işlem sırasında somatik hücrelerin ve çeşitli enzimlerin inaktive edilmesi hedeflenmektedir. Bu ön ısıtmanın ardından süt 5 derecenin altına soğutulmakta ve standardizasyon aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada süttün yağsız katı madde ve yağ içeriği ayarlanmaktadır. Daha sonraki işlem homojenizasyon işlemidir bu aşamada yağ globülleri 2-10 µm'den 0.1- 1 µm'ye kadar küçültülür. Homojenizasyon aşaması bittikten sonra ısıtma işlemi aşamasına geçilmekte, bu aşamada süttün mikrobiyal olarak güvenli seviyeye getirilmesi hedeflenmektedir. Süttün pastörize edilebilmesi için değişik sıcaklık-süre uygulamaları yapılabilmektedir. Düşük sıcaklıkta uzun süreli pastörizasyonda süte 63-65 °C'ta 30 dakika, yüksek sıcaklıkta kısa süreli pastörizasyonda 72-75 °C'ta 10-15 saniye ısıtma işlemi uygulanmaktadır, bunun yanında 89 °C'ta 1 saniye veya 94 °C'ta 0.1 saniye gibi çeşitli pastörizasyon yöntemleri de bulunmaktadır. Ayrıca 85 °C'ta 20-30 dakika ve 95 °C'ta 5 dakika gibi çeşitli ısıtma işlem uygulamaları da kullanılabilmektedir. Isıtma işlemi aşamasından sonra süt

fermentasyon sıcaklığına kadar soğutulmakta ve süte yoğurdun başlangıç kültürleri olan *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 1:1 oranında ve hacimce %2 olacak şekilde eklenmektedir. Fermentasyon aşamasında pH düşmekte, yoğurt için istenilen pH olan 4,3-4,7 pH'a ulaşıldığında yoğurtlar soğutma aşamasına alınmakta ve fermentasyon durdurulmaktadır (Bachrouri et al., 2006; Sfakianakis & Tzia, 2014; Weerathilake et al., 2014).



Şekil 1.3 Yoğurt Üretim Şeması

1.1.5 Yoğurdun Pıhtılaşma Mekanizması

Yoğurdun fiziksel yapısının oluşum sürecinde gerçekleşen en önemli olay sütün bileşiminde bulunan kazeinin yapısındaki değişimdir. Sütün normal pH'ında kazein molekülleri sütün içerisinde aynı yüke (-) sahip olup birbirleriyle etkileşime girmemektedir. Sütün fermentasyonu sırasında pH'ın izoelektrik noktaya (4,6) ulaşmasıyla asitliğe karşı duyarlı olan kazeinlerin asidik karaktere sahip fonksiyonel gruplarının iyonize olma yetenekleri düşmekte, bu durum sonucunda kazein misellerinin yüzey potansiyelleri azalmakta ve kazeinlerin kalsiyumu bağlama kapasiteleri düşmektedir. Kazeinin kalsiyumu bağlama kapasitesinin düşmesi kalsiyumun çözünürlüğünü arttırmakta ve misel yapısında önemli görevleri olan kalsiyum ve fosfatın misellerden ayrılması ile miselleri oluşturan alt misellerin agregasyonu zayıflamaktadır. Bu durumda kazein sütün içerisindeki kolloidal durumunu kaybetmekte ve kazein miselleri asit pıhtıları oluşturmaktadır. Oluşan bu pıhtılar ise kümeleşerek yoğurdun fiziksel yapısının oluşmasına sebep olmaktadır (Palzer, 2009; Younes, 2017).

1.1.6 Probiyotik Kavramı ve Etki Mekanizmaları

Probiyotikler uygun konsantrasyonda canlı olarak tüketildiğinde konakçının sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösterebilen mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır (Agarbatı et al., 2020). En bilinen probiyotikler laktik asit bakteri türleri ve *Bifidobacterium*'lardır (de Melo Pereira et al., 2018). Ancak probiyotik aktivitenin türe değil suşa spesifik olduğu göz ardı edilmemesi gereken bir husustur (Kechagia et al., 2013).

1.1.6.1 Bağırsak Epitelinin Bariyer Fonksiyonunun İyileştirilmesi

Bağırsak epiteli mikrobiyota ile yakın etkileşim halindedir, probiyotikler çeşitli yüzey moleküllerini ve ortamda etkili olabilecek metabolitleri üreterek epitelin bariyer fonksiyonu üzerinde etkili olabilirler (Ohland & MacNaughton, 2010; Rashmi & Gayathri, 2017). Ayrıca bağırsak mukozası üzerinde de olumlu etkileri gösterilmiştir (Das et al., 2022).

1.1.6.2 Patojenlerle Rekabet

Probiyotikler sindirim sistemi içerisinde çeşitli antimikrobiyal maddeler, seçici metabolitler üreterek ve önemli besin maddelerini rekabetçi bir şekilde azaltarak patojenler üzerinde antagonistik bir etki oluşturabilirler. Bu sayede mikrobiyotanın

modülasyonunda etkili olarak konakçının sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösterebilirler. Yapılan bir çalışmada bazı *Bifidobacterium* suşlarının çeşitli *Rotavirüs*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Helicobacter pylori* ve *Listeria monocytogenes* suşlarının kolonizasyonunu inhibe ettiği gösterilmiştir (Moreno Muñoz et al., 2011). Probiyotik bakterilerin patojenler üzerindeki antagonistik etkisi ishal rahatsızlığının tedavisinde önemli bir rol oynamaktadır.

1.1.6.3 Antimikrobiyal Madde Üretimi

Probiyotik bakteriler çeşitli organik asitler ve bakteriyosinler üreterek patojenleri inhibe ederek mikrobiyotanın modülasyonunda görev alırlar. Probiyotik bakteriler tarafından oluşturulan başlıca organik asitler; asetik asit ve laktik asittir. Bu organik asitler gram negatif bakteriler üzerinde yüksek inhibitör etkiye sahiptir. Bunun yanında bazı probiyotik bakteriler tarafından üretilen bakteriyosinler de rekabette olunan patojenin hücre duvarı üzerinde etkili olup patojen üzerinde inhibe edici etki gösterirler. Bu bakteriyosinlerden en bilineni gıda endüstrisinde de yaygın olarak kullanılan *Lactococcus lactis* tarafından üretilen nisindir (Das et al., 2022; Hassan et al., 2012).

1.1.6.4 Bağışıklık Sistemi Üzerinde Olumlu Etkiler

Bağırsak epitel hücreleri probiyotiklerle en fazla etkileşime giren konakçı hücreleridir. Bu hücrelerin hücre içi veya dışında probiyotiklerle karşılaştıklarında bağışıklık sistemi üzerinde etkili sinyaller gönderdiği ve adaptif bağışıklık üzerinde etkili olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Lebeer et al., 2010).

Bunun yanında probiyotikler, immünolojik olmayan ve immünolojik yollarla bağırsak savunmasını iyileştirerek gıda alerjisi semptomlarını azaltmaya yardımcı olur (Das et al., 2022).

1.1.6.5 Laktoz İntoleransı Üzerinde Olumlu Etkiler

Coğrafyaya göre yoğunluğu değişmekle birlikte küresel çapta bir sindirim sistemi sorunu olan laktoz intoleransı; yaş ile birlikte laktaz aktivitesinin azalması, doğuştan laktaz aktivitesinin olmaması ve çeşitli hastalıklar, ameliyat, yaralanma vb. sebeplerle enzim fonksiyon kaybı olmak üzere üç şekilde ortaya çıkmaktadır (Silberman & Jin, 2019). Probiyotikler ince bağırsağın hidrolitik faaliyetini ve kolon fermentasyonunu arttırarak laktozun sindirimine yardımcı olurlar (Dhama et al., 2016). Geleneksel yoğurt izolatları *S. thermophilus* ve *L. delbureckii* subsp.

bulgaricus türlerinin de laktaz enzimi salgılayabildikleri bilinmektedir (Das et al., 2022; Saborido & Leis, 2018).

1.1.6.6 Sindirim Sistemi Rahatsızlıklarının Tedavisi

Probiyotiklerin başta inflamatuvar bağırsak hastalığı olmak üzere gastrit, mide ülserleri, ve karaciğer rahatsızlıkları üzerinde de olumlu etkilerinin olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Das et al., 2022; Yang et al., 2021).

1.1.6.7 Obezitenin Önlenmesi

Yapılan bazı çalışmalar, obez kişilerin gastrointestinal sisteminde gram negatif bakterilerin arttığını bildirmiştir (Moseti et al., 2016). Obez fareler üzerinde yapılan bir çalışmada ise bu fareler sekiz hafta boyunca probiyotikler ile beslenmiş sekiz haftanın sonunda yapılan analizlerde probiyotik kullanımının obezitenin tedavisinde olumlu etki gösterebileceği gözlemlenmiştir (Lee et al., 2006).

1.1.6.8 Kolesterol, Diyabet ve Kan Basıncı Üzerinde Olumlu Etkiler

Çeşitli *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* suşlarının bağırsaklardaki kolesterol emilimini sınırladığı ve çeşitli enzimleri bloke ederek endojen kolesterol üretimini inhibe ettiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Cani et al., 2007). Probiyotikler bu mekanizmalar ile kolesterol seviyesinin azalmasına sebep olmaktadır.

Probiyotik yoğurt ve kefir tüketiminin hipertansiyon üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada bu ürünlerin tüketiminin genel olarak, kan basıncında ve serum kolesterol değerlerinde azalmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir (Yıldırım, 2016).

345 kişiden oluşan bir grup üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada bağırsak mikrobiyotasının tip 2 diyabet üzerinde etkili olabileceğine dair önemli veriler elde edilmiştir (Qin et al., 2012).

1.1.6.9 Antikarsinojenik Etki

Probiyotiklerin başta enterik kanserler olmak üzere önleyici ve tedavi destekleyici etkilerine dair çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Probiyotikler bağırsak mikrobiyotasını modüle ederek, çeşitli kanserojen bileşikleri bağlayarak ve bağırsağın bariyer fonksiyonu ile immünomodülasyonunu iyileştirerek antikarsinojenik etkiler gösterebilirler (Sivan et al., 2015; Wan & El-Nezami, 2018).

1.1.6.10 Kısa Zincirli Yağ Asitlerinin Üretimi

Probiyotik bakteriler tarafından bağırsak mikrobiyotasında üretilen kısa zincirli yağ asitleri (KZYA) sağlık üzerinde; enerji üretimi, bağırsak sağlığının korunması, kan şekerinin düzenlenmesi ve kemik sağlığının korunması gibi önemli alanlarda etki gösterirler. Probiyotikler ayrıca bazı B grubu vitaminlerin üretiminde de görev alırlar. (LeBlanc et al., 2017; Tan et al., 2014).

1.1.6.11 Ağız Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Probiyotikler ağız boşluğunda istenmeyen mikroorganizmalarla rekabete girerek diş ve diş eti sağlığının korunmasında faydalı olabilir. Yapılan son çalışmalar probiyotiklerin ağız hastalıkları, diş çürükleri ve diş eti enfeksiyonları üzerindeki olumlu etkileri ile ağız sağlığını iyileştirici etkilerinin olabileceğini göstermektedir (Masdea et al., 2012).

1.1.6.12 Mental Sağlık Üzerine Etkileri

Konakçının mental sağlığı üzerinde etkili olabilen probiyotikler, psikobiyotik olarak adlandırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda psikobiyotiklerin davranış bozukluğu ve anksiyete üzerinde olumlu etkisinin olduğu gösterilmektedir (Luo et al., 2014). Bazı çalışmalar psikobiyotiklerin çağımızın önemli problemlerinden biri olan dikkat eksikliği ve hiperaktivite üzerinde de etkili olabileceğine işaret etmektedir (Jia et al., 2016). Ayrıca psikobiyotiklerin strese maruz kalma sonrası yaşanan hafıza bozuklukları için de etkili olabileceği gösterilmektedir (Rodrigues et al., 2012). Sağlıklı kadınlar üzerinde yapılan çalışmalar psikobiyotiklerin beyindeki bazı bölgelerin duygu iletimini ve kişinin duygu durumunu olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Tillisch et al., 2013). Günümüz toplumunda sıkça rastlanılan bir sorun olan depresyonun oluşturduğu depresif belirtilerin de psikobiyotikler sayesinde hafifletilebildiği bazı çalışmalarda gösterilmiştir (Steenbergen et al., 2015).

1.1.7 Psikobiyotik Kavramı

Psikobiyotikler, vücuda yeterli miktarda alındığında ruh sağlığı üzerinde olumlu etkileri olan bir probiyotik sınıfı olarak tanımlanmıştır (Dinan & Cryan, 2012).

Psikobiyotiklerin etki mekanizmasında en önemli faktörlerden biri de vagus siniridir, bu sinir beyin ve bağırsak arasında iki yönlü iletişim kurulmasını

sağlamaktadır (Perez-Burgos et al., 2013). Vagus sinirinin etki mekanizması hakkında fareler üzerinde yapılan bir çalışmada deney fareler iki gruba ayrılmış ve bir grup fare *Lb. rhamnosus* (JB-1) ile beslenmiştir, daha sonra yapılan testlerde *Lb. rhamnosus* (JB-1) ile beslenen farelerin yüzdürme testlerinde çok daha mücadeleci oldukları ve kortikosteron seviyelerinin düştüğü gözlenmiştir ancak deneyin devamında farelerdeki vagus siniri kesilmiş ve bu işlem sonrası iki grup arasındaki farkın ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada beyin ile bağırsak arasındaki etkileşimin vagus siniri üzerinden gerçekleştiği ve psikobiyotiklerin mental sağlık üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir (Bravo et al., 2011).

Psikobiyotikler çeşitli nörotransmitterler, kısa zincirli yağ asitleri, enteroendokrin hormonlar ve anti-inflamatuar sitokinleri üreterek veya vücutta üretimlerini teşvik ederek ruh halini iyileştirme ve stresi hafifletmede etkilidir. Bunun yanında psikobiyotikler öğrenme, sinir sistemi, hafıza ve bilişsel hastalıklar üzerinde de olumlu etkilere sahiptir. Probiyotik bakterilerin mental sağlık üzerindeki etkilerinin keşfi bakteriler ve insanlar arasındaki mevcut simbiyoz ilişkisini değiştirmeye yönelik kapsamlı bir bakış açısı oluşturmuştur. Bu yeni bakış açısına göre, bu ilişki saf bir simbiyozdan ziyade insanların etkilendiği ancak bakterilerin etkilenmediği bir ilişki türü olarak karşımıza çıkmaktadır (Sharma et al., 2021).

1.1.8 GABA ve Sağlık Üzerindeki Etkileri

1950 yılında keşfedilen gama-aminobütirik asit (GABA), glutamatın Glutamik asit dekarboksilaz (GAD) enzimi tarafından katalizlenmesiyle üretilen inhibitör bir nörotransmitterdir (Bonomi et al., 2020; Bravo et al., 2011; Möhler, 2012). Son araştırmalar, GABA'nın ruh hali uyku bozukluklarını düzenleyebileceğini ve hafıza kapasitesini artırabileceğini göstermiştir (Bagheri et al., 2019). Buna ek olarak, çalışmalar GABA'nın kan şekeri seviyelerini kontrol etmek için antidiyabetik olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Chen et al., 2016; Tian et al., 2011).

1.2 Tezin Amacı

Ekonomik gelişim, bilgiye erişimin kolaylığı ve tüketicinin bilinç düzeyinin artmasıyla birlikte fonksiyonel gıdalara olan talep günden güne artmaktadır. Benzersiz tadı, çeşitlendirilebilme kolaylığı, yüksek besin değeri ve içeriğindeki bakterilerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı yoğurt fonksiyonel gıda

alanında potansiyeli yüksek bir gıdadır. Yoğurt üretimi için sütün fermentasyonunda görev alan laktik asit bakterilerinden bazıları sadece probiyotik etkileri ile değil aynı zamanda psikobiyotik etkileri ile de dikkat çekmektedir. Bu suşlar içerdikleri glutamat dekarboksilaz enzimi sayesinde mental sağlık üzerindeki en etkili nörotransmitterlerden biri olan GABA'yı üretebilmektedir. Güncel literatürde GABA üretme yeteneğine sahip suşların bulunmasına ve bu suşların starter kültür olarak kullanılmasıyla yoğurt üretimine dair çalışmalar olsa da bu çalışmaların pek çoğunda GABA üreticisi olarak kullanılan suşlar geleneksel yoğurt izolatları *Lactobacillus. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* olmamakta GABA üretimi için kullanılan 3. tür ise yoğurdun kimyasal, fiziksel ve duyuşal özelliklerini bozabilmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden gelen süt ürünlerinden izole edilmiş *S. thermophilus* ve *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşlarının GABA üretim yetenekleri araştırılmış, yüksek GABA üretim yeteneği olan suşların bulunup sadece bu iki tür kullanılarak istenilen fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerde yoğurt üretimi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmanın hipotezi geleneksel yoğurt izolatı olan *S. thermophilus* ve *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* türlerine ait yerli suşların içerisinde yüksek GABA üretim yeteneğine sahip olanların belirlenmesi ve sadece bu iki tür kullanılarak GABA içerikli, istenilen fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklere sahip fonksiyonel yoğurt üretilmesidir.

2.1 DNA Ekstraksiyonu ve Glutamik Asit Dekarboksilaz (*gad*) Gen Bölgesinin Belirlenmesi

Stoktan (-80 °C) alınıp broth içerisinde geliştirilen suşlardan 1 mL alınmış ve numuneler 24 °C'de 8000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen numunelerden süpernatant uzaklaştırılmış ve pellet alınmıştır. Bu pellete TE (Tris EDTA) tamponundan 450 µL ilave edilmiş ve hafifçe karıştırılarak hücreler tampon içerisinde süspanse edilmiştir. Daha sonra bu karışıma 50 µL %10 luk SDS (Sodyum dodesil sülfat) ve 2.5 µL Proteinaz K ilave edilmiş ve iyice karıştırılarak 37°C'de 1 saat inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra karışıma fenol:kloroform:isoamil alkol (25:24:1) karışımından 0.5 mL ilave edilmiş ve iyice karıştırılıp oda sıcaklığında 5 dakika inkübe edilmiştir. Ardında karşım 4 dakika boyunca 8000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatant benzeri yüksek viskoziteli karışım pipet kullanılarak toplanıp yeni bir tüpe aktarılmıştır. İşlem fenol-kloroform-isoamil alkol karışımı ile bir kez daha tekrarlanıp oluşan süpernatant benzeri karışım yeniden yeni bir tüpte toplanmıştır. Daha sonra 5M'lık sodyum asetattan 50 µL karışıma ilave edilmiş ve hafifçe karıştırılmıştır. Karışıma 1 mL izopropanol eklenerek çöken DNA'nın beyaz iplikçikleri oluşana kadar hafifçe ters-düz edilerek karıştırılmıştır. Daha sonra bu içerik 10 dakika boyunca 5000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası süpernatant uzaklaştırılmış ve pellete 0,5 mL %70'lik etanol ilave edilmiştir. Bu karışım tekrar 10 dakika 5000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Karışımdan süpernatant uzaklaştırılmış ve pellete kalan etanolün uçması için içerik 5-10 dk 37 °C'de bekletilmiştir. Bu işlem sonrası elde edilen DNA'ya 100 µL distile su ilave edilerek süspanse edilmiştir.

Bu işlem sonra elde edilen DNA'larda *gad* gen bölgeleri olup olmadığı PCR yardımıyla belirlenmiştir. Suşların *gad* geninin moleküler tespiti için, *gad* geninin yüksek oranda korunan bölgelerinden tasarlanan CoreF (5'-CCTCGAGAAGCCGATCGCTTAGTTCG-3') ve CoreR (5'-TCATATTGACCGGTATAA 40 GTGATGCCC-3') primerleri kullanılmıştır.

Her PCR karışımı için; 5X PCR buffer for Taq polymerase (Promega), 2.5 mM dNTP'den (Bioline), 1.5 U Taq polymerase (Promega) ve CoreF ve CoreR primerlerinden 20 mM kullanılmıştır. PCR koşulları 1 döngü denatürasyon (95 °C, 2dk), 20 döngü denatürasyon (95 °C, 30sn), 20 döngü bağlanma (60 °C, 20sn), 20 döngü uzama (72 °C, 30sn) ve son uzama (72 °C, 5dk) şeklinde gerçekleşmiştir. PCR ürünleri %1,6 (w/v) agaroz jelde 1.5 saat boyunca 100 V'da elektroforez ile yürütülmüş bu işlem sonrasında yaklaşık 600 bp ampikon boyutunda pozitif olan şuşlar kabul edilmiştir (Alkay, 2021; Demirbaş et al., 2017).

2.2 Bakteri Kültürlerinin Geliştirilmesi

2.2.1 Suşların GABA üretim kapasitesinin ölçülmesi için kültürlerin geliştirilmesi

Suşların GABA üretim yeteneğinin ölçülmesi için 10 farklı *Streptococcus thermophilus* suşu %1 laktoz ile desteklenmiş, 2.25 mg/mL monosodyum glutamat (MSG) ilaveli M17 sıvı besiyerinde 42 °C'de 24 ve 96 saat gelişime bırakılmıştır. 10 farklı *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşu ise 2.25mg/mL MSG içeren Man Rogosa and Sharpe (MRS) sıvı besiyeri içerisinde 42 °C'de 24 ve 96 saat gelişime bırakılmıştır.

2.2.2 Yoğurt yapımı için kültürlerin hazırlanması

Yoğurt yapımında *S. thermophilus* TD 1-4 ve *L. bulgaricus* MRS 45-Y şuşları başlangıç kültürü olarak kullanılmıştır. *S. thermophilus* şuşları %1 oranında laktoz ile desteklenmiş M17 broth içerisinde, *L. bulgaricus* şuşları ise Man Rogosa and Sharpe (MRS) broth içerisinde 42 °C'de 24 saat aktifleştirilmiştir.

2.3 Suşların GABA Üretim Miktarlarının HPLC Analizi ile Belirlenmesi

2,25 mg/mL MSG ile desteklenmiş brothlar içerisinde 24 ve 96 saat geliştirilmiş şuşlar 10 dk, 5000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası süpernatanttan alınan 100 mikrolitre numune, 100 mikrolitre eriyik dansil klorür ve 800 mikrolitre pH'ı 9'a ayarlanmış 0.2 M Sodyum borat: NaOH solüsyonu ile karıştırılıp son hacmi 1000 µL olan miks hazırlanmıştır. Sonrasında bu miks ultrasonikatörde 40 °C'de 30 dk işlem görmüştür. Ultrasonikatörün ardından miksler 12.000 rpm'de 10

dk santrifüj edilmiş ve 750 µL miksin süpernatantı, 750 µL MeOH ile karıştırılıp HPLC analizinde kullanılmıştır. Türevlendirilmiş numuneler, florometrik dedektörde 293 nm ve 492 nm dalga boyuna sahip yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC-RID, Shimadzu) cihazında analiz edilmiştir. Sistemdeki ayırıştırma 25 °C'taki kolonda gerçekleştirilmiştir (GL Sciences inertsil ODS-3, 5 µm, 250 x 4.6 mm) . Mobil faz olarak pH'ı 4.1 olan Asetat solüsyonu (Çözücü A) ve asetonitril (Çözücü B) hazırlanmış ve bu çözücüler 1:1 oranında kullanılmıştır. Çözücü A'nın hazırlanmasında 6.25 mL asetik asit, 1.97 g sodyum asetat ve 200 mL asetonitril alınıp 1000 mL saf suya eklenmiştir. Akış hızı dakikada 1.0 mL olacak şekilde ayarlanmıştır. Numunelerin içerdiği GABA miktarının belirlenebilmesi için, 0.01 mg/mL, 0.1 mg/mL, 0.25 mg/mL, 0.50 mg/mL ve 1.0 mg/mL şeklinde 5 adet GABA standardı hazırlanmıştır. GABA standart grafiğinin regresyon katsayısının $R^2 = 0.99$ olmasına dikkat edilmiştir (Alkay, 2021; Tuberoso et al., 2015).

2.4 Yoğurt Üretimi

100 g/mL için 3,8(g) yağ, 6,4(g) karbonhidrat ve 4,0(g) protein içeren sütler iki gruba ayrılmış ve birinci gruba 2,25 mg/mL MSG eklenmiş ikinci grup ise kontrol grubu olmuştur, ardından 2 grup sütte 90 °C'de 15 dk ısıl işleme maruz kalmış ve 42 °C'ye kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan sütlere 10^8 olacak şekilde *S. thermophilus* TD 1-4 ve *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* MRS 45-Y suşları (1:1 oranında) eklenmiştir. İnokülasyondan sonra sütler 100 mL kavanozlarda 42 C'de 48 saat fermentasyona bırakılmıştır. 48. saatte sütler 4 °C'de soğumaya alınmıştır ve 28 gün boyunca 4 °C'de depolanmıştır.

Depolanan yoğurtlara 1,7,14 ve 28. günlerde Canlı hücre, pH ve TTA, GABA miktarı, su tutma kapasitesi, sinerezis, tekstür, reometre, renk ölçümü ve duyu analizler yapılmıştır.

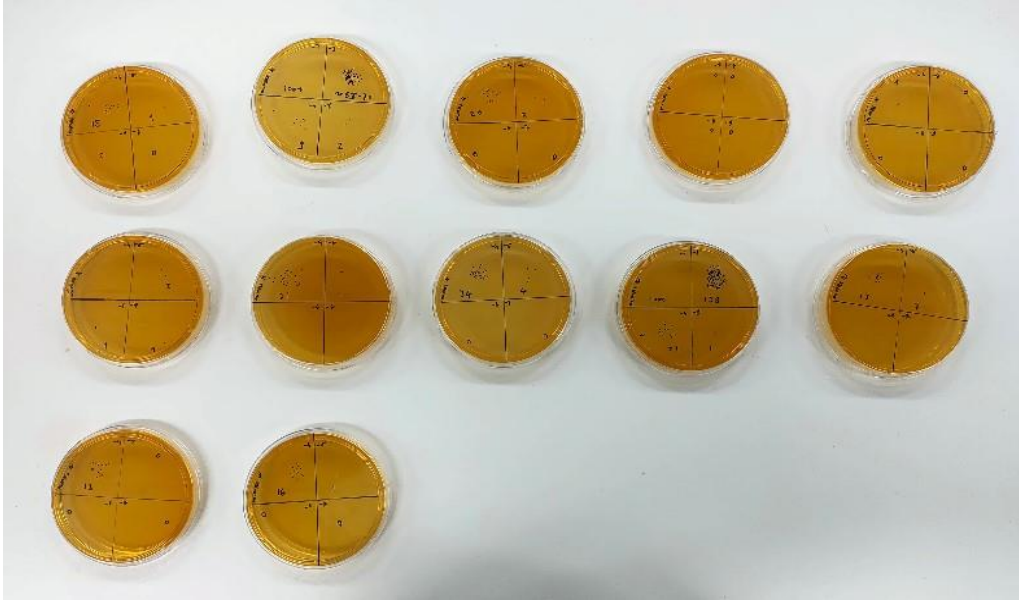
2.5 Mikrobiyolojik Analiz

Canlı hücre sayımında *S. thermophilus* suşları için %1 laktöz ilaveli M17 besiyeri, *L. bulgaricus* suşları içinse Modifiye MRS besiyeri kullanılmıştır. MMRS besiyeri aşağıdaki tabloda gösterildiği şekilde hazırlanmıştır.

Tablo 2.1 Modifiye MRS İçeriği

Modifiye MRS Agar Bileşimi (g/L)	
Fruktoz	10
Kazein Pepton	8
Tween 80	2
L-Sistein	0,7
Agar Agar	15
MRS Broth	52,2

Besiyerlerine ekim yapıldıktan sonra iki bakteri türü de anaerobik şartlarda 42 °C’de 48 saat inkübe edilmiştir.



Şekil 2.1 Mikrobiyolojik analizlerde kullanılan petrilerin görselleri

2.6 pH ve TTA

Yoğurdun pH’ını ölçmek için yoğurt çırpılmış ve sıvı hale getirilmiş ardından pH ölçümü yapılmıştır. Yoğurdun titrasyon asitliğini ölçmek için 10 g yoğurt(m) tartılmış ve 10 ml distile su ile karıştırılmıştır. Bu karışıma 0,5 ml fenolftalein indikatörü eklenmiş ve kalıcı pembe renk oluşana kadar 30 saniye boyunca 0,1 N NaOH(V) ile titre edilmiştir.

Titre edilebilir asitlik “% laktik asit” olarak şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\% \text{Laktik asit} = (V \times 0,009 \times 100) / m$$

2.7 Sinerezis

"Whatman 1" filtre kâğıdı bir huniye yerleştirilmiş, üzerine 25 g yoğurt örneği (V2) tartılmış ve 2 saat boyunca 4 °C'de drenaja bırakılmıştır. Bu işlemden sonra toplanan serum (V1) ölçülmüştür.

$$\text{Sinerezisin hesaplanması: Syneresis index (\%)} = V1/V2 \times 100$$

2.8 Su Tutma Kapasitesi

Yoğurdun su tutma kapasitesini ölçmek için 5 g yoğurt örneği (W2) 6000 rpm'de 10 °C'de 30 dakika santrifüj edilmiştir. Daha sonra bu işlemde elde edilen süpernatant (W1) tartılmıştır.

$$\text{Su tutma kapasitesinin hesaplanması: WHC (\%)} = (1 - W1/W2) \times 100$$

2.9 Renk Analizi

Yoğurtların renk analizleri için Konica Minolta CR-400 kolorimetre cihazı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen veriler L*, a* ve b* şeklinde gösterilmiştir. L* parametresi koyuluk ve parlaklığı (100-beyaz) göstermektedir. a* parametresinde pozitif (+) kırmızılığı, negatif (-) yeşilliği, b* parametresinde ise pozitif (+) sarılığı negatif (-) maviliği ifade etmektedir.

2.10 Tekstür Analizi

Yoğurt örneklerinin sertlik, kıvam ve yapışkanlık değerleri, TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, UK) tekstür analiz cihazı ile analiz edilmiştir. Yoğurtların sertlik, kıvam ve yapışkanlık değerlerinin ölçülmesi için set yoğurt örneklerinin dokusal özelliklerinin ölçümü kendi kaplarında yapılmıştır. Bu amaçla 5 kg'lık bir loadcell ve 35 mm çapında silindirik bir prob kullanılmıştır. Prob numuneye 10 mm daldırılmış, 5 mm s⁻¹ hareket hızı ve 1 mm s⁻¹ test hızı kullanılmıştır, proba uygulanan kuvvet otomatik olarak kaydedilmiştir.

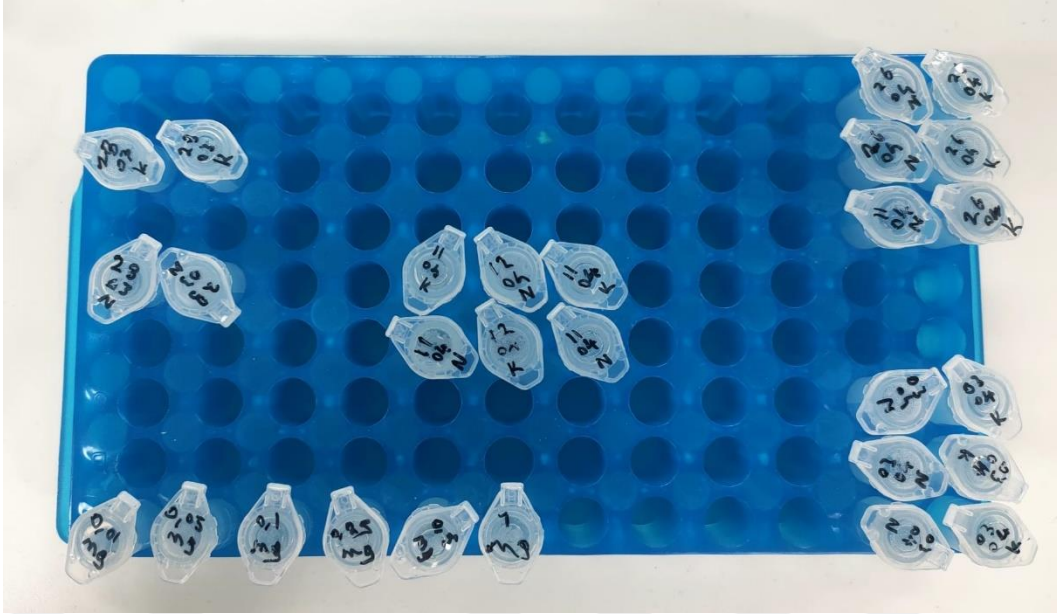
2.11 Reoloji Analizi

Yoğurt örneklerinin akış davranış reolojik özellikleri, stres ve sıcaklık kontrollü Peltier ısıtma sistemi ile bir reometre (Anton Paar, MCR 302, Avusturya) ile belirlendi. Tüm reolojik analizler 4°C'de gerçekleştirilmiştir. Numunelerin akış davranışı reolojik özellikleri, paralel plaka konfigürasyonu kullanılarak 0-100 kesme hızı (s⁻¹) aralığında belirlendi ve prob plakası arasında 2 mm'lik bir boşluk ayarlandı. Kayma hızına karşılık gelen kesme gerilimi ve görünür viskozite değerleri kaydedildi.

Depolama modülünü (G'), kayıp modülünü (G'') ve kompleks modülü (G*) belirlemek için 0,01-10 Hz'de ve %2 gerinimde frekans tarama testleri yapıldı. Jel yapısının bozulmasını önlemek için doğrusal viskoelastik (LVE) bölge içerisinde deneyler yapıldı.

2.12 Yoğurtların İçerdiği GABA Miktarının HPLC ile Belirlenmesi

Yoğurtlardan alınan numuneler 10 dk, 5000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası süpernatanttan alınan 100 mikrolitre numune, 100 mikrolitre eriyik dansil klorür ve 800 mikrolitre pH'ı 9'a ayarlanmış 0.2 M Sodyum borat: NaOH solüsyonu ile karıştırılıp son hacmi 1000 µL olan miks hazırlanmıştır. Sonrasında bu miks ultrasonikatörde 40 °C'de 30 dk işlem görmüştür. Ultrasonikatörün ardından miksler 12.000 rpm'de 10 dk santrifüj edilmiş ve 750 µL miksin süpernatantı, 750 µL MeOH ile karıştırılıp HPLC analizinde kullanılmıştır. Türevlendirilmiş numuneler, florometrik dedektörde 293 nm ve 492 nm dalga boyuna sahip yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC-RID, Shimadzu) cihazında analiz edilmiştir. Sistemdeki ayırıştırma 25 °C'teki kolonda gerçekleştirilmiştir (GL Sciences inertsil ODS-3, 5 µm, 250 x 4.6 mm). Mobil faz olarak pH'ı 4.1 olan Asetat solüsyonu (Çözücü A) ve asetonitril (Çözücü B) hazırlanmış ve bu çözücüler 1:1 oranında kullanılmıştır. Çözücü A'nın hazırlanmasında 6.25 mL asetik asit, 1.97 g sodyum asetat ve 200 mL asetonitril alınıp 1000 mL saf suya eklenmiştir. Akış hızı dakikada 1.0 mL olacak şekilde ayarlanmıştır. Numunelerin içerdiği GABA miktarının belirlenebilmesi için, 0.01 mg/mL, 0.1 mg/mL, 0.25 mg/mL, 0.50 mg/mL ve 1.0 mg/mL şeklinde 5 adet GABA standardı hazırlanmıştır. GABA standart grafiğinin regresyon katsayısının R² = 0.99 olmasına dikkat edilmiştir (Alkay, 2021; Tuberoso et al., 2015).



Şekil 2.2 HPLC analizi için türevlendirilmiş yoğurt örnekleri ve GABA standartları

2.13 Duyusal Değerlendirme

Duyusal analiz puanlama testi ile yapılmıştır. MSG eklenmiş ve GABA üretimi olmuş yoğurtlar ile kontrol grubu yoğurtlar değerlendirilmiştir. Puanlamada ürünlerin dış görünüşü, kaşıқта kıvamı, ağızda kıvamı, kokusu ve tadı değerlendirilmiş, yoğurtların çeşitli duyu özellikleri çok iyi (5), iyi (4), normal (3), kötü (2), çok kötü (1) şeklinde puanlanmıştır. Duyusal analize katılan panelistler üniversitemizde lisansüstü eğitimine devam eden öğrencilerden 10 kişi olarak belirlenmiştir. Duyusal analiz için örnekler kapalı şeffaf plastik kaplarda katılımcılara sunulmuştur.

2.14 İstatistiksel Analiz

Tüm analizler en az 3 paralel olacak şekilde çalışılmıştır. Veri setleri JMP (JMP pro14, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) programı ile tek yönlü varyans analizi ve Tukey HSD testi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Analizlerde kritik p-değeri 0,05 olarak belirlenmiştir.

3.1 Canlı Hücre Sayımı

Yoğurtların mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre 28 günlük depolama süresi boyunca süre uzadıkça iki suşun da canlılığında azalma görülmüştür. *S.thermophilus* suşları için 1. günde kontrol grubunda canlılık daha yüksek görülse de süre uzadıkça GABA içerikli yoğurtların *S.thermophilus* için hayatta kalma oranını arttırdığı görülmektedir. *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* suşları içinse ilk 7 günde GABA içerikli yoğurtların canlılığı daha iyi koruduğu düşünülse de 28 günlük depolamada GABA içerikli yoğurtların *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* suşunun canlılığının korunması için bir avantaj sağladığı gözlemlenmemiştir. 28 günlük depolama süresince yapılan mikrobiyolojik analizlerde yoğurtlarda küf, maya ve koliform bakteri gözlemlenmemiştir.

Tablo 3.1 Canlı hücre miktarının depolama süresi boyunca değişimi (cfu /g)

Depolama Süresi (Gün)	<i>L. bulgaricus</i> (log cfu/g)		<i>S. thermophilus</i> (log cfu/g)	
	Kontrol	GABA İçerikli	Kontrol	GABA İçerikli
1	7.91±0.18 ^{A,a}	7.81±0.18 ^{A,a}	6.73±0.24 ^{A,a}	6.69±0.41 ^{A,a}
7	7.42±0.04 ^{B,a}	7.53±0.25 ^{A,a}	5.42±0.04 ^{C,b}	6.19±0.16 ^{AB,a}
14	7.47±0.20 ^{B,a}	6.89±0.24 ^{B,b}	5.77±0.15 ^{B,a}	5.94±0.32 ^{B,a}
28	7.44±0.22 ^{B,a}	6.97±0.20 ^{B,b}	5.69±0.02 ^{B,b}	5.93±0.15 ^{B,a}

Aynı sütündeki farklı büyük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir (P<0,05). Aynı satırdaki farklı küçük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir (P<0,05).

Hem GABA içerikli hem de kontrol yoğurtlarındaki zamana bağlı olarak gerçekleşen, canlı hücre sayısındaki azalmanın bakterilerin gelişmesi için ortamda bulunması gereken laktoz vb. besin maddelerinin azalması, pH düşüşü ve titrasyon asitliğindeki artış sebebiyle olduğu düşünülebilir (Falah et al., 2021). *S. thermophilus* suşunun canlılığının GABA içerikli yoğurtlarda daha iyi

korunmasının sebebi ortamdaki GABA miktarının artmasının suşları asitleşme stresine karşı korunması olduğu düşünülebilir (Gu et al., 2022).

Yapılan benzer bir çalışmada *S. thermophilus* suşlarının GABA içerikli yoğurtlarda canlılığını daha uzun süre korudukları gösterilmiştir (Linares et al., 2016).

Sonuçlarımızda zamana bağlı olarak canlı hücre sayısında genel bir azalma gözlenmiştir, bu yönü ile literatürdeki diğer çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiştir.

3.2 pH ve Titrasyon Asitliği

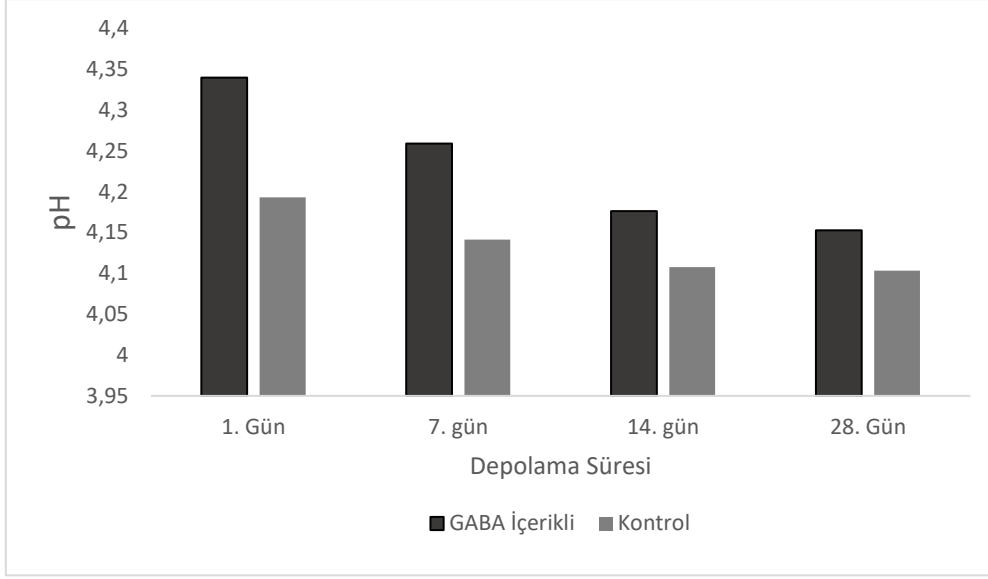
Yoğurt üretimindeki en önemli faktörlerden biri pH ve titrasyon asitliğidir. Ürünün depolanması süresince pH'nın azalması ürün içeriğindeki bakterilerin asit üretiminin artmasından kaynaklanmakta ve üretilen asitlerin büyük kısmını laktik asit oluşturmaktadır. Bu asidin miktarının istenilenden fazla olması hem ürün için olumsuz koşullar oluşturmakta hem de tüketiciyi olumsuz etkileyecek duyuşsal özellikler oluşturmaktadır (Soni et al., 2020).

Tablo 3.2 Yoğurtların pH ve titrasyon asitliği değışimi

Depolama Süresi (Gün)	pH		Titrasyon Asitliği	
	GABA	Kontrol	GABA	Kontrol
1	4.34±0.00 ^{Aa}	4.19±0.00 ^{Ab}	1.50±0.02 ^{Ab}	1.55±0.01 ^{Ca}
7	4.26±0.02 ^{Ba}	4.14±0.00 ^{Bb}	1.52±0.01 ^{Ab}	1.58±0.01 ^{Ba}
14	4.18±0.03 ^{Ca}	4.11±0.00 ^{Cb}	1.53±0.01 ^{Ab}	1.60±0.01 ^{Ba}
28	4.15±0.03 ^{Ca}	4.10±0.01 ^{Ca}	1.54±0.02 ^{Ab}	1.65±0.01 ^{Aa}

Aynı sütündeki farklı büyük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir (P<0,05). Aynı satırdaki farklı küçük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir (P<0,05).

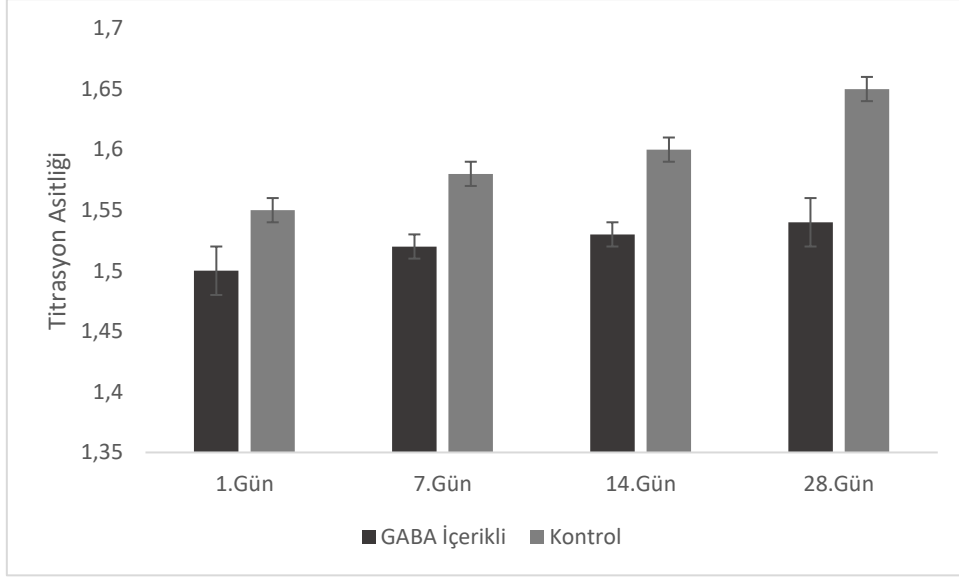
Şekil 3.1'de görüldüğü gibi GABA içerikli yoğurtların pH'ı kontrol grubuna göre daha yüksek ölçülmüştür. 1. günde GABA'lı yoğurtların pH'ı 4,34 kontrol grubunun ise 4,19'dur. Ancak depolama süresi boyunca GABA içerikli yoğurtların pH'ı kontrol grubuna göre çok daha hızlı azalmış 28. günde 4,15'e düşmüştür buna karşın kontrol grubunun pH'ı 28. günde 4,10 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.1 Yoğurt örneklerinin zamana bağlı pH değişimleri

Literatürde *S. thermophilus* ve *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* suşlarının çeşitli oranlarda (1:1, 2:1, 10:1, 19:1, 50:1 ve 100:1) inoküle edilmesiyle üretilmiş yoğurtlarda gerçekleşen asitleşme hızının ölçüldüğü bir çalışmada, en hızlı pH düşüşünün *S. thermophilus* ve *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* suşlarının 1:1 oranında eklenmesi ile üretilen yoğurtta olduğu gözlemlenmiş, buna karşın en geç asitlenmenin ise *S. thermophilus* ve *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* suşlarının sırasıyla 100:1 oranında eklenmesi ile oluşturulan yoğurtta olduğu görülmüştür. Bahsi geçen çalışmada tüm örnekler için fermentasyon pH 4,6'ya geldiğinde durdurulmuş ve depolama aşamasına geçilmiştir. İki türün 1:1 oranında eklendiği yoğurtlarda pH'ın depolamanın 50. gününde 3.95'e düştüğü görülmüştür, buna mukabil türlerin 100:1 oranında inoküle edildiği yoğurtta 50. günde pH ancak 4.5'e düşmüştür. Aynı çalışmada 1:1 oranında bakteri içeren sütlerin fermentasyon esnasında 4.6 pH'a 5.3 saatte geldiği ama aynı pH'a ulaşmanın 100:1 oranındaki yoğurtlar için 7.2 saat sürdüğü görülmüştür (Ge et al., 2023).

Çeşitli *S. thermophilus* suşlarının pH değişimiyle GABA üretim verimliliğinin kıyaslandığı bir çalışmada yüksek asitleşme hızının GABA üretimini arttırdığı, ortamdaki GABA miktarının artmasının ise suşları asitleşme stresine karşı koruyup hücrelerin canlılıklarının korunmasını desteklediği gösterilmiştir (Gu et al., 2022).



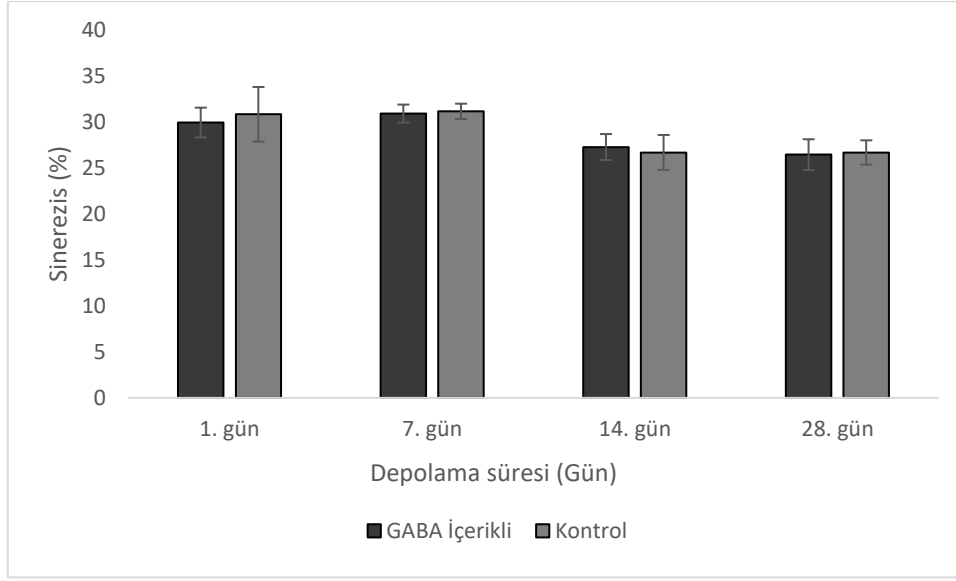
Şekil 3.2 Yoğurt örneklerinin zamana bağlı TTA değişimleri

Depolama sırasında titrasyon asitliği GABA'lı ve kontrol grubu yoğurtlarda düzenli olarak artmıştır. 28 günlük depolama süresi boyunca yoğurtlardaki titrasyon asitliğinin düzenli artışının ve pH'ın düzenli olarak azalmasının sebebinin yoğurdun depolama süresince içerisindeki suşların post-asidifikasyonu olduğu düşünülebilir (Donkor et al., 2006). Fermente süt ürünlerindeki bu asit gelişimi bakteriyel aktivite sonucu oluşan laktik asitten kaynaklanabilmektedir (Shori et al., 2022).

Titrasyon asitliği ve pH analizlerinden elde ettiğimiz sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalar ile paralellik göstermektedir (Tavakoli et al., 2019).

3.3 Sinerezis

Yoğurt üretimindeki en büyük dezavantajlardan biri sinerezistir. Sinerezis yoğurtların protein ağ yapısının bozulmasına ve yoğurt yüzeyinde peynir altı suyu veya serum görünümünün ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Peynir altı suyu proteinlerinin bağlanmasını azaltan değişiklikler ile yoğurtta sinerezis başlar bu süreçte yoğurttaki su dışarıya sızar (Maleki et al., 2021).



Şekil 3.3 Yoğurtların zamana bağlı sinerezis değişimi

Yoğurtların sinerezis miktarları Tablo 3.3'te verilmiştir buna göre iki grup yoğurt arasında istatistiki bir fark gözlemlenmemiştir ($P < 0,05$). Yoğurtların sinerezis miktarı 1. günden 7. güne kadar artmış daha sonra azalmıştır. GABA içerikli yoğurtlarda en yüksek sinerezis 7. günde $30,95 \pm 0,98$ olarak, kontrol grubunda ise yine 7. günde $31,20 \pm 0,83$ olarak ölçülmüştür. En düşük sinerezis iki grup için de 28. günde ölçülmüştür. Buna göre GABA içerikli yoğurtların sineresizi 28. günde $26,48 \pm 1,68$ kontrol grubunun ise $26,72 \pm 1,32$ olarak ölçülmüştür. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde depolama süresince sinerezisin GABA içerikli yoğurtlarda $26,48 \pm 1,68$ ile $29,98 \pm 1,62$ arasında, kontrol grubu yoğurtlarda ise $26,72 \pm 1,32$ ile $30,87 \pm 2,98$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Tablo 3.3 Yoğurtların zaman bağlı sinerezis değişimi

Depolama Süresi (Gün)	Sinerezis	
	GABA İçerikli	Kontrol
1	$29,98 \pm 1,62^{ABa}$	$30,87 \pm 2,98^{Aa}$
7	$30,95 \pm 0,98^{Aa}$	$31,20 \pm 0,83^{Aa}$
14	$27,31 \pm 1,42^{ABa}$	$26,72 \pm 1,90^{Aa}$
28	$26,48 \pm 1,68^{Ba}$	$26,72 \pm 1,32^{Aa}$

Aynı sütundaki farklı büyük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P < 0,05$). Aynı satırdaki farklı küçük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P < 0,05$).

Literatürdeki çeşitli çalışmalarda depolama süresince sinerezis azaldığı gösterilmiştir, yoğurtta sinerezisin azalmasının asitlikle bağlantılı olduğu

düşünülmektedir (Amal et al., 2016; Isık et al., 2023). Yapılan çalışmalarda pH 4'e kadar pH düşüşünün sinerezisi azalttığı gözlemlenmiştir (Atamer & Sezgin, 1987). Çalışmamızda pH'ın 4 üzerinde kalmasının sinerezisin azalmasına sebep olduğu düşünülebilir.

Yoğurdun sinerezisi üzerinde çok çeşitli etkenler etkili olabilmektedir bunlar arasında sütün protein ve yağ içeriği, ısıl işlem, homojenizasyon, fermentasyon sıcaklığı, kullanılan starter kültürler ve fermentasyon bitişiyle beraber başlayan soğutma işleminin hızı gibi faktörler bu etkenlerden bazılarıdır (Arab et al., 2023).

3.4 Su Tutma Kapasitesi

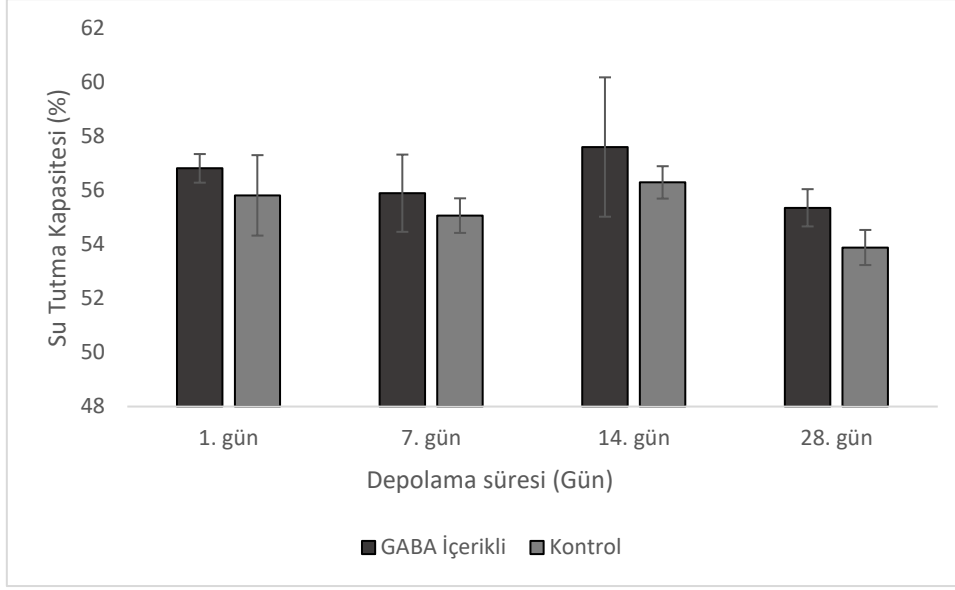
Yoğurtların su tutma kapasitelerinin ölçüldüğü analizlerde GABA içerikli yoğurtların su tutma kapasitesinin kontrol grubuna göre daha yüksek ölçülmüş ancak bu durum iki grubun da su tutma kapasitesi arasında istatistiki olarak bir fark oluşturmamıştır ($P < 0,05$).

Tablo 3.4 Yoğurtların su tutma kapasitesi değişimi

Depolama Süresi (Gün)	Su Tutma Kapasitesi	
	GABA İçerikli	Kontrol
1	56.83±0.53 ^{Aa}	55.82±1.49 ^{Aa}
7	55.90±1.43 ^{Aa}	55.07±0.64 ^{Aa}
14	57.61±2.58 ^{Aa}	56.30±0.60 ^{Aa}
28	55.36±0.69 ^{Aa}	53.89±0.65 ^{Aa}

Aynı sütündeki farklı büyük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P < 0,05$). Aynı satırdaki farklı küçük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P < 0,05$).

GABA içerikli yoğurtlarda en yüksek su tutma kapasitesi 14. günde 57.61±2.58 olarak en düşük su tutma kapasitesi ise 28. günde 55.36±0.69 olarak ölçülmüştür. Buna paralel kontrol grubu yoğurtlardaki en yüksek su tutma kapasitesi 14. günde 56.30±0.60 olarak en düşük su tutma kapasitesi ise 28. günde 53.89±0.65 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.4 Yoğurtların zamana bağlı olarak su tutma kapasitesindeki değişim

Su tutma kapasitesi bir ürünün yapısında bulunan serum fazının tutulma kabiliyetini yansıttığı için ürünün kalitesi üzerinde önemli bir belirleyicidir (Lee & Lucey, 2010). Düşük su tutma kapasitesine sahip bir yoğurtta serum fazının ayrılması ürünün kalitesinin düşmesine ve tüketici tarafından beğenisinin azalmasına sebep olur (Amal et al., 2016; Brodziak et al., 2020). Bu sebeple yüksek su tutma kapasitesi ve bu özelliğin depolama süresince korunması yoğurdun kalitesi ve tüketici tarafından kabul edilebilirliği açısından çok önemlidir. GABA içerikli yoğurtların kontrol grubuna göre daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olmasının fonksiyonel yoğurt üretimi açısından önemli olabileceği düşünülebilir. (Linares et al., 2016) yaptığı çalışmada balık bağırsağından izole edilen yüksek GABA üreticisi bir suş kullanılarak üretilen GABA içerikli yoğurtların su tutma kapasitesinin kontrol grubu yoğurtlara göre daha yüksek seviyede olduğu ve durumun depolama süresi boyunca devam ettiği gösterilmiştir.

Literatürdeki benzer bir çalışmada meyveli yoğurt örneklerinin su tutma kapasitesinin 10 günlük depolama süresi boyunca arttığı bildirilmiştir (Amal et al., 2016). (Brodziak et al., 2020) yaptığı bir çalışmada kontrol grubu örneklerin su tutma kapasitelerinin depolamanın 7. gününde azaldığı 14 ve 21. günlerde arttığı ve 28. günde en düşük seviyeye ulaştığı gösterilmiştir. Bu veriler ışığında çalışmadan elde ettiğimiz sonuçların literatürdeki benzer çalışmalarla paralellik gösterdiği düşünülebilir.

3.5 Renk Ölçümü

Renk, gıda ürünlerinin kalitesini ve niteliğini belirleyen en önemli özelliklerden biridir (Keskin et al., 2017). Çalışmamızda kontrol ve GABA içerikli yoğurtların 1, 7, 14 ve 28. günlerdeki analizlerde elde edilen renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Yoğurt örneklerinin depolama süresindeki renk parametreleri

Renk Parametreleri	Depolama süresi (gün)	Örnek	
		Kontrol	GABA İçerikli
L^*	1	90,03±0,18 ^{Aa}	89,69±0,12 ^{Ba}
	7	89,33±0,17 ^{Ba}	89,25±0,28 ^{Ba}
	14	90,05±0,04 ^{Ab}	90,52±0,09 ^{Aa}
	28	89,13±0,45 ^{Ba}	89,22±0,28 ^{Ba}
a^*	1	-2,75±0,03 ^{Bb}	-2,49±0,07 ^{Ba}
	7	-2,61±0,10 ^{Ab}	-2,21±0,10 ^{Aa}
	14	-2,50±0,01 ^{Aa}	-2,44±0,03 ^{Ba}
	28	-2,63±0,11 ^{ABa}	-2,89±0,06 ^{Ca}
b^*	1	8,23±0,24 ^{Aa}	7,51±0,36 ^{Aa}
	7	7,00±0,42 ^{Ba}	7,37±0,16 ^{Aa}
	14	7,44±0,14 ^{Ba}	7,71±0,24 ^{Aa}
	28	7,41±0,60 ^{Ba}	7,65±0,54 ^{Aa}

Aynı sütundaki farklı büyük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P<0,05$). Aynı satırdaki farklı küçük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P<0,05$).

CIELAB renk modelinde parlaklığı temsil etmek için L^* değeri ($L^* = 0$ için siyah, $L^* = 100$ için beyaz), kırmızı (+) ile yeşili (-) temsil etmek için a^* değeri, sarı (+) ile maviyi (-) temsil etmek için b^* değeri kullanılır.

Depolama süresi boyunca hem kontrol hem de MSG eklenmiş yoğurtlar, benzer L^* renk değerlerine sahip olmuştur. 28. günde, her iki örnek grubunun L^* değerleri depolamanın başlangıcına kıyasla azalmıştır. İki grubun örneklerinin L^* değerleri de 1. günden 7. güne ve 14. günden 28. günde azalmıştır ($p<0,05$). (Brodziak et al., 2020) farklı bakteri kültürleri kullanılarak üretilen yoğurtlarda L^* değerinin 28. günde azaldığını tespit etmiştir. (Jurado-Guerra et al., 2023) yaptığı çalışmada 5mg/L melatonin eklenen yoğurtların L^* değerinde 1. günden 7. güne bir azalış, 7. günden 14. güne ise bir artış görülmüştür. Analizlerimizden elde ettiğimiz sonuçlarda en düşük L^* değerinin 28. günde ölçülmesi literatürdeki benzer çalışmalarla paralellik göstermektedir (Brodziak et al., 2020; Ozcan & Kurtuldu, 2014).

Kontrol grubu yoğurtların renk analizlerinden elde edilen a^* değerleri 1. günden 14. güne kadar artmış 14. günden sonra ise azalmıştır. GABA içerikli yoğurtların ise a^* değeri 1. günden 7. güne artmış daha sonra 28. güne kadar düzenli olarak azalmıştır. (Jurado-Guerra et al., 2023) yaptığı çalışmada kontrol grubu yoğurtların a^* değerinde 14 günlük depolama süresi boyunca düzenli bir artış, 5 mg/L melatonin içeren yoğurtlarda ise 1. günden 7. güne bir artış ve 7. günden 14. güne azalış gözlenmiştir. Bu yönüyle literatürdeki bu verilerin sonuçlarımızla uyumlu olduğu görülmüştür.

Depolama süresi boyunca, 1. ve 7. günlerde, kontrol grubundaki yoğurtların b^* değerleri GABA içerikli yoğurtlarından daha yüksekti. Ancak depolama süresi devam ettikçe, GABA içerikli yoğurtların b^* değerleri artmış ve kontrol grubu örneklerinden daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Her iki örnek de depolamanın 7. gününde en düşük b^* değerine sahip olmuştur. (Hrnjez et al., 2014) tarafından yapılan bir çalışmada fermente süt ürünlerinde b^* değerlerinin depolamanın 7. gününde azaldığını ve depolamanın 14. gününde arttığını tespit etmiştir ki bu çalışmanın bulgularıyla uyumludur. (Jurado-Guerra et al., 2023) tarafından yapılan bir çalışmada da kontrol grubu yoğurtların b^* değerinde benzer bir değişim gözlenmiştir.

3.6 Tekstür Analizi

Tekstür parametreleri yoğurtların kalitesinin belirlenmesinde en önemli özelliklerden biridir. Yoğurtların tekstürel özellikleri yoğurt üretiminde kullanılan sütün türü ve bileşimine, ilave edilen katkı maddelerine, kullanılan başlangıç kültürlerine, ısıl işlem sıcaklığına ve depolama koşulları vb. birçok değişkene bağlıdır (Ozcan, 2013; Sodini et al., 2004). Çalışmamızda yoğurtların tekstürel özellikleri sertlik, kıvam ve yapışkanlık olmak üzere üç ana parametre altında incelenmiştir.

Sertlik, gıdaların bileşiminde belirli bir deformasyonun sağlanması için uygulanması gereken kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Depolama süresi boyunca kontrol yoğurtların sertliğinde istatistiksel olarak bir değişim olmamıştır. GABA içeren yoğurdun sertlik değeri 1, 7 ve 14. günler için istatistiksel olarak kontrol yoğurdundan farklı olmasa da biraz daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 3.6 Yoğurtların depolama süresi boyunca tekstürel özelliklerindeki değişim

Tekstür Parametreleri	Depolama süresi (gün)	Örnek	
		Kontrol	GABA İçerikli
Sertlik (g)	1	282,88±4,04 ^{Ab}	324,50±10,11 ^{Aa}
	7	284,56±35,50 ^{Aa}	313,14±20,56 ^{Aa}
	14	294,73±59,73 ^{Aa}	350,03±2,48 ^{Aa}
	28	305,89±15,07 ^{Ab}	405,56±11,25 ^{Ba}
Kıvam (g.sec)	1	5494,48±71,35 ^{Aa}	5372,39±289,24 ^{Ba}
	7	5503,36±227,24 ^{Ab}	6261,23±244,55 ^{Aa}
	14	5259,06±362,07 ^{Ab}	6322,94±156,41 ^{Aa}
	28	5334,19±13,67 ^{Ab}	6260,34±83,34 ^{Aa}
Yapışkanlık (g)	1	-186,40±3,51 ^{Aa}	-188,89±28,58 ^{Aa}
	7	-191,99±14,13 ^{Aa}	-224,86±2,85 ^{Aa}
	14	-187,28±18,69 ^{Aa}	-201,92±34,13 ^{Aa}
	28	-202,86±5,36 ^{Aa}	-228,87±28,31 ^{Aa}

Aynı sütündeki farklı büyük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P<0,05$). Aynı satırdaki farklı küçük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P<0,05$).

Depolama süresince kontrol yoğurt ve GABA içerikli yoğurdun sertlik değerlerinde artış görülmüş ancak bu artışın GABA içerikli yoğurdun 28. gün analizi hariç istatistiksel olarak bir fark oluşturmadığı gözlemlenmiştir ($p < 0,05$). Uzun süreli depolamanın bazı dokusal özellikleri (sertlik, sineresis) etkilediği ve bunun asitlik ve kazein hidrolizasyonundaki artıştan kaynakladığı belirtilmiştir (Yıldız & Özcan, 2019). Başta protein içeriği olmak üzere yoğurdun kuru madde oranının artırılmasının ürünün sertliği üzerinde önemli etkileri olduğuna dair çalışmalar literatürde mevcuttur. Bunun yanında protein miktarının azalmasının kazeinler arasındaki bağlantıyı olumsuz etkilediği ve sertlik değerini azalttığı gözlemlenmiştir (Gastaldi et al., 1997; Magenis et al., 2006; Oliveira et al., 2001). Protein içeriğinin yanında fermentasyon öncesi süte uygulanan ısı miktarının artmasının da yoğurdun sertliğine olumlu etki ettiği gösterilmiştir (Antunes et al., 2005).

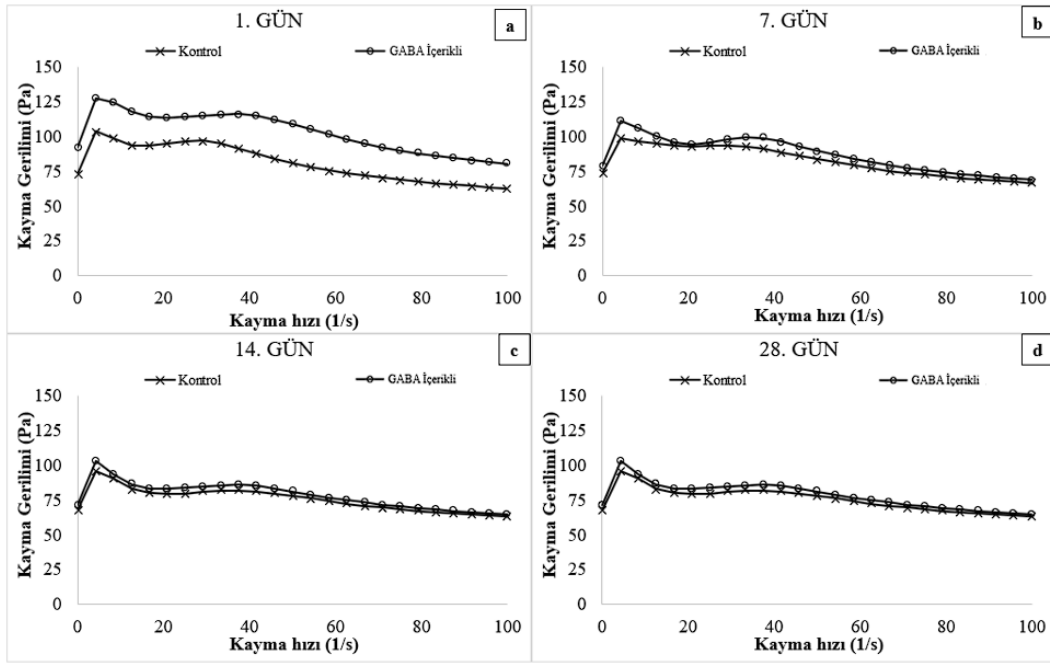
GABA içerikli yoğurdun sertliği 1. ve 28. günlerde yapılan analizlerde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı ölçüde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak diğer günlerde istatistiksel bir fark ölçülemediği görülmüştür. Bu durumun GABA içeren yoğurtlara ilave edilmiş olan MSG'nin kuru maddeyi arttırmasından dolayı olduğu düşünülebilir. Benzer bir çalışmada da GABA içeren ve kontrol yoğurtlarında yapılan sertlik analizinde GABA içeren yoğurtların sertlik değeri kontrol grubu yoğurtların sertlik değerinden daha yüksek bulunmuştur (Fan et al., 2023)

Kıvam ekstrüzyon esnasında ortaya çıkan eğrinin altında kalan alanın kullanılmasıyla hesaplanmaktadır. Yüksek kıvam, yüksek yoğunluğa sahip viskoz bir ürünü ifade eder (Yildiz & Ozcan, 2019). GABA içerikli yoğurtların 1. gününde yapılan analizler haricinde depolama süresi boyunca iki grup yoğurdun da kıvam parametrelerinde istatistiksel olarak anlam ifade edecek bir değişim gözlemlenmemiştir. GABA içeren yoğurdun kıvamı depolamanın 7. gününde artmış, 14 ve 28. günlerde istatistiksel olarak değişmemiştir. 7, 14 ve 28. günlerde ise kontrole göre kıvam değerleri daha yüksek bulunmuştur. Depolama sırasında GABA içerikli yoğurtların kontrol yoğurtlardan daha yüksek pH değerine sahip olması bu durumu açıklamaktadır (Yildiz & Ozcan, 2019).

Yapışkanlık, yoğurt içerisinde ilerlemiş probun geri çekilmesi sırasında uygulanan maksimum gücün hesaplanmasıyla elde edilen bir veridir. Yapışkanlık, ürünü mükemmel durumda tutan iç bağlarının kuvvetleri olarak tanımlanır ve bir malzemenin kırılmadan önce deforme olmasına neden olabilecek kuvvet içeriği olarak ifade edilir (Mousavi et al., 2019). Yapışkanlık değeri iki grup örnek için de hem zamana göre hem de gruplar arasında 28 günlük depolama süresi boyunca istatistiki olarak anlamlı bir değişim göstermemiştir ($p < 0.05$).

3.7 Reoloji Analizi

Yoğurt örneklerinin 1-100 (1/s)'de bulunan kayma gerilimi değerleri Şekil 3.5(a-b-c-d)'te sunulmuştur. Yoğurtların tamamı histerezis döngüleri ve kayma incelenmesi (tikotropik) davranışı gösterdi. (Paseephol et al., 2008) yoğurt örnekleri için benzer gözlemler bildirmiştir. Yoğurt örneklerinin incelenen kayma hızlarındaki kayma gerilimlerine bakıldığında tüm kayma hızlarında, örneklerin azalarak artan kayma gerilimi gösterirken en fazla kayma geriliminin GABA içerikli yoğurt örneğinin 1.gününde olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.5 Yoğurt örneklerinin farklı günlerde depolamalarına ait kayma hızı-kayma gerilimi grafikleri

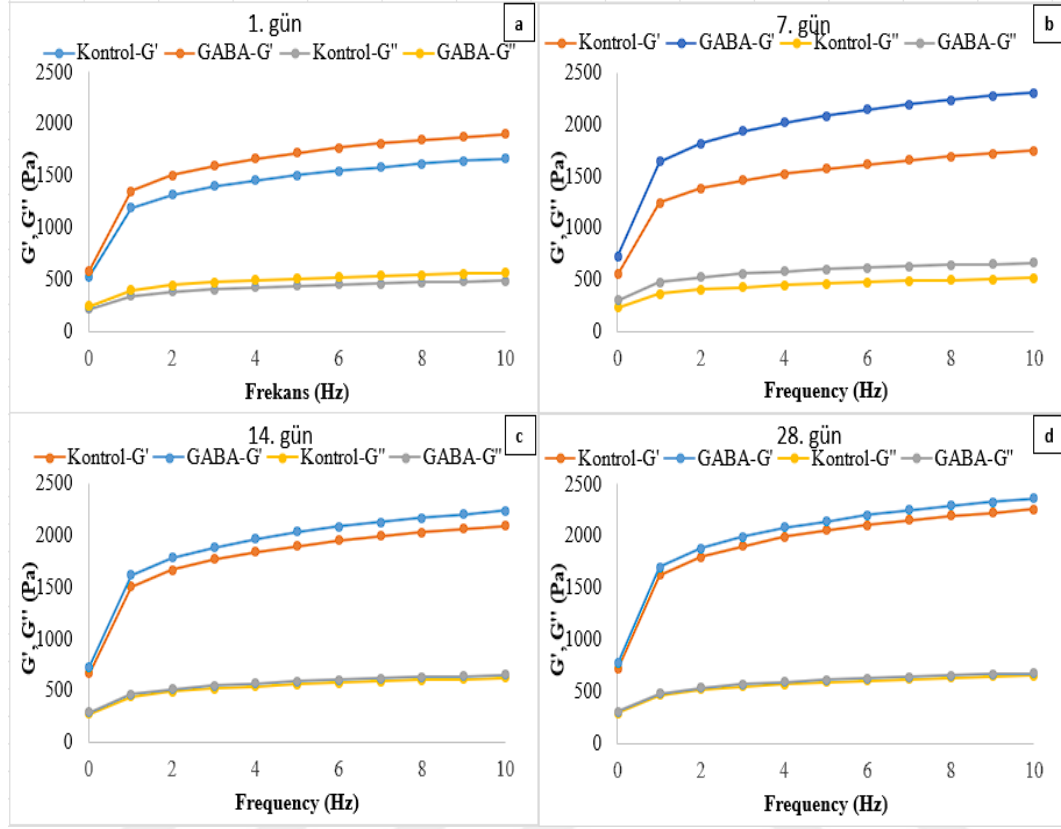
3.7.1 Dinamik reolojik özellikler

Şekil 3.6'da üretilen yoğurt örneklerinin dinamik reolojik davranışları gösterilmiştir. Şekle bakarak ilk çıkaracağımız sonuç örneklerin hepsinin G' değerinin G'' değerinden yüksek olması yani her bir örneğin katı karakterinin sıvı karakterine göre baskın olmasıdır. Bu sonuç (Khubber et al., 2021; Pang et al., 2019) tarafından yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Reoloji çalışmaları, yoğurt örneklerinin psödoplastik kayma incelenmesi davranışı sergilediğini gösterdi. Aynı zamanda yoğurt örneklerinin G' ve G'' değerleri artan açılma hızla birlikte azalan bir artış göstermektedir, başka bir ifadeyle grafiğin eğiminde azalma gözlemlenmektedir. Bu akış davranış özelliği yoğurt örneklerinin kompleks vizkozite değerlerinde artan açılma hızına bağlı olarak bir azalmayı açıklamaktadır. Bu durum viskoelastik katı karakter akış davranışının tipik bir özelliğini oluşturmaktadır.

Hem kontrol hem de GABA içerikli üretilen yoğurtların soğukta muhafaza edilmesi sırasında hem G' değerinin hem de G'' değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Kontrol yoğurtları ve GABA içerikli yoğurtlar depolanmanın 28. gününde en yüksek G' ve G'' değerlerine sahiptir. Mevcut çalışmada bulgular, tekstür analizinin sonuçlarını

desteklemiş ve GABA içeriğinin depolama sırasında yoğurdun reolojik özelliklerini arttırdığını göstermiştir.



Şekil 3.6 Yoğurt örneklerinin farklı günlerde depolanmalarına ait frekans-depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') grafiği

0,1 ile 10 Hz frekanstaki (ω) modüller Tablo 3.7'de gösterilmektedir. Tablodan görüleceği üzere R^2 değerleri oldukça yüksek ($R^2 > 0,993$) bulunmuştur, bu değerlerin yüksek bulunması modelin örneklerin dinamik reolojik davranışlarını başarılı bir şekilde açıklayabildiğini göstermektedir. Yoğurt örneklerinde K' değerleri K'' değerlerinden daha yüksek ölçülmesi, bu örneklerin hepsinin viskoelastik katı davranış sergilediğini açıklamaktadır. GABA içerikli yoğurtların K' ve K'' değerleri kontrol yoğurtlara göre daha yüksektir. Bu durum GABA üretimi için süte 2,25 mg/mL MSG eklenmesiyle artan kuru madde miktarı ile ilişkilendirilebilir.

Ayrıca GABA içerikli yoğurtların 28 günlük depolama süresince yapılan analizlerde pH değerinin daha yüksek olması ve daha zor azalmasının da bu özellik üzerinde etkili olduğu düşünülebilir. (Atamer & Sezgin, 1987) tarafından yapılan literatürdeki benzer bir çalışmada pH'ın 4 üzerinde kalacak şekilde azalmasının

yoğurdun fiziksel özelliklerine etki edebileceği gösterilmiştir. GABA içerikli yoğurtların K' ve K'' değerlerinin daha yüksek ölçülmesi bu durum ile ilişkilendirilebilir. n' ve n'' değerlerinin 0'a yakın olması yoğurt örneklerinin katı karakterinin daha ağır bastığını göstermektedir. Bu değerler de örneklerin viskoelastik katı karakter sergilediğinin başka bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Tablo 3.7 Yoğurt örneklerinin dinamik reolojik davranışları

Frekans Sweep Parametreleri	Depolama süresi (gün)	Örnek	
		Kontrol	GABA
K'	1	1164,456±47,80 ^{Ba}	1322,790±24,65 ^{Ba}
	7	1608,478±27,97 ^{Aa}	1666,714±10,36 ^{Aa}
	14	1624,924±44,76 ^{Aa}	1668,197±11,00 ^{Aa}
	28	1666,673±1,78 ^{Aa}	1688,185±25,43 ^{Aa}
n'	1	0,159	0,162
	7	0,160	0,160
	14	0,155	0,157
	28	0,155	0,158
R^2	1	0,999	0,999
	7	0,999	0,999
	14	0,999	0,998
	28	0,999	0,999
K''	1	361,507±18,01 ^{Ba}	415,348±6,94 ^{Ba}
	7	492,372±7,81 ^{Aa}	497,811±19,38 ^{Aa}
	14	500,645±12,60 ^{Aa}	503,412±12,67 ^{Aa}
	28	504,690±0,91 ^{Aa}	508,234±14,78 ^{Aa}
n''	1	0,125	0,128
	7	0,123	0,126
	14	0,125	0,125
	28	0,123	0,122
R^2	1	0,993	0,996
	7	0,996	0,993
	14	0,995	0,995
	28	0,994	0,995

Aynı sütundaki farklı büyük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P<0,05$). Aynı satırdaki farklı küçük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P<0,05$).

3.8 GABA Miktarı

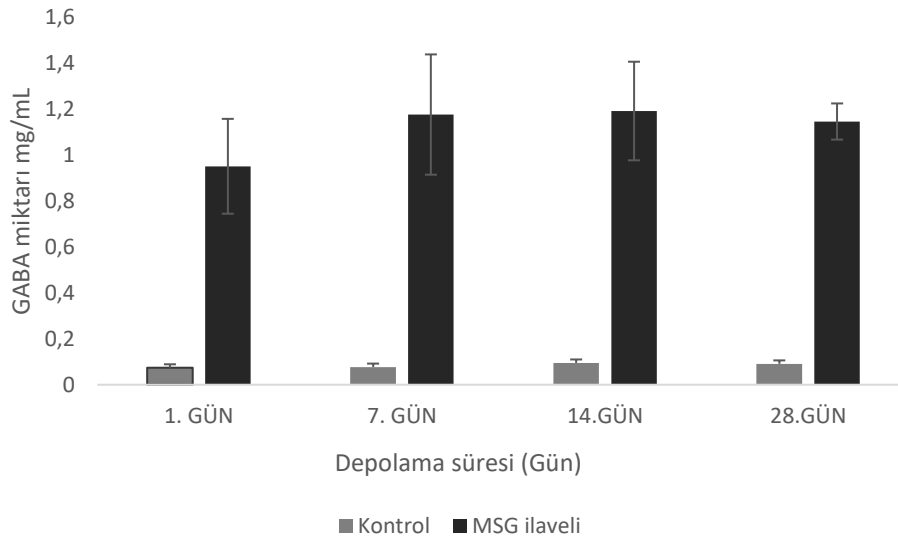
2,25 mg/mL MSG eklenerek fermente edilen yoğurt örneklerindeki GABA miktarında, MSG eklenmeyenlere göre ciddi bir artış söz konusu olmuştur. Tablo 3.8'de görülebileceği üzere MSG'li yoğurtlardaki GABA içeriği depolamanın 14. gününde zirveye ulaşmış ve daha sonra literatür ile uyumlu şekilde düşüşe geçmiştir.

Tablo 3.8 Yoğurt örneklerinin depolama süresi boyunca GABA içeriklerindeki değişim

Depolama Süresi (Gün)	GABA	
	Kontrol	MSG İlaveli
1	0.07±0.01 ^{Bb}	0.95±0.21 ^{Aa}
7	0.08±0.01 ^{ABb}	1.18±0.26 ^{Aa}
14	0.10±0.01 ^{Ab}	1.19±0.21 ^{Aa}
28	0.09±0.01 ^{Ab}	1.15±0.08 ^{Aa}

Aynı sütundaki farklı büyük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P<0,05$). Aynı satırdaki farklı küçük üst simgeler örnekler arasındaki farkın önemli olduğunu gösterir ($P<0,05$).

MSG ile desteklenmiş yoğurtlarda depolama süresi içerisinde GABA seviyesi ortalama olarak 1. 7. 14. ve 28. günler için sırasıyla 0.95 mg/mL, 1.18 mg/mL, 1.19 mg/mL ve 1.15 mg/mL olarak izlenmiştir en yüksek ortalama GABA miktarı 14. gün örnekleri içerisinde 1.19 ± 0.21 mg/mL olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.7 Yoğurtların depolama süresi boyunca GABA içeriklerindeki değişim

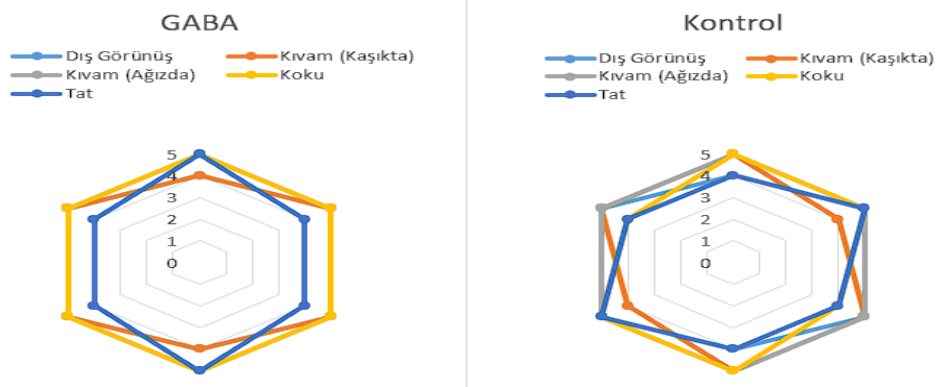
Literatürdeki benzer bir çalışmada da GABA içeriğinin, depolanan yoğurtlarda 21. güne kadar arttığı daha sonra ise düşüşe geçtiği gösterilmiş ve GABA içerikli yoğurtlar için ideal depolama süresinin 21. gün olduğu belirtilmiştir (Hussin et al., 2021). Depolanan yoğurtlardaki bu GABA artışına yoğurtların içerdiği canlı hücre sayısının ve ortam koşullarının 21 gün boyunca GABA üretimine uygun olmasının sebep olduğu düşünülmektedir.

Yoğurt yapmak için taranan 10 *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* suşu içinden 2.25 mg/mL MSG ilave edilmiş MRS brothta 24 saatte 0,071 mg/mL ve 96 saatte 0,08

mg/mL GABA üretebilen MRS 45-Y suşu seçilmiştir. Yine yoğurt yapımı için taranmış 10 *S. thermophilus* suşu içindense %1 laktoz ile desteklenmiş 2.25 mg/mL MSG içeren M17 brothta 24 saatte 0,219 mg/mL ve 96 saatte 0,298 mg/mL GABA üretebilen TD 1-4 suşu seçilmiştir. Bu iki suşun birebir oranında inoküle edilmesiyle üretilen yoğurtlara yapılan HPLC analizlerinde ise 1.4 mg/mL'ye kadar GABA içeriği ölçülmüştür. Bu artışın sebebi *S. thermophilus* ile *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus*'un simbiyotik ilişkisi olabilir. *S. thermophilus* gerekli olan laktik asidi üretilip ortam pH'ını *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* için uygun hale getirir, bununla birlikte *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *S. thermophilus* için gerekli olan çeşitli aminoasitleri ve küçük peptitleri üretir (Mchiouer et al., 2017). Literatürde yüksek asitlenme hızının GABA üretimini arttırdığı gösterilmiştir, iki tür arasındaki bu etkileşim yüksek oranda GABA üreticisi *S. thermophilus*'un ortamı daha hızlı asitlendirmesine ve daha yüksek oranda GABA üretmesine sebep olmuş olabilir (Gu et al., 2022).

3.9 Yoğurtların Duyusal Analizi

Duyusal analizler öznel değerlendirmeler içermekte ve panelistlerin kişisel tercihleri sonuçlara yansiyabilmektedir. Bu analizde puanlama ve sıralama testi kullanılarak GABA içerikli yoğurtların tüketici algısı üzerindeki etkisinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.8 Yoğurtlara yapılan duyusal analiz sonuçları

Duyusal analiz sonucunda dış görünüş, kaşıkta kıvam, ağızda kıvam ve tat özellikleri açısından MSG eklenmemiş ve GABA üretimi olmayan kontrol grubu yoğurdu ile GABA içerikli yoğurt arasında bir fark tespit edilememiştir. Koku özelliği GABA içerikli yoğurtlarda kontrol grubuna göre daha çok beğenilmiştir.

Yoğurt ülkemizde ve dünyada yüksek besin değeri ve eşsiz tadı ile dikkat çeken fermente bir süt ürünüdür. Ancak yoğurdun tüketici tarafından yüksek talep görmesinde yalnızca bu özellikler değil içerdiği mikroorganizmaların tüketicinin sağlığı üzerindeki olumlu etkileri de etkili olmaktadır. Bu etkilerden biri de psikobiyotik etkilerdir. Psikobiyotikler yalnızca vagus sinirini kullanarak bağırsak beyin etkileşiminde rol oynamakla kalmamakta aynı zamanda fermentasyon sırasında gıda içerisinde üretebildikleri nörotransmitterler sayesinde fonksiyonel gıda üretimine de olanak sağlamaktadırlar.

Bu tez çalışmasında 10 adet *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* ve 10 adet *S. thermophilus* suşu GABA üretim yeteneği açısından taranmış, yüksek GABA üretim yeteneğine sahip suşlar ile GABA içerikli fonksiyonel bir yoğurt üretimi amaçlanmıştır.

Çalışmamızda yoğurtlara yapılan 1, 7, 14 ve 28. gün analizlerinde hem GABA içerikli hem de kontrol grubundaki ortalama canlı hücre sayısının zamana bağlı olarak azaldığı ancak 28. günde dahi 10^6 kob/mL seviyesinin üzerinde kaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte depolama süresi boyunca GABA içerikli yoğurtların canlı hücre sayısı bakımından kontrol grubuna göre daha iyi performans gösterdikleri görülmüştür. İki grup yoğurdun da pH'ı depolama süresi boyunca lineer olarak azalmış GABA içerikli yoğurtlarda 28. günün sonunda 4.15'e kontrol grubu yoğurtlarda ise 4.10'a düşmüştür. Bununla birlikte 28 günlük depolama süresi boyunca GABA içerikli yoğurtların %laktik asit miktarı %1.50 ile %1.54 arasında, kontrol grubunun ise %1.55 ile %1.65 arasında değişim göstermiştir. İki grup yoğurdun su tutma kapasitesi arasında istatistiki olarak anlamlı seviyede ($P<0,05$) fark gözlemlenmemiştir. Yoğurt örneklerine 28 günlük depolama süresinin 1, 7, 14 ve 28. günlerinde yapılan HPLC analizlerinde MSG ile desteklenmiş yoğurtlarda en yüksek GABA miktarı 14. günde 1.19 ± 0.21 mg/mL olarak, kontrol yoğurtlarında ise yine 14. günde 0.10 ± 0.01 mg/mL olarak ölçülmüştür. Yoğurtların duyu analizlerinde iki grup yoğurt arasında belirgin bir

fark görülememiş sadece koku parametresi için GABA içerikli yoğurt kontrol grubuna göre daha yüksek bir puan almıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde MRS 45-Y ve TD 1-4 suşları kullanılarak GABA içerikli fonksiyonel bir yoğurt üretilebileceği görülmüştür. İleride yapılacak olan çalışmalarda yoğurt yapımı için sütlere inokule edilecek olan suşların miktarı ve iki suşun birbirine oranı GABA üretimi için optimize edilmeye çalışılabilir. Bunun yanında GABA üretimi için sütlere ilave edilmesi gereken MSG miktarı üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılabilir.



- Agarbatı, A., Canonico, L., Marini, E., Zannini, E., Ciani, M., & Comitini, F. (2020). Potential probiotic yeasts sourced from natural environmental and spontaneous processed foods. *Foods*, 9(3), 287.
- Alkay, Z. (2021). *Ekşi hamur izolatlarının gaba üretim ve prebiyotik özelliklerinin belirlenmesi ve model gıda uygulamaları*
- Amal, A., Eman, A., & Nahla, S. Z. (2016). Fruit flavored yogurt: Chemical, functional and rheological properties. *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, 2(5), 57-66.
- Anon. (2022). Türk gıda kodeksi fermente süt ürünleri tebliği 2022/44. *Resmi Gazete*.
- Antunes, A. E., Cazetto, T. F., & Bolini, H. M. (2005). Viability of probiotic microorganisms during storage, postacidification and sensory analysis of fat-free yogurts with added whey protein concentrate. *International journal of dairy technology*, 58(3), 169-173.
- Arab, M., Yousefi, M., Khanniri, E., Azari, M., Ghasemzadeh-Mohammadi, V., & Mollakhalili-Meybodi, N. (2023). A comprehensive review on yogurt syneresis: Effect of processing conditions and added additives. *Journal of food science and technology*, 60(6), 1656-1665.
- Aryana, K. J., & Olson, D. W. (2017). A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of dairy science*, 100(12), 9987-10013.
- Atamer, M., & Sezgin, E. (1987). İnkübasyon sonu asitliğinin yoğurt kalitesi üzerine etkisi. *Gıda*, 12(4).
- Axelsson, L. (2004). Lactic acid bacteria: classification and physiology. *Food Science and Technology-New York-Marcel Dekker-*, 139, 1-66.
- Bachrouri, M., Quinto, E., & Mora, M. (2006). Kinetic parameters of Escherichia coli O157: H7 survival during fermentation of milk and refrigeration of home-made yoghurt. *International Dairy Journal*, 16(5), 474-481.
- Bagheri, S., Heydari, A., Alinaghypour, A., & Salami, M. (2019). Effect of probiotic supplementation on seizure activity and cognitive performance in PTZ-induced chemical kindling. *Epilepsy & Behavior*, 95, 43-50.
- Bolotin, A., Quinquis, B., Renault, P., Sorokin, A., Ehrlich, S. D., Kulakauskas, S., . . . Pusch, G. D. (2004). Complete sequence and comparative genome analysis of the dairy bacterium Streptococcus thermophilus. *Nature biotechnology*, 22(12), 1554-1558.
- Bonomi, C. G., De Lucia, V., Motta, C., Koch, G., Martorana, A., & Unit, N. I. B. S. (2020). Effects of homotaurine on DLPFC disarray in MCI and the role of GABA: Human/Human trials: Nutraceuticals and non-pharmacological interventions. *Alzheimer's & Dementia*, 16, e043257.
- Bravo, J. A., Forsythe, P., Chew, M. V., Escaravage, E., Savignac, H. M., Dinan, T. G., . . . Cryan, J. F. (2011). Ingestion of Lactobacillus strain regulates

- emotional behavior and central GABA receptor expression in a mouse via the vagus nerve. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(38), 16050-16055.
- Brodziak, A., Król, J., Barłowska, J., Teter, A., & Florek, M. (2020). Changes in the physicochemical parameters of yoghurts with added whey protein in relation to the starter bacteria strains and storage time. *Animals*, 10(8), 1350.
- Cani, P. D., Amar, J., Iglesias, M. A., Poggi, M., Knauf, C., Bastelica, D., . . . Chabo, C. (2007). Metabolic endotoxemia initiates obesity and insulin resistance. *Diabetes*, 56(7), 1761-1772.
- Chen, L., Zhao, H., Zhang, C., Lu, Y., Zhu, X., & Lu, Z. (2016). γ -Aminobutyric acid-rich yogurt fermented by *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophiles* fmb5 appears to have anti-diabetic effect on streptozotocin-induced diabetic mice. *Journal of functional foods*, 20, 267-275.
- Das, T. K., Pradhan, S., Chakrabarti, S., Mondal, K. C., & Ghosh, K. (2022). Current status of probiotic and related health benefits. *Applied Food Research*, 100185.
- de Melo Pereira, G. V., de Oliveira Coelho, B., Júnior, A. I. M., Thomaz-Soccol, V., & Soccol, C. R. (2018). How to select a probiotic? A review and update of methods and criteria. *Biotechnology advances*, 36(8), 2060-2076.
- Demirbaş, F., İspirli, H., Kurnaz, A. A., Yilmaz, M. T., & Dertli, E. (2017). Antimicrobial and functional properties of lactic acid bacteria isolated from sourdoughs. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 361-366.
- Dhama, K., K Latheef, S., K Munjal, A., Khandia, R., A Samad, H., MN Iqbal, H., & K Joshi, S. (2016). Probiotics in curing allergic and inflammatory conditions-research progress and futuristic vision. *Recent patents on inflammation & allergy drug discovery*, 10(2), 105-118.
- Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2012). Regulation of the stress response by the gut microbiota: implications for psychoneuroendocrinology. *Psychoneuroendocrinology*, 37(9), 1369-1378.
- Donkor, O., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. (2006). Effect of acidification on the activity of probiotics in yoghurt during cold storage. *International Dairy Journal*, 16(10), 1181-1189.
- Engindeniz, S., TAŞKIN, T., Gbadamonsi, A. A., Ahmed, A. S., SEİOUDY, A., KANDEMİR, Ç., & Koşum, N. (2021). Tüketicilerin Süt ve Süt Ürünleri Tercihlerinin Analizi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(3), 470-481.
- Falah, F., Vasiee, A., Alizadeh Behbahani, B., Tabatabaee Yazdi, F., & Mortazavi, S. A. (2021). Optimization of gamma-aminobutyric acid production by *Lactobacillus brevis* PML1 in dairy sludge-based culture medium through response surface methodology. *Food Science & Nutrition*, 9(6), 3317-3326.
- Fan, X., Yu, L., Shi, Z., Li, C., Zeng, X., Wu, Z., & Pan, D. (2023). Characterization of a novel flavored yogurt enriched in γ -aminobutyric acid fermented by *Levilactobacillus brevis* CGMCC1. 5954. *Journal of dairy science*, 106(2), 852-867.
- Felis, G. E., & Dellaglio, F. (2007). Taxonomy of lactobacilli and bifidobacteria. *Current issues in intestinal microbiology*, 8(2), 44.

- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. (2017). *Fundamentals of cheese science* (Vol. 1). Springer.
- Gastaldi, E., Lagaude, A., Marchesseau, S., & De La Fuente, B. T. (1997). Acid milk gel formation as affected by total solids content. *Journal of Food Science*, 62(4), 671-687.
- Ge, Y., Yu, X., Zhao, X., Liu, C., Li, T., Mu, S., . . . Song, Z. (2023). Fermentation characteristics and post-acidification of yogurt by *Streptococcus thermophilus* CICC 6038 and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* CICC 6047 at optimal inoculum ratio. *Journal of dairy science*.
- Goh, Y. J., Goin, C., O'Flaherty, S., Altermann, E., & Hutkins, R. (2011). Specialized adaptation of a lactic acid bacterium to the milk environment: the comparative genomics of *Streptococcus thermophilus* LMD-9. *Microbial cell factories*,
- Gönç, S. (1994). Yoğurтта fermentasyon, aroma maddeleri oluşumu ve soğutmanın önemi. III. *Milli Süt ve Süt Ürünleri Sempozyumu*, 2-3.
- Gu, X., Zhang, R., Zhao, J., Li, C., Guo, T., Yang, S., . . . Kong, J. (2022). Fast-acidification promotes GABA synthesis in response to acid stress in *Streptococcus thermophilus*. *LWT*, 164, 113671.
- Hassan, M., Kjos, M., Nes, I., Diep, D., & Lotfipour, F. (2012). Natural antimicrobial peptides from bacteria: characteristics and potential applications to fight against antibiotic resistance. *Journal of Applied Microbiology*, 113(4), 723-736.
- Hrnjez, D., Vaštag, Ž., Milanović, S., Vukić, V., Iličić, M., Popović, L., & Kanurić, K. (2014). The biological activity of fermented dairy products obtained by kombucha and conventional starter cultures during storage. *Journal of functional foods*, 10, 336-345.
- Hussin, F. S., Chay, S. Y., Hussin, A. S. M., Wan Ibadullah, W. Z., Muhiaddin, B. J., Abd Ghani, M. S., & Saari, N. (2021). GABA enhancement by simple carbohydrates in yoghurt fermented using novel, self-cloned *Lactobacillus plantarum* Taj-Apis362 and metabolomics profiling. *Scientific reports*, 11(1), 9417.
- Isık, S., Dagdemir, E., Tekin, A., & Hayaloglu, A. A. (2023). Metabolite profiling of fermented milks as affected by adjunct cultures during long-term storage. *Food Bioscience*, 56, 103344.
- Jia, S., Lu, Z., Gao, Z., An, J., Wu, X., Li, X., . . . Sun, Y. (2016). Chitosan oligosaccharides alleviate cognitive deficits in an amyloid- β 1-42-induced rat model of Alzheimer's disease. *International journal of biological macromolecules*, 83, 416-425.
- Jurado-Guerra, J. A., Flores-Mancha, M. A., Juárez-Moya, J., Lechuga-Valles, R., Rentería-Monterrubio, A. L., Sánchez-Vega, R., . . . Chávez-Martínez, A. (2023). Physicochemical and Rheological Characteristics of Stirred Yogurt Fortified with Vitamin B 12 and Melatonin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023.

- Kechagia, M., Basoulis, D., Konstantopoulou, S., Dimitriadi, D., Gyftopoulou, K., Skarmoutsou, N., & Fakiri, E. M. (2013). Health benefits of probiotics: a review. *International Scholarly Research Notices*, 2013.
- Keskin, M., Setlek, P., & Demir, S. (2017). Use of color measurement systems in food science and agriculture. International advanced researches & engineering congress,
- Khubber, S., Chaturvedi, K., Thakur, N., Sharma, N., & Yadav, S. K. (2021). Low-methoxyl pectin stabilizes low-fat set yoghurt and improves their physicochemical properties, rheology, microstructure and sensory liking. *Food Hydrocolloids*, 111, 106240.
- Lebeer, S., Vanderleyden, J., & De Keersmaecker, S. C. (2010). Host interactions of probiotic bacterial surface molecules: comparison with commensals and pathogens. *Nature Reviews Microbiology*, 8(3), 171-184.
- LeBlanc, J. G., Chain, F., Martín, R., Bermúdez-Humarán, L. G., Courau, S., & Langella, P. (2017). Beneficial effects on host energy metabolism of short-chain fatty acids and vitamins produced by commensal and probiotic bacteria. *Microbial cell factories*, 16(1), 1-10.
- Lee, H.-Y., Park, J.-H., Seok, S.-H., Baek, M.-W., Kim, D.-J., Lee, K.-E., . . . Park, J.-H. (2006). Human originated bacteria, *Lactobacillus rhamnosus* PL60, produce conjugated linoleic acid and show anti-obesity effects in diet-induced obese mice. *Biochimica et biophysica acta (BBA)-molecular and cell biology of lipids*, 1761(7), 736-744.
- Lee, W.-J., & Lucey, J. (2010). Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 23(9), 1127-1136.
- Linares, D. M., O'Callaghan, T. F., O'Connor, P. M., Ross, R. P., & Stanton, C. (2016). *Streptococcus thermophilus* APC151 strain is suitable for the manufacture of naturally GABA-enriched bioactive yogurt. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1876.
- Luo, J., Wang, T., Liang, S., Hu, X., Li, W., & Jin, F. (2014). Ingestion of *Lactobacillus* strain reduces anxiety and improves cognitive function in the hyperammonemia rat. *Science China Life Sciences*, 57(3), 327-335.
- Magenis, R. B., Prudencio, E. S., Amboni, R. D., Cerqueira Júnior, N. G., Oliveira, R. V., Soldi, V., & Benedet, H. D. (2006). Compositional and physical properties of yogurts manufactured from milk and whey cheese concentrated by ultrafiltration. *International journal of food science & technology*, 41(5), 560-568.
- Maleki, M., Ariaai, P., & Sharifi Soltani, M. (2021). Fortifying of probiotic yogurt with free and microencapsulated extract of *Tragopogon Collinus* and its effect on the viability of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus plantarum*. *Food Science & Nutrition*, 9(7), 3436-3448.
- Masdea, L., Kulik, E., Hauser-Gerspach, I., Ramseier, A., Filippi, A., & Waltimo, T. (2012). Antimicrobial activity of *Streptococcus salivarius* K12 on bacteria involved in oral malodour. *Archives of oral biology*, 57(8), 1041-1047.

- Mchiouer, K., Bennani, S., & Meziane, M. (2017). Microbial interactions between *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* in milk. *J Mater Environ Sci*, 8, 1460-1468.
- Mckinley, M. C. (2005). The nutrition and health benefits of yoghurt. *International journal of dairy technology*, 58(1), 1-12.
- Morelli, L., & Capurso, L. (2012). FAO/WHO guidelines on probiotics: 10 years later. *Journal of clinical gastroenterology*, 46, S1-S2.
- Moreno Muñoz, J. A., Chenoll, E., Casinos, B., Bataller, E., Ramón, D., Genovés, S., . . . Fabrega, J. (2011). Novel probiotic *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* CECT 7210 strain active against rotavirus infections. *Applied and environmental microbiology*, 77(24), 8775-8783.
- Moseti, D., Regassa, A., & Kim, W.-K. (2016). Molecular regulation of adipogenesis and potential anti-adipogenic bioactive molecules. *International journal of molecular sciences*, 17(1), 124.
- Mousavi, M., Heshmati, A., Daraei Garmakhany, A., Vahidinia, A., & Taheri, M. (2019). Texture and sensory characterization of functional yogurt supplemented with flaxseed during cold storage. *Food Science & Nutrition*, 7(3), 907-917.
- Möhler, H. (2012). The GABA system in anxiety and depression and its therapeutic potential. *Neuropharmacology*, 62(1), 42-53.
- Nielsen, M. S., Martinussen, T., Flambard, B., Sørensen, K. I., & Otte, J. (2009). Peptide profiles and angiotensin-I-converting enzyme inhibitory activity of fermented milk products: Effect of bacterial strain, fermentation pH, and storage time. *International Dairy Journal*, 19(3), 155-165.
- Ohland, C. L., & MacNaughton, W. K. (2010). Probiotic bacteria and intestinal epithelial barrier function. *American journal of physiology-gastrointestinal and liver physiology*, 298(6), G807-G819.
- Oliveira, M. N. d., Sodini, I., Remeuf, F., & Corrieu, G. (2001). Effect of milk supplementation and culture composition on acidification, textural properties and microbiological stability of fermented milks containing probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, 11(11-12), 935-942.
- Ozcan, T. (2013). Determination of yogurt quality by using rheological and textural parameters. *Nutrition and Food Science II*, 53, 118-122.
- Ozcan, T., & Kurtuldu, O. (2014). Influence of dietary fiber addition on the properties of probiotic yogurt. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(5), 397.
- Ozer, B., & Akdemir-Evrendilek, G. (2014). Dairy microbiology and biochemistry: recent developments.
- Özden, A. (2008). Yoğurdun tarihi. *Güncel gastroenteroloji*, 12(2), 128-133.
- Özer, H. (2006). Yoğurt bilimi ve teknolojisi. *Sidas Yayınları*.
- Palzer, S. (2009). Food structures for nutrition, health and wellness. *Trends in Food Science & Technology*, 20(5), 194-200.

- Pang, Z., Xu, R., Luo, T., Che, X., Bansal, N., & Liu, X. (2019). Physiochemical properties of modified starch under yogurt manufacturing conditions and its relation to the properties of yogurt. *Journal of food engineering*, 245, 11-17.
- Pasephol, T., Small, D. M., & Sherkat, F. (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies*, 39(6), 617-634.
- Pearce, L., & Flint, S. (2002). *Streptococcus thermophilus*.
- Perez-Burgos, A., Wang, B., Mao, Y.-K., Mistry, B., Neufeld, K.-A. M., Bienenstock, J., & Kunze, W. (2013). Psychoactive bacteria *Lactobacillus rhamnosus* (JB-1) elicits rapid frequency facilitation in vagal afferents. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 304(2), G211-G220.
- Qin, J., Li, Y., Cai, Z., Li, S., Zhu, J., Zhang, F., . . . Shen, D. (2012). A metagenome-wide association study of gut microbiota in type 2 diabetes. *Nature*, 490(7418), 55-60.
- Rajagopal, S., & Sandine, W. (1990). Associative growth and proteolysis of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* in skim milk. *Journal of dairy science*, 73(4), 894-899.
- Rashmi, B., & Gayathri, D. (2017). Molecular characterization of gluten hydrolysing *Bacillus* sp. and their efficacy and biotherapeutic potential as probiotics using Caco-2 cell line. *Journal of Applied Microbiology*, 123(3), 759-772.
- Ray, B., & Bhunia, A. (2007). *Fundamental food microbiology*. CRC press.
- Robinson, R. K. (2014). *Encyclopedia of food microbiology*. Academic press.
- Rodrigues, D. M., Sousa, A. J., Johnson-Henry, K. C., Sherman, P. M., & Gareau, M. G. (2012). Probiotics are effective for the prevention and treatment of *Citrobacter rodentium*-induced colitis in mice. *The Journal of infectious diseases*, 206(1), 99-109.
- Roginski, H., Fuquay, J. W., & Fox, P. F. (2003). *Encyclopedia of dairy sciences. Volumes 1-4*. Academic press.
- Saborido, R., & Leis, R. (2018). Yogurt and dietary recommendations for lactose intolerance. *Nutricion hospitalaria*, 35(Spec No6), 45-48.
- Sfakianakis, P., & Tzia, C. (2014). Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: A review. *Foods*, 3(1), 176-193.
- Sharma, R., Gupta, D., Mehrotra, R., & Mago, P. (2021). Psychobiotics: The next-generation probiotics for the brain. *Current microbiology*, 78, 449-463.
- Shori, A. B., Albalawi, A., Al Zahrani, A. J., Al-sulbi, O. S., & Baba, A. S. (2022). Microbial analysis, antioxidant activity, and sensory properties of yoghurt with different starter cultures during storage. *International Dairy Journal*, 126, 105267.
- Silberman, E. S., & Jin, J. (2019). Lactose intolerance. *JAMA*, 322(16), 1620-1620.

- Sinha, R. (1991). Effect of carbohydrate on the viability of *Streptococcus thermophilus*. *Journal of food protection*, 54(7), 537-541.
- Sivan, A., Corrales, L., Hubert, N., Williams, J. B., Aquino-Michaels, K., Earley, Z. M., . . . Alegre, M.-L. (2015). Commensal *Bifidobacterium* promotes antitumor immunity and facilitates anti-PD-L1 efficacy. *Science*, 350(6264), 1084-1089.
- Sodini, I., Remeuf, F., Haddad, S., & Corrieu, G. (2004). The relative effect of milk base, starter, and process on yogurt texture: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(2), 113-137.
- Soni, R., Jain, N. K., Shah, V., Soni, J., Suthar, D., & Gohel, P. (2020). Development of probiotic yogurt: Effect of strain combination on nutritional, rheological, organoleptic and probiotic properties. *Journal of food science and technology*, 57, 2038-2050.
- Steenbergen, L., Sellaro, R., van Hemert, S., Bosch, J. A., & Colzato, L. S. (2015). A randomized controlled trial to test the effect of multispecies probiotics on cognitive reactivity to sad mood. *Brain, behavior, and immunity*, 48, 258-264.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007). *Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology*. Elsevier.
- Tan, J., McKenzie, C., Potamitis, M., Thorburn, A. N., Mackay, C. R., & Macia, L. (2014). The role of short-chain fatty acids in health and disease. *Advances in immunology*, 121, 91-119.
- Tavakoli, M., Najafi, M. B. H., & Mohebbi, M. (2019). Effect of the milk fat content and starter culture selection on proteolysis and antioxidant activity of probiotic yogurt. *Heliyon*, 5(2).
- Tian, J., Dang, H. N., Yong, J., Chui, W.-S., Dizon, M. P., Yaw, C. K., & Kaufman, D. L. (2011). Oral treatment with γ -aminobutyric acid improves glucose tolerance and insulin sensitivity by inhibiting inflammation in high fat diet-fed mice. *PLoS one*, 6(9), e25338.
- Tillisch, K., Labus, J., Kilpatrick, L., Jiang, Z., Stains, J., Ebrat, B., . . . Naliboff, B. (2013). Consumption of fermented milk product with probiotic modulates brain activity. *Gastroenterology*, 144(7), 1394-1401. e1394.
- Tuberoso, C. I. G., Congiu, F., Serreli, G., & Mamei, S. (2015). Determination of dansylated amino acids and biogenic amines in Cannonau and Vermentino wines by HPLC-FLD. *Food chemistry*, 175, 29-35.
- Uduwerella, G. (2017). *A novel strategy for minimizing acid whey generation during Greek yogurt production* [Victoria University].
- Van De Guchte, M., Penaud, S., Grimaldi, C., Barbe, V., Bryson, K., Nicolas, P., . . . Couloux, A. (2006). The complete genome sequence of *Lactobacillus bulgaricus* reveals extensive and ongoing reductive evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(24), 9274-9279.
- Wan, M. L., & El-Nezami, H. (2018). Targeting gut microbiota in hepatocellular carcinoma: probiotics as a novel therapy. *Hepatobiliary surgery and nutrition*, 7(1), 11.

- Weerathilake, W., Rasika, D., Ruwanmali, J., & Munasinghe, M. (2014). The evolution, processing, varieties and health benefits of yogurt. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(4), 1-10.
- Yang, R., Zhao, X., Wu, W., & Shi, J. (2021). Potential of probiotics for use as functional foods in patients with non-infectious gastric ulcer. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 463-474.
- Yıldırım, E. (2016). *Yoğurt, Probiyotik Yoğurt Ve Kefir Tüketiminin Hipertansiyon Üzerine Etkisi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi*, 106 sayfa, Kayseri].
- Yildiz, E., & Ozcan, T. (2019). Functional and textural properties of vegetable-fibre enriched yoghurt. *International journal of dairy technology*, 72(2), 199-207.
- Younes, E. (2017). Structural properties of casein micelles in milk; the effect of salt, temperature, and pH. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 3(6), 202-215.
- Yöney, Z. (1959). Fermente olmuş süt mamülleri teknolojisi. *Ankara Üniv. Zir. Fak. Yay*(159).
- Zourari, A., Accolas, J., & Desmazeaud, M. (1992). Metabolism and biochemical characteristics of yogurt bacteria. A review. *Le lait*, 72(1), 1-34.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Erikli, G. and Dertli, E. (2024, January, 23-25). *Determination of gaba production capabilities of lactobacillus delbrueckii subsp.bulgaricus and streptococcus thermophilus strains and functional yogurt production*. [Oral presentation]. VIIth International Halich Congress On Multidisciplinary Scientific Research, Istanbul, Turkey.

