ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

MİKROBİYEL TRANSGLUTAMİNAZ ENZİMİNİN YOĞURT DONDURMASI ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Evren Ülkü KIRIMHAN

SÜT TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2011

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

MİKROBİYEL TRANSGLUTAMİNAZ ENZİMİNİN YOĞURT DONDURMASI ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Evren Ülkü KIRIMHAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Süt Teknolojisi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Asuman GÜRSEL

Bu çalışmada; *Streptoverticillum mobaraense*'den elde edilen mikrobiyel kaynaklı transglutaminaz enziminin [R- glutaminly- peptide: amine γ- glutamyl- transferase (EC 2.3.2.13)] yoğurt dondurması üretiminde kullanım olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı aşamalarda TGase enzimi ile muamele edilmiş yağsız ve yağlı yoğurtlar kullanılarak üretilen yoğurt dondurmalarının fiziksel bazı nitelikleri ile tekstürel ve duyusal özellikleri değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, TGase ile muamele edilmiş yoğurt kullanımı ile yoğurt dondurmalarında düşük oranda hacim artışı elde edilmiştir. Yoğurt dondurmalarının erimeye karşı direnci artmıştır. Erime karakteristiklerindeki gelişmeye bağlı olarak yoğurt dondurmaları şekillerini daha uzun süre korumuştur. TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurt kullanımına bağlı olarak yoğurt dondurmalarının tekstürel özelliklerinde gelişme sağlanmıştır. TGase ile muamele edilmiş yoğurt kullanımının yoğurt dondurmalarında duyusal özellikler bakımından herhangi bir olumsuzluk yaratmadığı belirlenmiştir.

Temmuz 2011, 82 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yoğurt dondurması, transglutaminaz, hacim artışı, erime oranı, duyusal özellikler

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

THE USE OF MICROBIAL TRANSGLUTAMINASE ENZYME IN FROZEN YOGHURT PRODUCTION

Evren Ülkü KIRIMHAN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Dairy Technology

Supervisor: Prof. Dr. Asuman GÜRSEL

In this study, the possible use of microbial transglutaminase [R- glutaminly- peptide: amine γ- glutamyl- transferase (EC 2.3.2.13)] obtained from *Streptoverticillum mobaraense* in frozen yoghurt production was investigated. For this purpose, some physical, textural and sensory properties of frozen yoghurts produced by using low and full fat yoghurts with TGase enzyme added to yoghurt milk before or after heat treatment, were evaluated.

According to the results, low rate of overrun was obtained in the TGase enzyme-treated yoghurt. The resistance to melting increased in the samples produced from yoghurts treated with enzyme. Depending on the development of melting characteristics, the shape retention was maintained in a longer time. Textural properties of the frozen yoghurts were improved. In terms of sensory properties, using TGase did not cause any adverse effects on the frozen yoghurts.

July 2011, 82 pages

Key Words: Frozen yoghurt, transglutaminase treatment, overrun, melting rate, sensory properties

TEŞEKKÜR

Öğrencilik dönemimin başlangıcı olan 1997 yılından başlayarak doktora tez çalışmam süresince bilgi, deneyim ve önerilerini esirgemeyerek yetişmemde ve akademik gelişimimde çok büyük emeği ve katkısı bulunan danışmanım, değerli hocam, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Asuman GÜRSEL'e, öğrenciliğimden başlayarak akademik anlamda yetişmemde ve gelişmemde çok büyük emeği bulunan, yüksek lisans tez danışmanım, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü öğretim üyesi, çok kıymetli hocam Prof. Dr. Emel SEZGİN'e, lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca önemli katkı ve yönlendirmelerde bulunan, gerek akademik ve gerekse beşeri ilişkiler anlamında yetişmemde çok büyük emeği olan, tez izleme komitesi üyesi, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Metin ATAMER'e, gece gündüz demeden tez çalışmamın her aşamasında, engin bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen ve büyük desteğini gördüğüm, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi, doktora tez izleme komitesi üyesi, değerli hocam Prof. Dr. Barbaros ÖZER'e, ayrıca tez jürisinde görev alarak çok değerli öneri ve katkılarını esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi, değerli hocam Prof. Dr. Yaşar Kemal ERDEM'e, tezin yürütülmesinde her türlü çalışma olanağı sağlayan Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü'nün akademik, idari ve teknik personeline, tez çalışmalarım kapsamında desteğini esirgemeyen sevgili meslektaşım Sayın Ali Haydar DALASLAN'a, tez çalışmamdaki yoğurt örneklerinin üretimi için Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü, Eğitim, Araştırma ve Uygulama İşletmesi'nin olanaklarından yararlanma imkânı sağlayan Uzman Sayın Salih Özcan'a, ayrıca Sayın Cemal KOLUKISA'ya ve işletmenin tüm çalışanlarına, yoğurt dondurmalarının üretiminin gerçekleştirildiği AROLEZ Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasına ve tüm çalışanlarına, özellikle Sayın Nizamettin İREN'e, Sayın Volkan MERTER'e, Sayın Vildan AYKAN AYDIN'a ve Sayın Işıl AKDEVELİOĞLU'na, TEM görüntülemelerini gerçekleştirmemi sağlayan Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Sayın Mehtap KUTLU'ya ve Anadolu Üniversitesi Bitki, İlaç ve Bilimsel Araştırma Merkezi (AÜBİBAM) elemanlarından biyolog Sayın Arzu İŞCAN'a, TPA ölçümlerini gerçekleştirmemi sağlayan ODTÜ Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Behiç MERT'e, tezimdeki verinin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde yardımcı olan Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü (Biyometri-Genetik) öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Özgür KOŞKAN'a, çalışmalarım boyunca akademik bilgi ve deneyimleriyle bana çok büyük destek veren sevgili babam Prof. Dr. Sücaattin KIRIMHAN'la birlikte, tüm yaşamım boyunca beni destekleyen sevgili aileme ve sayamadığım diğer tüm gizli kahramanlara minnet ve şükranlarımı sunarım.

Evren Ülkü KIRIMHAN
Ankara, Temmuz 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vi**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **vii**
1. GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **4**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **17**
3.1 Materyal **17**
3.1.1 Enzim **17**
3.1.2 Yağsız süttozu **17**
3.1.3 Tereyağı **17**
3.1.4 Starter kültür **17**
3.1.5 Stabilizatör **18**
3.1.6 Tatlandırıcılar **18**
3.2 Yöntem **18**
3.3 Uygulanan Analizler **22**
3.3.1 Yağsız süttozu analizleri **22**
3.3.2 Tereyağı analizleri **23**
3.3.3 Yoğurt analizleri **23**
3.3.4 Miks analizleri **23**
3.3.4.1 Yağ **23**
3.3.4.2 Titrasyon asitliği **23**
3.3.4.3 pH **24**
3.3.4.4 Viskozite **24**
3.3.5 Yoğurt dondurması analizleri **24**
3.3.5.1 Toplam kurumadde **24**
3.3.5.2 Yağ **24**
3.3.5.3 pH **24**
3.3.5.4 Hacim artışı **24**
3.3.5.5 Erime oranı ve şekil muhafazası **25**

3.3.5.6 Tekstürel analiz 25
3.3.5.7 Mikrostrüktürel analiz 26
3.3.5.8 Duyusal değerlendirme 26
3.3.6 İstatistiksel analiz 28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 29
4.1 Yararlanılan Hammaddelerin Nitelikleri 29
4.2 Yoğurt Örneklerinin Nitelikleri 29
4.3 Miks Örneklerinin Nitelikleri 37
4.4 Yoğurt Dondurması Örneklerinin Nitelikleri 43
4.4.1 Toplam kurumadde ve yağ içeriği 43
4.4.2 pH değeri 44
4.4.3 Hacim artışı 46
4.4.4 Erime oranı 50
4.4.5 Şekil muhafazası 56
4.4.6 Tekstürel özellikler 60
4.4.7 Mikro yapı 64
4.4.8 Duyusal değerlendirme 67
5. SONUÇ 72
KAYNAKLAR 74
ÖZGEÇMİŞ 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	TGase enziminin katalize ettiği reaksiyonlar	5
Şekil 3.1	Yoğurt örneklerinin üretim şeması	21
Şekil 3.2	Yoğurt dondurması örneklerinin üretim şeması	22
Şekil 4.1	Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların toplam kurumadde değerleri	31
Şekil 4.2	Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların pH değerleri	32
Şekil 4.3	Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların titrasyon asitliği değerleri	34
Şekil 4.4	Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların viskozite değerleri	35
Şekil 4.5	Yoğurt dondurması mikslerinin pH değerleri	39
Şekil 4.6	Yoğurt dondurması mikslerinin titrasyon asitliği değerleri	40
Şekil 4.7	Yoğurt dondurması mikslerinin viskozite değerleri	41
Şekil 4.8	Yoğurt dondurması örneklerinin toplam kurumadde değerleri	44
Şekil 4.9	Yoğurt dondurması örneklerinin pH değerleri	46
Şekil 4.10	Yoğurt dondurması örneklerinin hacim artışı değerleri	48
Şekil 4.11	Yoğurt dondurması örneklerinin ilk damlama süreleri	51
Şekil 4.12	Yoğurt dondurması örneklerinin erime oranları	54
Şekil 4.13	Yoğurt dondurması örneklerinin şekil muhafazası değerleri	58
Şekil 4.14	Yoğurt dondurması örneklerinin hardness değerleri	61
Şekil 4.15	Yoğurt dondurması örneklerinin adhesiveness değerleri	63
Şekil 4.16	Yağsız yoğurt dondurması örneklerinin elektron mikroskop görüntüleri	65
Şekil 4.17	Yağlı yoğurt dondurması örneklerinin elektron mikroskop görüntüleri	66
Şekil 4.18	Yoğurt dondurması örneklerinin renk ve görünüş puanları	69
Şekil 4.19	Yoğurt dondurması örneklerinin yapı ve kıvam puanları	70
Şekil 4.20	Yoğurt dondurması örneklerinin tat ve koku puanları	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Bazı TGase'ların gıda proteinleri ile substrat spesifikliği	7
Çizelge 2.2	TGase enziminin farklı süt ürünlerindeki işlevleri	11
Çizelge 3.1	Miks bileşiminde yer alan yoğurt dışındaki diğer bileşenler ve miktarları	19
Çizelge 3.2	Yoğurt dondurmalarının duyusal değerlendirme kriterleri	27
Çizelge 4.1	Rekonstitüye sütün hazırlanmasında kullanılan yağsız süttozunun bazı nitelikleri	29
Çizelge 4.2	Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların bazı nitelikleri	30
Çizelge 4.3	Miks örneklerinin bazı nitelikleri	38
Çizelge 4.4	Yoğurt dondurması örneklerinin toplam kurumadde ve yağ içerikleri	43
Çizelge 4.5	Yoğurt dondurması örneklerinin pH değerleri	45
Çizelge 4.6	Yoğurt dondurması örneklerinin hacim artışı değerleri	47
Çizelge 4.7	Yoğurt dondurması örneklerinin ilk damlama süreleri	50
Çizelge 4.8	Yoğurt dondurması örneklerinin erime oranları	53
Çizelge 4.9	Yoğurt dondurması örneklerinin şekil muhafaza oranları	57
Çizelge 4.10	Yoğurt dondurması örneklerinin tekstürel bazı özellikleri	60
Çizelge 4.11	Yoğurt dondurması örneklerinin duyusal değerlendirme sonuçları	68

1. GİRİŞ

Soğuk haldeki pıhtısı karıştırılmış (stirred) yoğurdun; soğuk meyve şurubu, stabilizer-emülsifiyer ve şekerle karıştırıldıktan sonra dondurulması suretiyle üretilen, fiziksel durumu gereği dondurma olarak adlandırılan yoğurt dondurması, yoğurdun keskin ve asit tadı ile dondurmanın serinletici etkisini birlikte taşıyan bir süt ürünüdür (Gürsel ve Karacabey 1998). Avrupa ve Amerika'da uzun yıllardır sevilerek tüketilen yoğurt dondurması, ülkemizde pek fazla bilinen bir ürün değildir (Mann 1977, Özrenk ve Akyüz 2000).

Mitten (1977) ve Pollard (1978) yoğurt dondurmasının, normal dondurmaya oranla 2 kat protein, % 80 daha az yağ ve % 40 daha az kalori içerdiğini ve daha ferahlatıcı bir tada sahip olduğunu ve bu nedenle çoğu kişinin yoğurt dondurmasını normal dondurmaya tercih ettiğini belirtmişlerdir.

Süt ürünleri içerisinde, ülkemizde özellikle yaz aylarında, diğer ülkelerde ise her mevsim severek tüketilen dondurma; yüksek yağ oranı ve enerji değeri ile dikkat çeken bir üründür. Oysa, son 15 yıldır, daha sağlıklı beslenme kaygısıyla, tüketicilerin besinlerle aldıkları yağ miktarını azaltmaya çalıştıkları ve bunun sonucunda az yağlı ürünlere talep duyulduğu anlaşılmaktadır. Artan talebi karşılamak üzere, üreticilerin de yağı azaltılmış hatta hiç süt yağı içermeyen değişik süt ürünlerinin üretimine yöneldikleri gözlenmektedir. Ancak, süt yağının azaltılması ile son ürünün fiziksel ve duyusal niteliklerinde bazı olumsuzlukların meydana geldiği bilinmektedir. Bu olumsuzlukları en aza indirebilmek için, süt yağının rolünü üstlenebilecek alternatiflerin arayışı içine girilmiş ve az yağlı süt ürünlerinin üretimi ile ilgili çalışmalara hız verilmiştir (Ohmes vd. 1998, Prindiville vd. 1999, Roland vd. 1999, Hyvönen vd. 2003, Metwally 2007). Birçok hayvansal dokuda ve vücut sıvılarında bulunan; Transglutaminaz (TGase) olarak adlandırılan enzimin, yağ içeriği azaltılan ürünlerde, yağ ikame maddesi olarak kullanılabileceği bazı araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (Faergemand vd. 1999, Lorenzen vd. 2002).

TGase enzimi, sistematik adıyla [R- glutaminly- peptide: amine γ- glutamyl- transferase (EC 2.3.2.13)], proteinlerin fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan ve proteinlerde çapraz bağlanmaya neden olan bir transferazdır (Yıldırım vd. 2000, Yokoyama vd. 2004, Öner 2004, Yüksel ve Erdem 2007).

Proteinler, ürünlerin hazırlanması, işlenmesi, depolanması ve tüketimi aşamalarında gıdanın kalitesi ve duyusal özelliklerini önemli ölçüde etkilediğinden, gıda teknolojisi içinde ayrıcalıklı bir yere sahiptir (Yıldırım vd. 2000, Özrenk 2006). Ancak, proteinlerin zayıf fonksiyonel özellikler sergilemeleri bu tip amaçlarla kullanımlarını kısıtlayan bir faktör olarak rol oynamaktadır. Bununla birlikte, proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin enzimatik, kimyasal ve fiziksel modifikasyonlar yoluyla geliştirilebileceği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Golabczak vd. 2004, Arrizubieta 2007). Endüstriyel alanda, enzimlerden, proteinlerin fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek amacıyla yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır (Özrenk 2006).

Süt proteinlerinin, özellikle de kazeinin TGase enzimi için çok iyi bir substrat olduğu (Faergemand vd. 1999, Özrenk 2006) ve TGase enzimi ile modifiye edilen süt proteinlerinin çözünebilme, su tutma, jelleşme, emülsifiye etme gibi fonksiyonel özelliklerinde gelişme sağlandığı belirtilmektedir (O'Sullivan vd. 2002).

Gıda alanında endüstriyel uygulamalarda, aktivite için kalsiyuma gereksinim duymaması nedeni ile *Streptoverticillum mobaraense*'den elde edilen mikrobiyel kaynaklı transglutaminaz enziminin (MTGase) tercih edildiği ve süt ürünlerinin üretiminde MTGase enzimi kullanımı için en avantajlı ürünün yoğurt olduğu ifade edilmiştir (Lorenzen vd. 2002, Yokoyama vd. 2004).

Literatür bilgilerinden, TGase enziminin etkisinin daha çok set tipi yoğurtta denendiği anlaşılmaktadır. Bu konuda yürüttükleri çalışmalarda, Bönisch vd. (2007), Özer vd. (2007), Yüksel ve Erdem (2010) ve Şanlı vd. (2011) TGase enzimi kullanımı ile yoğurtlarda jel stabilitesinin arttığını ve serum ayrılmasının azaldığını tespit etmişlerdir. Enzimin, protein ve yağ içeriği düşük olan fermente ürünlerde de etkili

olduğu ve son ürünün duyusal niteliklerinin protein içeriği yüksek tam yağlı yoğurtlara benzerlik gösterdiği başka araştırmacılar tarafından da açıklanmıştır (Faergemand vd. 1999, Lorenzen vd. 2002). Ayrıca, TGase enziminin yağ içeriği düşük olan yoğurtlarda stabilizatör kullanımına alternatif olabileceği vurgulanmıştır (Faergemand vd. 1999).

TGase enziminin, yoğurt dışında peynir ve dondurma üretiminde de başarılı bir şekilde kullanılabileceği belirtilmektedir (Yokoyama vd. 2004, Yüksel vd. 2011). Nitekim, Metwally (2007) tarafından TGase enzimi kullanılarak üretilen dondurma örneklerinde yoğurttakine benzer şekilde, enzimin son ürünün fiziksel ve duyusal nitelikleri üzerinde olumlu etkiler yarattığı saptanmıştır.

Süt endüstrisinde MTGase enzimi kullanımına yönelik yapılan çalışmaların sonucuna göre; yoğurdun adı geçen enzimin kullanımı için en avantajlı ürün olarak gösterilmesi ve dondurmanın da her yaştaki insanın severek tükettiği bir süt ürünü olması nedeniyle, bu çalışmada, farklı yağ oranlarına sahip yoğurt dondurmalarının üretiminde MTGase enzimi ile muamele edilen yoğurt kullanımının son ürünün hacim artışı, erime oranı gibi bazı fiziksel nitelikleri ile tekstürel ve duyusal özellikleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

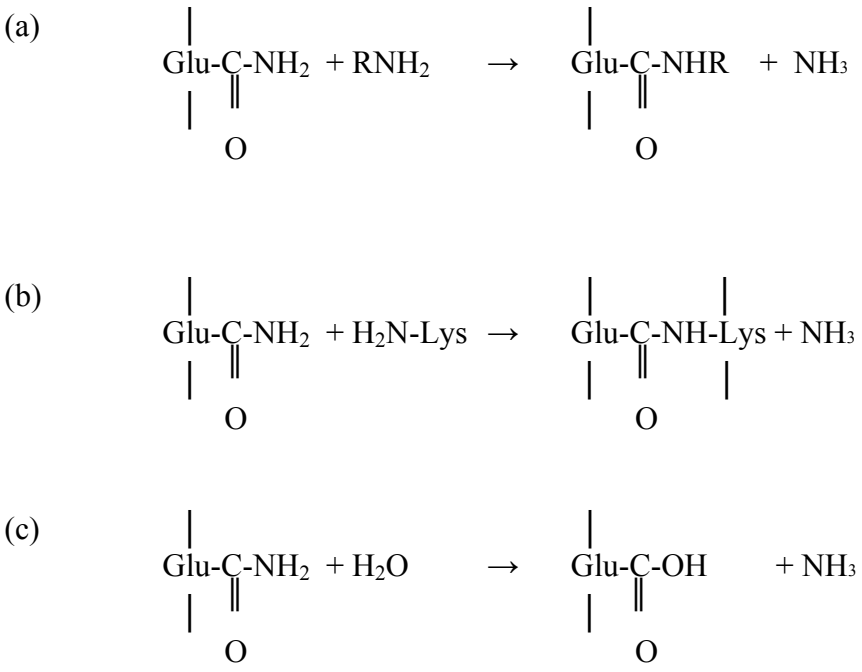
Proteinler, gıdaların tekstür, stabilite, viskozite, jelleşme, emülsifiye etme ve su bağlama gibi niteliklerini etkileyen bileşenler olarak bilinmektedir (Faergemand vd. 1998). Proteinlerin moleküler yapısı ile yakından ilişkili olan fonksiyonel özellikleri, çoğunlukla arzu edilen seviyede değildir (Faergemand vd. 1998, Yıldırım vd. 2000). Protein yapısı, kimyasal, fiziksel ve enzimatik olarak birçok yöntemle modifiye edilebilmektedir (Kester ve Richardson 1984, Yıldırım vd. 1996). Enzimatik modifikasyon, enzimatik reaksiyonun spesifikliği ve bunun sonucu olarak; toksik ürünlerin oluşma riskinin düşük olması nedeniyle tercih edilmekte ve endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Özrenk 2006, Gerrard 2002).

Proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesinde kovalent çapraz bağlanma reaksiyonlarını katalizleyen enzimlerden yaygın olarak yararlanılmaktadır (Myllärinen vd. 2006, Bönisch vd. 2007). Bu bağlamda; proteinler arası çapraz bağlanmayı katalize eden ticari anlamda gıda uygulamalarına uygun tek enzimin; Transglutaminaz (TGase) [R- glutaminly- peptide: amine γ- glutamyl- transferase (EC 2.3.2.13)], olduğu bildirilmektedir (Zhu vd. 1995, Dickinson ve Yamamoto 1996, Yokoyama vd. 2004).

TGase enzimi, peptide bağlı haldeki glutamin kalıntısının γ- karboksiamid grubu (açil verici) ile glutamin ve lisin kalıntılarının birincil amino grupları (açil alıcı) arasındaki açil transfer reaksiyonu katalize etmektedir (Sharma vd. 2001). Yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerin oluşması ile sonuçlanan proteinler arası çapraz bağlanma, TGase enzimi için en etkili reaksiyondur (Motoki ve Seguro 1998). Peptide bağlı olan lisin kalıntısının birincil amin grubunun substrat olması durumunda; peptid zinciri, ε- (γ- glutamin) lisin bağına kovalent olarak bağlanmaktadır (Şekil 2.1.b) (Yokoyama vd. 2004).

Proteinlerin çapraz bağlanma reaksiyonundan başka, deamidasyon ve aminlerin birleşmesi gibi iki önemli reaksiyon daha TGase enzimi tarafından katalize edilmektedir (Şekil 2.1.a.c) (O'Sullivan vd. 2002, Jong ve Koppelman 2002). Ortamda amin bulunmaması durumunda; su açil alıcı durumuna geçmekte ve glutamin kalıntılarının γ-

karboksiamid grubunun deamidasyonu ile glutamik asit kalıntısı oluşmaktadır (Zhu vd. 1995, Sharma vd. 2001). TGase enzimi, amin birleşmesi, çapraz bağ oluşumu ve deamidasyon yolları ile proteinleri modifiye etmektedir (Motoki ve Seguro 1998).



Şekil 2.1 TGase enziminin katalize ettiği reaksiyonlar (Kashiwagi vd. 2002)
(a), amin varlığında değişim; (b), çapraz bağlanma; (c), deamidasyon

Sharma vd. (2001) tarafından enzimatik reaksiyonun ilk 30 dakikasında proteinler arası çapraz bağlanma reaksiyonunun baskın durumda olduğu, daha sonra ise deamidasyon ve/veya aminlerin birleşme reaksiyonlarının baskın konuma geçtiği belirtilmiştir.

Doğada yaygın olarak memelilerde, bitkilerde ve mikroorganizmalarda bulunan TGase'ların biyolojik ve fizyolojik olarak farklı işlevlere sahip olduğu belirlenmiştir (Jong ve Koppelman 2002). Kanın pıhtılaşması, yaraların iyleşmesi, epidermal keratinizasyon ve eritrosit membranının sertleşmesi bu işlevlerden bazılarıdır. Bitkilerde bulunan TGase'ın hücre duvarının şekillenmesini sağladığı, memeli plazmasında bulunan TGase'ın (faktör XIII) ise fibrin moleküllerinin çapraz bağlanmasını sağlamak suretiyle kanın pıhtılaşmasında rol oynadığı ifade edilmektedir. TGase'lar, ayrıca

hücresel büyüme, farklılaşma ve bölünmenin düzenlenmesinden sorumludur (Motoki ve Seguro 1998).

Proteinlerin TGase enzimi ile çapraz bağlanması sonucunda; su tutma kapasiteleri, jelleşme nitelikleri, emülsifiye etme nitelikleri ve reolojik özellikleri geliştirilmektedir (Lorenzen ve Schlimme 1998, O'Sullivan vd. 2002). TGase enzimi tarafından katalize edilen çapraz bağlantı oranı, substrat olarak rol oynayan proteinin moleküler yapısına bağlıdır. Sıcaklık ve pH TGase tepkimesini etkileyen diğer faktörlerdir (Gerrard 2002).

TGase'ın endüstriyel olarak üretiminde 3 temel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan ilki; domuz, sığır, balık gibi hayvanların vücut sıvılarından enzimi ekstrakte edip saflaştırmaktır. Avrupa'da, TGase'ın bir tipi olan faktör XIII domuz ve sığır kanından ticari olarak ekstrakte edilmektedir. Ancak; kandan elde edilen enzim, hem aktif hale gelebilmesi için trombine gereksinim göstermesi, hem de kırmızı renk oluşturarak ürünün fiziksel özellikleri üzerinde olumsuz etki yaratması nedeniyle gıda endüstrisinde çok fazla kullanılmamaktadır. İkinci yöntem; enzimin *E.coli, Bacillus, Aspergillus* ve bazı mayalardan genetik manipülasyon yoluyla elde edilmesidir. Birçok araştırmacı bu konu üzerinde çalışmakla birlikte, henüz bu yöntemle TGase'ın gıda standartlarına uygun bir biçimde elde edilmesi mümkün olmamıştır. Üçüncü yöntem ise; TGase üreten mikroorganizmalardan enzimin ticari olarak üretilmesidir. Bunlar arasında en uygun olan mikroorganizma, taksonomik olarak *Streptoverticillium mobaraense*'nin bir varyantı olan bakteridir (Motoki ve Seguro 1998).

Streptoverticillium'dan elde edilen TGase'lar memeli kanından, plazmadan ve eritrositlerden elde edilen TGase'lara göre daha çok sayıda protein ile reaksiyona girmektedir. Çizelge 2.1'de gıda proteinleri ile TGase'ların substrat spesifikliği verilmiştir.

Çizelge 2.1 Bazı TGase'ların gıda proteinleri ile substrat spesifikliği (De Jong vd. 2001)

	Eritrosit TGase	Plazma TGase	Bakteriyal TGase
β- laktoglobulin	±	±	++
α- laktalbumin	-	±	++
Sığır serum albumini	++	+	++
Kazein	++	++	++
Hemoglobin	-	±	±
Miyosin	-	++	++
Soyaglisin	++	-	++

- çapraz bağlanma yok; ± düşük çapraz bağlanma; + orta çapraz bağlanma; ++ hızlı çapraz bağlanma

1980'li yıllarda, TGase enzimi ile gıda proteinlerinin çapraz bağlanmasının gerçekleştirildiği ilk denemelerde, kazein ve soya proteininin hayvansal kaynaklı enzim için iyi birer substrat oldukları gözlenmiştir. Bununla birlikte; enzimin ekstraksiyon ve saflaştırma maliyetinin yüksek olması; gıda endüstrisinde kullanımını sınırlandırmıştır. Ayrıca; enzimin aktivitesi için kalsiyum iyonlarına gerek duyması bazı gıdalarda kullanımını sınırlandıran bir başka engel olmuştur (Sharma vd. 2001, Lorenzen vd. 2002). *Streptoverticillium mobaraense*'den elde edilen mikrobiyel kaynaklı TGase (MTGase), hayvansal kaynaklı TGase'dan farklı olarak; aktivasyonunun kalsiyum iyonlarından bağımsız olması nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Motoki ve Seguro 1998). Çünkü; kazeinler, soya fasülyesi globülinleri gibi bir çok gıda proteini kalsiyum iyonlarına karşı oldukça hassastır. Söz konusu proteinler, kalsiyum iyonlarının varlığında kısa sürede presipite olmakta ve MTGase enzimine karşı daha az duyarlı hale gelmektedir (Motoki ve Seguro 1998).

Streptoverticillium mobaraense tarafından aşırı miktarda TGase üretimi, enzimin gıda endüstrisinde ekonomik olarak kullanımının yaygınlaşmasına neden olmuştur (Lauber vd. 2000).

Son yıllarda ticari bir ürün olarak fazlaca rağbet gören MTGase enziminin molekül ağırlığı, sekonder yapısı, enzimatik özellikleri gibi fizikokimyasal nitelikleri belirlenmiştir. Kütle spektrometresi ile primer yapısı belirlenen MTGase'ın 331 amino asitten oluştuğu ve molekül ağırlığının yaklaşık 38000 dalton olduğu tespit edilmiştir. MTGase'ın izoelektrik noktası yaklaşık pH 8.9 civarındadır. Optimum aktivite gösterdiği pH aralığı 5-8 olmakla birlikte pH 4 ve pH 9'da da aktivite gösterebilmektedir. Enzim 50°C'de optimum düzeyde aktiviteye sahip olup, 70°C'de birkaç dakika içinde aktivitesini kaybetmekte, 10°C'de ve donma noktasına yakın bir sıcaklıkta da bir miktar aktivite göstermektedir. MTGase enzimi, iki adet potansiyel glikolizasyon bölgesine (-Thr-Xxx-Asn-) sahip olduğu halde; enzimin monomerik ve basit protein yapısında olduğu düşünülmektedir. Ayrıca; bakır, çinko ve kurşun gibi ağır metallerin, MTGase'ın aktif bölgesini oluşturduğu ileri sürülen sistein kalıntısındaki tiyol grubuna bağlanması sonucu enzim aktivitesi inhibe olmaktadır (Motoki ve Seguro 1998, Yokoyama vd. 2004).

MTGase enzimi birçok gıda proteini, baklagil proteinleri, buğday gluteni, yumurta sarısı, yumurta beyazı proteinleri, aktinler, miyosin, fibrin, kazein, α-laktalbumin, β-laktoglobulin ve diğer bir çok albumin ile çağraz bağlanabilmektedir (Öner 2004). Gıda proteinleri MTGase enzimi ile inoküle edildiklerinde jel yapısı oluşturdukları saptanmıştır. Motoki ve Seguro (1998) tarafından bildirildiğine göre, MTGase enzimi aşağıda açıklanan özellikleri nedeniyle, film uygulamalarında kolaylıkla kullanılabilmekte ve protein tekstürü için oldukça yarar sağlamaktadır:

- Isıl işlem uygulamasıyla jelleşmeyen proteinler MTGase ile jelleşebilmektedir.
- Yüksek sıcaklıkta eriyen jeller TGase jelasyonundan sonra erimemektedir.
- Su-yağ emülsiyonlarında protein, şeker ve/veya tuz varlığında jelleşebilmektedir.
- Isıtma sonucu jel sıkılığı artmakta, oluşan jeller deterjan ve denatürantlarla çözündürülememektedir.

TGase enziminin birçok gıda proteini ile çapraz bağlantı oluşturduğu ve süt proteinlerinden özellikle kazeinlerin, esnek ve açık zincir yapılarından dolayı TGase enzimi için önemli bir substrat oldukları bildirilmektedir (Dickinson ve Yamamoto 1996, Kuraishi vd. 2001, O'Sullivan vd. 2002). Buna karşın, disülfid bağları ile stabilize

halde bulunan globüler yapıdaki serum proteinlerinin, TGase enzimi için uygun substrat niteliği taşımadığı belirlenmiştir. Ayrıca; kazein moleküllerinin globüler yapıdaki serum proteinlerine göre TGase enzimi ile daha hızlı tepkimeye girdikleri ve 2-4 saatlik bir inkübasyon sonunda neredeyse tamamıyla çapraz bağlanabildikleri belirtilmektedir (Lorenzen ve Schlimme 1998).

Serum proteinlerinden β-laktoglobulin, α-laktalbumin, sığır serum albumini ile bunların karışımlarının TGase enzimi ile çapraz bağlanabilmesi için, serum proteinlerinin üçüncül yapısını stabilize eden kimyasal bağların kırılıp (alkali koşullarda gerçekleştirilen reaksiyonla, ısı uygulamasıyla, proteolitik enzimlerle veya kimyasal yolla) reaksiyon için gerekli olan glutamin ve lisin amino asitlerinin enzim aktivitesine uygun hale getirilmesi gerektiği belirlenmiştir (Aboumahmoud ve Savello 1990). Buna karşın, kazein fraksiyonlarının TGase enzimi ile reaksiyona girebilmesi için hiçbir ön işlem gerekmediği saptanmıştır (Sharma vd. 2001).

Kazein fraksiyonlarından α_s-kazeinin, TGase enzimine karşı, β-kazein ve K-kazeinden daha az duyarlık gösterdiği bildirilmektedir. K-kazein ve β-kazeinin çapraz bağlanmaya karşı gösterdiği duyarlık K-kazeinin misellerin yüzeyinde yer alması, β-kazeinin ise daha yüksek oranda prolin içermesi ve enzim tepkimesinin daha kolay gerçekleşebileceği esnek ve açık bir yapıya sahip olması ile açıklanabilmektedir (Sharma vd. 2001). Ayrıca, TGase enzimi etkisiyle çapraz bağlanma sonucu oluşturulan dallanmış β-kazein polimerlerinin emülsiyonları stabilize etme özelliğine sahip bulunduğu belirlenmiştir (Lorenzen ve Schlimme 1998).

TGase enziminin süt proteinlerinin fonksiyonel nitelikleri üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda; serum proteinlerinin ısı ile denatürasyonu sonucu çapraz bağlanma yeteneklerinin arttığı ve denatürasyon derecesi ile çapraz bağlanma yeteneği arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir (Sharma vd. 2001). Isıl işlem ile serum proteinlerinin TGase'a karşı duyarlı hale gelmelerinin, serum proteinlerinin denatürasyona uğraması ve kazein miselleri ile etkileşimi sonucu oluşan değişimlerden kaynaklandığı açıklanmaktadır. Ancak, ısıl işlem ile sadece β-laktoglobulinin duyarlığının arttığı, α-laktalbuminin çapraz bağlanma oranının değişmediği

belirlenmiştir (Sharma vd. 2001). α-laktalbumin, pH 7'de bir mol başına bir kalsiyum iyonu bağlamaktadır, dolayısıyla kalsiyum iyonunun yapıdan uzaklaştırılması ve hidrofobik bağların kırılması sonucu; α-laktalbuminin çapraz bağlanma tepkimelerine daha duyarlı hale geldiği ileri sürülmektedir (Sharma vd. 2002).

TGase enzimi ile çapraz bağlanmanın, β-laktoglobulinin bazı fiziksel özellikleri üzerine etkisi araştırılmış ve bu amaçla kobay karaciğerinden elde edilen TGase kullanılmıştır. β-laktoglobulin polimerlerinin viskozitesinin, çapraz bağlı proteinlerin derişiminin artmasına bağlı olarak arttığı ve çapraz bağlı β-laktoglobulinin nötral pH'da ısıl işleme karşın belirgin bir kararlılık gösterdiği bulunmuştur. Doğal β-laktoglobulinin aksine, polimerize β-laktoglobulinin 95°C'de 30 dakikalık ısıl işlem uygulamasıyla daha sıkı ve pürüzsüz bir jel oluşturduğu ortaya konulmuştur. Bu bağlamda; TGase'ın yumuşak yapıda jel oluşturmak için gıda formülasyonlarında kullanılabileceği düşünülmektedir (Ya- Tanimoto ve Kinsella 1988).

Süt protein jellerinin stabilitesi (asit ve rennet jelleri) temel olarak kovalent olmayan zayıf interaksiyonlar yoluyla sağlanmaktadır. TGase enzimi ile protein molekülleri arasında oluşan kovalent bağlar daha kuvvetli bir kazein agregasyonuna neden olmakta ve TGase enzimi etkisiyle kazeinden ısıya karşı dirençli sıkı bir jel elde edilmektedir. Ayrıca, bu şekilde oluşan jellerde uzun süre depolamadan sonra bile herhangi bir serum ayrılması gözlenmemektedir (Lorenzen 2000, Shorsch vd. 2000). Ancak; TGase enzimi pH 6.7'deki yağsız süte tek başına ilave edildiğinde, herhangi bir jel oluşumu gözlenmemektedir. Çünkü, protein partikülleri arasındaki elektrostatik ve sterik itmeler çapraz bağların oluşumunu engellemektedir. Söz konusu elektrostatik ve sterik itmeye misel yüzeyinde yer alan K-kazein molekülleri neden olmaktadır. TGase enzimi, süt proteinlerinin elektrostatik ve sterik stabilizasyonlarının bozulması sonucu etkili olabilmektedir (Shorsch vd. 2000).

TGase'ın süt proteinlerinin fonksiyonel özelliklerinde yarattığı değişimler, süt ürünlerinin fiziksel, tekstürel ve duyusal özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Çizelge 2.2). TGase enzimi ile modifiye edilen süt proteinlerinin çözünebilme, su tutma, jelleşme, emülsifiye etme gibi fonksiyonel özelliklerinin artış gösterdiği ve süt

ürünleri içerisinde TGase enzimi kullanımına en uygun ürünün yoğurt olduğu ifade edilmektedir (Lorenzen vd. 2002, Yokoyama vd. 2004).

Çizelge 2.2 TGase enziminin farklı süt ürünlerindeki işlevleri (Lorenzen ve Schlimme 1998)

Ürün	Enzimatik Modifikasyonun Yarattığı Etki
Kazeinatlar	Jelleşme ve emülsifikasyon niteliğinde gelişme
Serum proteinleri	Paketleme filmlerinin oluşması ve niteliklerinin gelişmesi
Yoğurt	Pıhtı sıkılığında artış/ Serum ayrılmasında azalma
Taze-Olgun peynir	Ürün randımanında artış/ Serum ayrılmasında azalma
Dondurma	Su bağlama niteliğinde artış/ Jelleşme niteliğinde iyileşme
Krem şantiy	Fiziksel niteliklerin geliştirilmesi
Kurutulmuş süt ürünleri	Stabilitede artış

Süt proteinlerinin enzimatik modifikasyonu, izopeptid bağlarının oluşumunu sağlaması nedeniyle sadece teknolojik açıdan değil, aynı zamanda proteinlerin biyolojik değeri açısından da önem taşımakta ve merak uyandırmaktadır (Motoki ve Seguro 1998, Yüksel 2007). TGase enzimi, esansiyel amino asitlerce fakir olan proteinlerin yapısına, söz konusu amino asitleri çapraz bağlantı yoluyla dahil edebilmektedir. Metiyonin ve lisin gibi esansiyel amino asitler izopeptid bağı ile β-kazein zincirine başarılı bir şekilde bağlanabilmekte ve bu nedenle proteinlerin biyolojik değerinde artış sağlanabilmektedir (Yıldırım vd. 1996). Ayrıca, protein kaynaklı alerjik reaksiyonlar da TGase enzim aktivitesi ile azaltılabilmektedir (Yıldırım vd. 2000).

Gıda proteinlerinin TGase enzimi ile modifikasyonu, proteinlerdeki lisinin çeşitli kimyasal reaksiyonlardan korunmasına, lipidlerin ve/veya yağda eriyen maddelerin enkapsülasyonuna, ısı ve suya dayanıklı filmlerin oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Bunlara ilaveten, elastikiyeti ve su bağlama kapasitesini geliştirmekte, fonksiyonel nitelikleri modifiye etmekte ve esansiyel amino asitleri içeren çapraz bağlar vasıtasıyla daha yüksek besleyici değere sahip gıda proteinleri oluşturmaktadır (Özrenk 2006).

TGase'ın katalize ettiği çapraz bağlanmanın yoğurdun pıhtı sıkılığını ve viskozitesini artırdığı, ayrıca su bağlama kapasitesindeki artışa bağlı olarak serum ayrılmasında azalmaya neden olduğu bildirilmektedir (Yüksel ve Erdem 2010). Özellikle yağsız ya da az yağlı yoğurtlarda pıhtı sıkılığını artırdığı, serum ayrılmasını geciktirdiği ve depolama asitliğini de önemli ölçüde azalttığı belirtilmektedir (Kuraishi vd. 2001).

Yoğurt üretiminin en kritik işlem basamaklarından birisi, sütün toplam yağsız kurumadde içeriğinin artırılmasıdır. Kurumadde artırımının temel gerekçesi; son üründe arzu edilen fiziksel ve duyusal niteliklerin elde edilmesi ve yüksek düzeyde tüketici beğenisinin sağlanmasıdır (Özer 2006). Diğer taraftan, yoğurt jelinin oluşumunda önemli role sahip olan süt yağının azaltılmasına bağlı olarak, yoğurdun tekstürel özelliklerinde olumsuzluklar gözlendiği bilinmektedir (Tamime ve Robinson 1999).

Düşük yağ içerikli yoğurtlarla yapılan çalışmalarda Faergemand vd. (1999) tarafından, TGase'ın katalizlediği çapraz bağlanma sonucu, serum ayrılması açısından son ürünün kararlılığının geliştiği ve pıhtı sıkılığının arttığı ortaya konulmuştur. Araştırmacılar, TGase enzimi içeren az yağlı yoğurtların tekstür profilinin, TGase enzimi ilave edilmemiş tam yağlı yoğurdun tekstür profili ile oldukça benzerlik gösterdiğini belirlemiştir. Bu bağlamda; enzimatik modifikasyonun az yağlı yoğurtların stabilizasyonu için uygun bir yöntem olabileceği ileri sürülmüştür.

Set tipi yoğurt üretiminde TGase enzimi kullanımının yoğurdun tekstürel ve yapısal özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda (Faergemand vd. 1999, Yüksel ve Erdem 2010, Şanlı vd. 2011), TGase enzimi ilavesinin yoğurt örneklerinde pıhtı sıkılığını artırdığı ve serum ayrılmasını önemli oranda azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, TGase enzimi ilavesiyle, protein ve yağ içeriği azaltılan sütten üretilen yoğurt örneklerinin kontrol örneklerine benzerlik gösterdiği tespit edilmiş ve az yağlı yoğurt üretiminde TGase enzimi kullanımının kurumadde artırımı ve stabilizatör kullanımına

karşı alternatif bir yöntem olabileceği bildirilmiştir (Faergemand vd. 1999, Özer vd. 2007). Bunlara ek olarak, bazı araştırmacılar, TGase enzimi ilave edilmiş sütten yapılan yoğurt örneklerinin yapısal açıdan kurumadde içeriği artırılmış tam yağlı yoğurt örneklerine benzerlik gösterdiğini ortaya koymuşlardır (Lorenzen vd. 2002, Lorenzen ve Neve 2003).

Kırmacı vd. (2004) tarafından yağsız yoğurt üretiminde tekstürü iyileştirmek amacıyla MTGase enziminin kullanım olanaklarının araştırıldığı bir çalışmada, yağın uzaklaştırılması ile oluşan tekstürel zayıflığın iyileştirilmesinde TGase'ın etkili bir işleve sahip olabileceği ortaya konulmuştur. Enzimin, yoğurt bakterileri üzerinde kısmi inhibisyon etkisi gösterdiği ve buna bağlı olarak yoğurtta inkübasyon süresinin bir miktar uzadığı belirlenmiştir. Ayrıca; TGase enzimi kullanıldığında ısıl işlemin 75-80°C'ye kadar çekilebileceği ve kurumadde artırımının elemine edilebileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte; enzim miktarındaki artışa bağlı olarak klasik yoğurt tat-aromasında azalma olduğu tespit edilmiştir.

TGase enzimi ile işlem görmüş sütlerden üretilen yağsız süttozlarının az yağlı yoğurt üretiminde serum ayrılmasını azaltmak amacıyla kullanılabileceği bildirilmiştir. Imm ve Lee (2000), enzimatik modifikasyon ile su bağlama kapasiteleri ve jelleşme nitelikleri geliştirilen süttozlarından elde edilen jellerin reolojik özelliklerinin kontrole oranla daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

TGase'ın set tipi yoğurdun fiziko kimyasal özelliklerine etkisinin incelendiği bir diğer araştırmada; Öner vd. (2004), TGase enzimi ilave edilmiş sütten elde ettikleri yoğurt örneklerinin pıhtı sıkılığında artış ve serum ayrılmasında azalma belirlemişlerdir. Bununla birlikte; TGase enzimi ilavesinin yoğurdun temel aroma maddesi olan asetaldehit miktarında azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Benzer sonuç; Özer vd. (2007) tarafından, MTGase enzimi ile işlem görmüş sütten üretilen yağsız yoğurtlarda belirlenmiştir. Araştırmacılar, MTGase enziminin miktarındaki artışa bağlı olarak yoğurt örneklerinin asetaldehit içeriğinde azalma meydana geldiğini belirtirken, 21 günlük depolama sonucunda yoğurt örneklerinin fiziksel niteliklerinde gelişme olduğunu kaydetmişlerdir. Ayrıca; MTGase'ın yoğurt starter bakterilerinin gelişimini

yavaşlattığını ve artan enzim miktarına bağlı olarak asitlik gelişiminin azaldığını tespit etmişlerdir.

Süt proteinlerinin TGase enzimi ile enzimatik çapraz bağlanmasının set tipi yoğurtların fonksiyonel nitelikleri üzerine etkisinin incelendiği bir araştırmada Yüksel ve Erdem (2010), TGase'ın aktif olması durumunda belirlenen modifikasyonların daha dikkate değer olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca; TGase enzimi kullanımı ile tekstürel özellikleri geliştirilmiş, yağsız kurumadde içeriği düşük yağsız yoğurtların üretilebileceği tespit edilmiştir.

Süt proteinlerinin enzimatik yolla çapraz bağlantıya uğratılmasının set tipi yoğurt üretiminde kullanılabilme olanağının araştırıldığı bir diğer çalışmada; Lorenzen vd. (2002) sütün yoğurt bakterileri ile fermentasyonundan önce, TGase enzimi ile ön inkübasyona tabi tutulması halinde fermentasyon süresinin uzadığını; enzimin starter kültürle birlikte süte ilave edilmesi durumunda ise; fermentasyon süresinin değişmediğini tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, duyusal açıdan, TGase enzimi ilave edilen yoğurt örneklerinin klasik yoğurt aroma özelliklerini tam olarak taşımadığı belirtilmiştir.

Yoğurt üretiminde TGase enzimi kullanımına yönelik çalışmalarda; artan enzim miktarına bağlı olarak viskozitede artış meydana geldiği ve serum ayrılmasının önlendiği bildirilmektedir. Ancak; aşırı miktarda enzim kullanımının aynı etkiyi göstermediği, yüksek düzeyde ε- (γ- glutamin) lisin oluşumuna bağlı olarak; yoğurt jelinde uygun ağ yapısı oluşumunun engellendiği ve aşırı sıkılıktan dolayı yoğurdun kırılmaya karşı gösterdiği direncin azaldığı tespit edilmiştir (Kuraishi vd. 2001).

TGase enziminin süte ilave edilme aşamasının yoğurt üretim parametreleri üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda (Kuraishi vd. 2001, Lorenzen vd. 2002), sütün fermentasyon öncesi TGase enzimi ile muamele edilmesinin, inkübasyon süresinde uzamaya yol açtığı, ayrıca depolama sonrası daha düşük asitlik oluşumuna neden olduğu belirlenmiştir. TGase'ın süte starter kültürle birlikte katıldığı çalışmalarda ise, inkübasyon süresinde uzama gözlenmediği, ancak depolama sonrası asitlik gelişiminde

azalma olduğu tespit edilmiştir (Lorenzen vd. 2002, Yüksel ve Erdem 2010). Buna karşın; Lorenzen ve Schlimme (1998), enzim kullanımının depolama sürecinde asitlik profilinde (pH ve titrasyon asitliği) önemli bir farklılık yaratmadığını bildirmiştir.

Kırmacı vd. (2004), TGase enziminin fermentasyondan önce inaktive edilmesinin, yoğurdun nitelikleri üzerinde herhangi bir olumsuzluk yaratmadığını saptamıştır. Yüksel (2007), set tipi yoğurt üretiminde, enzimin aktif olması durumunda ortaya çıkan değişikliklerin daha belirgin olduğunu tespit etmiştir.

Fermentasyondan önce, TGase enzimi ile muamele edilen sütten üretilen set tipi yoğurtlarda, pıhtı sıkılığının iki kat arttığı, enzimin starter kültürle aynı anda süte ilave edildiği örneklerde ise beş kat artış olduğu belirlenmiştir (Lorenzen vd. 2002). Jel sıkılığında meydana gelen bu artış, protein ağ yapısında gözenek boyutunun küçülmesi ve proteinlerin yoğurt jeli içinde daha düzenli olarak dağılması ile açıklanabilmektedir.

Süt proteinlerinin TGase enzimi ile enzimatik modifikasyonunun set tipi yoğurdun nitelikleri üzerine etkisini araştıran Sezgin vd. (2008), TGase enzimi ile muamele edilen yoğurtlardan özellikle enzimin aktif olduğu örneklerde jel sıkılığında artış ve serum ayrılmasında azalma olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca; TGase'ın yoğurt üretiminde yağ ikame maddesi ve ekzopolisakkarit üreten starter kültür yerine kullanımının çok daha üstün niteliklere sahip ürün üretimine olanak sağladığı tespit edilmiştir.

Keçi sütü kullanılarak üretilen yoğurtlarda yapı ve konsistens üzerine MTGase'ın etkisinin belirlendiği bir çalışmada Farnsworth vd. (2003), enzim ilaveli örneklerin toplam kurumadde, pH ve protein içeriği gibi özelliklerinde kontrol örneğine oranla önemli bir farklılık olmadığını saptamışlardır. Bununla birlikte; enzim katkılı yoğurt örneklerinin viskozitesinde önemli oranda artış ve serum ayrılmasında azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca, enzim katkılı yoğurt örneklerinin kontrol örneğine oranla daha sıkı bir yapıya sahip oldukları elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir. Araştırmacılar, MTGase enzimi kullanımıyla oluşan enzimatik çapraz bağlanmanın keçi sütünden elde edilen yoğurtlarda konsistensi geliştirebilecek etkili bir metod olduğunu bildirmişlerdir.

Motoki ve Seguro (1998) ile Yüksel ve Erdem (2010) tarafından MTGase enzimi ile az yağlı ve kurumadde içeriği azaltılmış peynir ve dondurma gibi süt ürünlerinin üretilebileceği ifade edilmiştir.

Dondurulmuş sütlü tatlılarda TGase enzimi kullanımının kalite gelişimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Kuraishi vd. 2001), enzim katkılı dondurmada özellikle de buzlu yapı kusurunun görülebileceği düşük kalorili dondurmalarda; daha pürüzsüz bir yapı elde edildiği ve dondurmanın kaşıkla daha kolay alınabileceği bildirilmiştir. Bu durum, daha sıkı ve stabil bir yapı içerisinde buz kristallerinin oluşumunun engellenmesiyle açıklanmaktadır. Ayrıca; TGase'ın serum ayrılmasını önleme, su bağlama kapasitesi ve viskozitede artışa neden olma, buz kristallerinin oluşumunu önleme gibi etkilerine bağlı olarak stabilizatör kullanımına alternatif olabileceği bildirilmektedir.

Metwally (2007) tarafından, farklı oranlarda yağ ve stabilizatör içeren dondurmaların fiziksel ve duyusal özellikleri üzerine TGase enzimi kullanımının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; enzim kullanımıyla stabilizatör miktarının azaltılabileceği ve az yağlı dondurma üretiminin mümkün olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca; TGase'ın son ürünün fiziksel ve duyusal nitelikleri üzerinde olumlu etkiler yarattığı ifade edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Enzim

Yoğurt örneklerinin üretiminde *Streptoverticillum mobaraense*'den elde edilen ve 100 ünite/g aktiviteye sahip mikrobiyel kaynaklı transglutaminaz enzimi (Activa YG) kullanılmıştır. Enzim preparasyonu Ajinomoto (Ajinomoto Foods Europe Sas; Hamburg, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Enzim, 1 g süt proteini için 1 ünite olacak şekilde kullanılmıştır. Süte katılacak enzim miktarı, üretici firma tarafından önerilen oranlar dikkate alınarak ön denemeler yoluyla saptanmıştır.

3.1.2 Yağsız süttozu

Yoğurt örneklerinin üretiminde kullanılan rekonstitüye sütün hazırlanmasında Pınar Süt ve Mamülleri Sanayi A.Ş.'ne (İzmir) ait orta ısılı yağsız süttozundan yararlanılmıştır.

Yoğurt dondurması mikslerinin formüle edilmesinde yararlanılan Ova marka yağsız süttozu Akova Süt ve Gıda Mamülleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nden (Konya) temin edilmiştir.

3.1.3 Tereyağı

Yoğurt örneklerinden % 3 yağlı olanların üretiminde, yağ standardizasyonunu gerçekleştirmek üzere Arolez Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Ankara) firmasından temin edilen Dondo marka tereyağı kullanılmıştır.

3.1.4 Starter kültür

Yoğurt örneklerinin üretiminde Danisco A/S (Kopenhag, Danimarka) firmasından temin edilen Bulk Set 532 ve 601 kodlu yoğurt kültürleri karışım halinde kullanılmıştır.

3.1.5 Stabilizatör

Yoğurt dondurması mikslerinin hazırlanmasında Sherex IC9306 kodlu stabilizatör (Kerry Group, Ireland) ile Panisol EX kodlu stabilizatör (Danisco A/S, Kopenhagen/Denmark) kullanılmıştır. Ön denemeler sonucu kullanım miktarları saptanan stabilizatörlerin bileşimi aşağıdaki gibidir:

Sherex IC9306 (Stabilizatör 1): Locust Bean Gum (E410) + Sodyum Aljinat (E401) + Karragenan (E412)

Panisol EX (Stabilizatör 2): Mono- ve digliserid (E471) + Sodyum Karboksimetil Selüloz (E466) + Karragenan (E407)

3.1.6 Tatlandırıcılar

Yoğurt dondurması misklerinde tatlandırıcı olarak piyasadan temin edilen glikoz ve Pendik Nişasta A.Ş. (İstanbul) firmasından satın alınan maltoz kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

Yoğurt dondurmasının yapımında kullanılan yoğurtlar, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü Eğitim, Araştırma ve Uygulama İşletmesi'nde üretilmiştir. Yoğurt dışında kalan diğer miks bileşenlerinin karışım haline getirilmesi ve pıhtısı kırılan yoğurdun bu karışımla harmanlanması işlemleri Arolez Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne (Ankara) ait işletmede gerçekleştirilmiştir.

Yoğurt yapımında Tamime ve Robinson (1999) tarafından önerilen üretim yöntemi izlenmiştir. Yoğurt örneklerinin üretim akış şeması şekil 3.1'de verilmiştir. Yağsız süttozundan, % 13 kurumadde oranına sahip olacak şekilde hazırlanan 150 L rekonstitüye süt önce yağsız ve % 3 yağlı yoğurt örneklerinin üretiminde kullanılmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Yağsız ve yağlı sütler daha sonra kendi içlerinde üç eşit kısma ayrılmış (25 L) ve birer kısımları kontrol örneklerinin (KYz ve KYg) üretiminde kullanılmıştır. Geriye kalan ikişer kısım yağsız ve yağlı sütlerin bir bölümüne (TGaseYzÖ ve TGaseYgÖ), ısıl işlem öncesi, 42°C'de enzim ilave edilmiş ve sütler

aynı sıcaklık derecesinde 3 saat bekletilmiştir. Bunu takiben 90°C'de 5 dakika ısıl işleme tabi tutulan sütler 42°C'ye soğutulmuş ve % 2 oranında starter kültür ilave edilerek inkübasyona bırakılmıştır. Kalan son kısım yağsız ve yağlı sütler (TGaseYzS ve TGaseYgS), ısıl işlemden sonra 42°C'de enzim ilavesini takiben 3 saat bekletilmiş ve bu sürenin bitiminde yoğurda işlenmiştir. Yoğurt örnekleri, 25°SH asitlik değerine ulaşılıncaya kadar inkübe edilmiştir. Yoğurtlar, soğutulup 5±1°C'de bir gece depolandıktan sonra, analizler için gerekli miktarda örnek alımını takiben Arolez Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne (Ankara) ait işletmeye götürülmüştür.

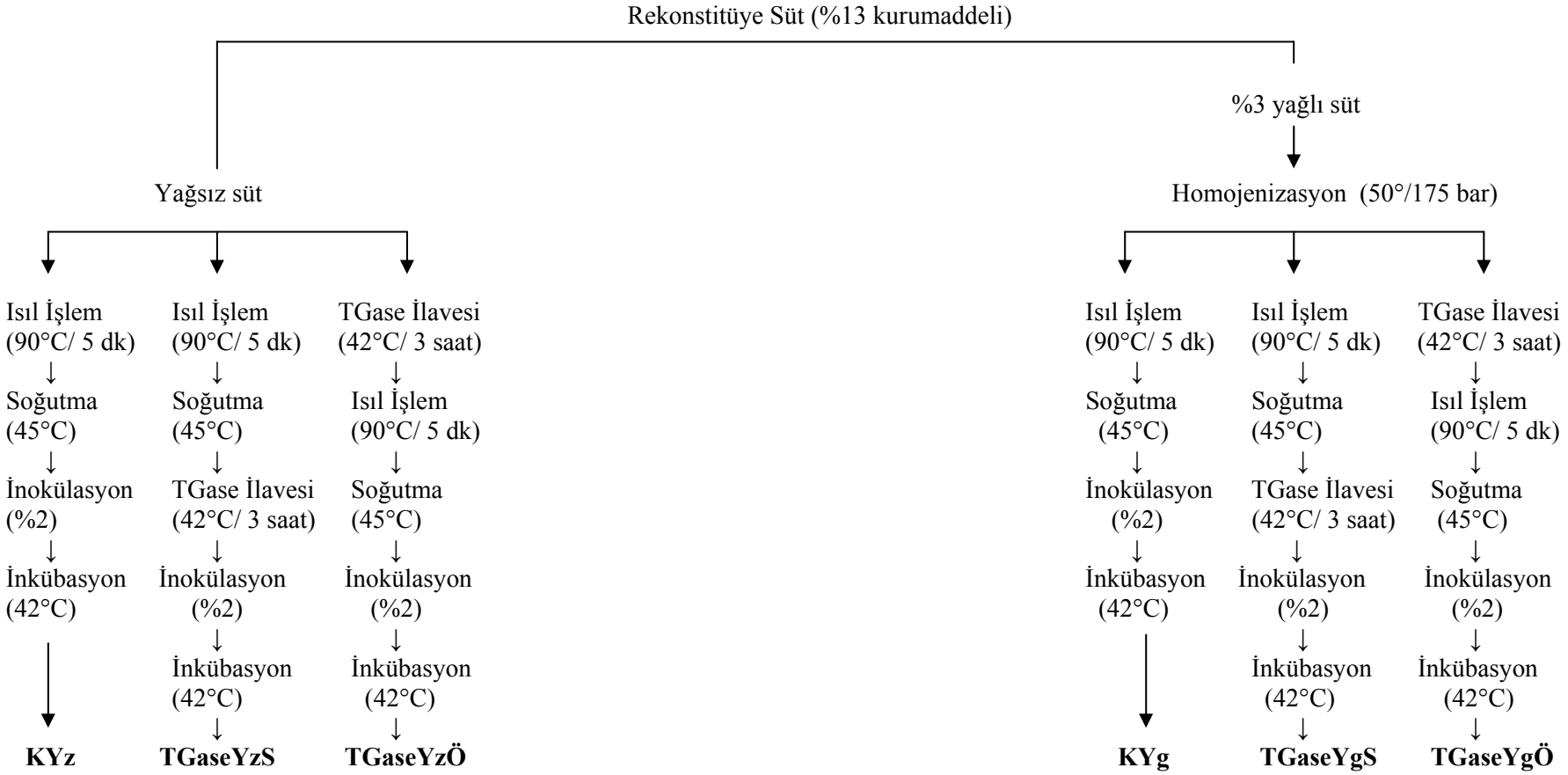
Yoğurt dışında kalan diğer miks bileşenleri (süttozu, glikoz ve stabilizatör) Çizelge 3.1'de belirtilen oranlarda karışım tankına alınmış ve 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımın sıcaklığı daha sonra yaklaşık 50°C'ye çıkarılmış ve içerisine maltoz ilave edilmiştir. Karışım, 85°C'de 10 dakika süreyle ısıl işlem uygulamasından sonra 50-60°C'ye soğutulmuş ve 150-200 bar basınç altında homojenize edilmiştir. Sıcaklığı 12-15°C'ye düşürüldükten sonra olgunlaştırma tankına alınarak bir gece olgunlaşmaya bırakılmıştır.

Çizelge 3.1 Miks bileşiminde yer alan yoğurt dışındaki diğer bileşenler ve miktarları

Bileşen	Miktar (%)
Yağsız süttozu	2,67
Glikoz	29,24
Maltoz	8,03
Stabilizatör 1	0,27
Stabilizatör 2	1,51

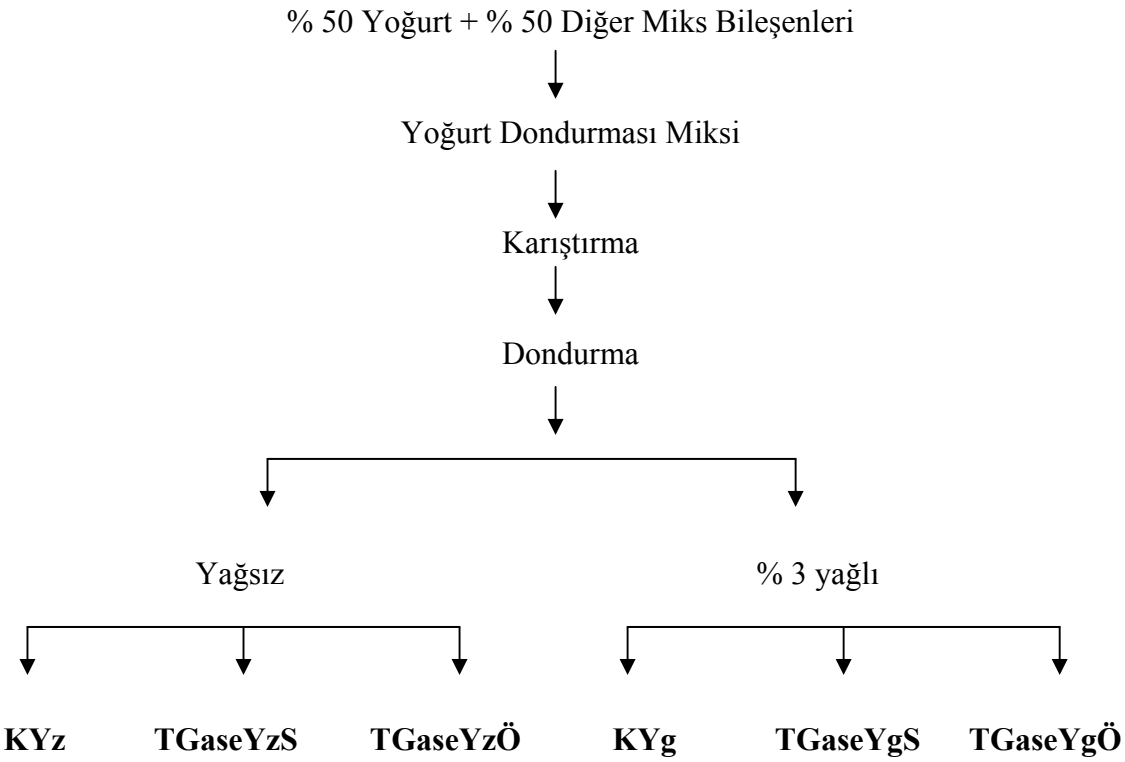
Yoğurt dondurmalarının üretiminde 50 L miks hacmi ile çalışılmıştır. Dondurma miksi hazırlanırken, yoğurt ve diğer bileşenler 1:1 (% 50 yoğurt + % 50 diğer miks bileşenleri) oranında karıştırılmıştır. Yoğurt ve diğer bileşenlerden gerekli miktarda tartımlar yapılarak hazırlanan yoğurt dondurması miksleri, homojen bir karışım haline

getirilmiş ve analizler için gerekli miktarda örnek alınımından sonra Hoyer marka dondurma makinasında (Tetra Laval, Sweden) % 50 hacim artışı sağlanacak şekilde dondurulmuştur. Örnekler, 200 ml'lik kaplarda ambalajlanarak analize alınıncaya kadar -18°C'de depolanmıştır. Şekil 3.2'de yoğurt dondurması örneklerinin yapım aşamaları şema halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Yoğurt örneklerinin üretim şeması

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYzÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYgS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt; TGaseYgÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt.



Şekil 3.2 Yoğurt dondurması örneklerinin üretim şeması

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

3.3 Uygulanan Analizler

3.3.1 Yağsız süttozu analizleri

Rekonstitüye sütün hazırlanmasında kullanılan yağsız süttozunun toplam kurumadde içeriği gravimetrik metot ile (Anonymous 1964), titrasyon asitliği Amerikan Süttozu Enstitüsü'nün (ADMI) 916 numaralı bülteninde (Anonymous 1971) bildirilen yönteme göre belirlenmiştir. Toplam protein içeriği, Uluslararası Sütçülük Federasyonu (IDF) (Anonymous 1993) tarafından önerilen yönteme göre tayin edilen toplam azot miktarının 6,38 faktörü ile çarpımı sonucu saptanmıştır. Denatüre olmamış serum

proteini azotu indeksinin (WPNI) belirlenmesinde NADRG (Anonymous 1978) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

3.3.2 Tereyağı analizleri

Yoğurt örneklerinin yağ standardizasyonu için kullanılan tereyağının toplam kurumadde ve yağ içerikleri TS 1331 (Anonim 1995) sayılı Tereyağı Standardı'nda bildirilen yöntemlerle belirlenmiştir.

3.3.3 Yoğurt analizleri

Yoğurt örneklerinde toplam kurumadde, yağ ve titrasyon asitliği TS 1330 (Anonim 1989) sayılı Yoğurt Standardı'nda bildirilen yöntemlere göre belirlenmiştir. Yoğurt örneklerinin pH değeri, Sartorius marka PB-11 dijital pH metre ile belirlenmiştir. Örneklerin viskozitesi standart bir karıştırma işleminin ardından Haake (VT181) marka viskozimetre (England) ve FL 100 tipi başlık kullanılarak tespit edilmiştir.

3.3.4 Miks analizleri

3.3.4.1 Yağ

Mikslerin yağ içeriği, modifiye Gerber yöntemi ile (Anonymous 1977) belirlenmiştir. Bunun için, Gerber peynir bütirometresine 2,65 g miks örneği tartılmış, üzerine 12 ml Neusal çözeltisi ilave edilerek 65°C'deki su banyosunda 2 dakika bekletilmiş ve bunu takiben 3 dakika santrifüj edilmiştir.

3.3.4.2 Titrasyon asitliği

Yoğurt dondurması mikslerinin titrasyon asitliğinin belirlenmesinde Arbuckle (1984) tarafından bildirilen yöntem kullanılmıştır. Miks örneğinden, 100 ml'lik erlene 9 g tartılmış, ardından % 1'lik fenolfitalein indikatörü damlatılarak 0.1 N NaOH ile hafif

pembe renk 30 saniye sabit kalana kadar titre edilmiş ve % laktik asit cinsinden hesaplama yapılmıştır.

3.3.4.3 pH

Mikslerin pH değeri, Sartorius marka PB-11 dijital pH metre ile belirlenmiştir.

3.3.4.4 Viskozite

Miks örneklerinin viskozitesi, Haake marka (VT181) viskozimetre (England) yardımıyla ve MV II tipi başlık kullanılarak belirlenmiştir.

3.3.5 Yoğurt dondurması analizleri

3.3.5.1 Toplam kurumadde

Yoğurt dondurmalarının toplam kurumadde içeriği gravimetrik yöntemle (Anonim 1989) belirlenmiştir.

3.3.5.2 Yağ

Örneklerin yağ içeriği modifiye Gerber yöntemi ile (Anonymous 1977) belirlenmiştir.

3.3.5.3 pH

pH değeri Sartorius marka PB-11 dijital pH metre ile saptanmıştır.

3.3.5.4 Hacim artışı

Yoğurt dondurmalarının hacim artışının belirlenmesinde, Hyde ve Rothwell (1973) tarafından bildirilen yöntem kullanılmıştır. Darası alınan 250 ml'lik ölçü silindirine, 250 ml çizgisine kadar önce miks doldurulup tartım alınmış; ardından hava boşluğu

kalmayacak şekilde dondurma doldurularak tartım alınmıştır. Sonuçlar aşağıda belirtilen formül yardımıyla hesaplanmış ve % olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Hacim Artışı (\%)} = \frac{\text{Miksin Ağırlığı - Dondurma Ağırlığı}}{\text{Dondurma Ağırlığı}} \times 100$$

3.3.5.5 Erime oranı ve şekil muhafazası

Erime oranı ve şekil muhafazasının belirlenmesi amacıyla Cottrell vd. (1979) tarafından bildirilen yöntem kullanılmış ve söz konusu analizler birlikte yürütülmüştür. Yoğurt dondurmaları plastik kaptan alınarak ağırlıkları belirlenmiş ve üzerinde 2.5 mm boyutunda gözenekli tel süzgeç bulunan huniler üzerine yerleştirilmiştir. Hunilerin altına eriyen kısımların toplanması amacıyla ağırlığı bilinen ölçü silindirleri yerleştirilmiştir. Kalıp halinde bulunan örneklerin 25±1°C'de ilk uzunluk ve derinliği ölçülmüş ardından 6., 30., 60., 90., ve 120. dakikalardaki uzunluk ve derinlikleri ile birlikte ölçü silindirinde toplanan eriyen kısımların ağırlığı ölçülmüştür. Sonuçlar aşağıda belirtilen formüller yardımıyla hesaplanmış ve % olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Şekil Muhafazası (\%)} = \frac{\text{İlk Uzunluk x Son Derinlik}}{\text{İlk Derinlik x Son Uzunluk}} \times 100$$

$$\text{Erime Oranı (\%)} = \frac{\text{Eriyen Kısmın Ağırlığı}}{\text{Dondurmanın Ağırlığı}} \times 100$$

3.3.5.6 Tekstürel analiz

Yoğurt dondurması örneklerinin tekstür profil analizi, TA.XT Plus (Stable Micro Systems Ltd., Surrey/England) marka tekstür analiz cihazı yardımıyla El- Nagar vd. (2002) tarafından bildirilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Örnekler, oda

sıcaklığında 10 dakika bekletilmiş ve ardından 25 mm batma derinliği, 1 mm/s batma ve geri çekilme hızına sahip 6 mm'lik prob kullanılarak tekstürel özelliklerine ilişkin bazı parametreler belirlenmiştir. Değerlendirmeye alınan parametreler; hardness ve adhesiveness değerleridir.

3.3.5.7 Mikrostrüktürel analiz

Yoğurt dondurmalarının mikro yapısının belirlenmesinde örnekler, Robards ve Sleytr (1985) ve Humbel ve Müller (1986) tarafından bildirilen yöntemin Kutlu ve İşcan (Anadolu Üniversitesi, Bitki İlaç ve Bilimsel Araştırmalar Merkezi, Eskişehir) tarafından modifiye edilen şekline göre analize hazırlanmıştır. Yoğurt dondurması örnekleri sıvı azot içine (-196°C) aktarılmış ve 1-2 mm parça alınmıştır. Alınan parçalar viyallere aktarılarak içinde % 2.15 (w/v) uranil asetat, % 3.23 (v/v) glutaraldehit ve % 1 (w/v) osmium tetroksit bulunan metanol tampon çözeltisinde -196°C'de tutulmuştur. Ardından -80°C'de 4 gün, -40°C'de 1 gün ve -20°C'de 2 gün bekletilmek suretiyle fiksasyon sağlanmıştır. Bunu takiben örnekler, -20°C'ye soğutulmuş % 100 metanol ile 3 kez yıkanmıştır. -20°C'de etanol: Lowicryl çözeltisi 1:1 ile tek yıkama yoluyla gömme işlemi gerçekleştirilmiş, ardından aynı sıcaklıkta UV polimerizasyonu yapılmıştır. Kesit alındıktan sonra FEI Company, Tecnai^{TM} serisi G2 Spirit model transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile incelenerek görüntüleme yapılmıştır.

3.3.5.8 Duyusal değerlendirme

Yoğurt dondurması örneklerinin duyusal değerlendirmesi TS 4265 sayılı "Dondurma ve Süt Esaslı Ürünler" standardında (Anonim 1992) belirtilen kriterlere (Çizelge 3.2) göre yapılmıştır. Panel grubu Arolez Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Ankara) firması çalışanları ve Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü öğretim üyeleri arasından seçilen, duyusal değerlendirme konusunda deneyimli 13 kişiden oluşmuştur. Panelistler tarafından örneklerin renk-görünüş, yapı-kıvam ve tat-koku özellikleri 2-5 arasında değişen puanlarla 2'şer kez değerlendirmeye alınmıştır. Örnekler panelistlere oda sıcaklığında beş dakika bekletildikten sonra verilmiş ve her tadım arasında su kullanılmıştır.

Çizelge 3.2 Yoğurt dondurmalarının duyusal değerlendirme kriterleri

ÖZELLİK	NİTELİK	PUAN
RENK VE GÖRÜNÜŞ	Çok iyi ……...…..	5
	İyi ……...……..	4
	a) Net olmayan renk	
	b) Görünümü biraz bozuk	
	Az kusurlu …….....	3
	a) Tabii olmayan renk	
	Kusurlu ……....……	2
	a) Görünümü çok bozuk	
YAPI VE KIVAM	Çok iyi ……....…….	5
	İyi ……....……	4
	a) Sert ve sıkı	
	Az kusurlu ……...……	3
	a) Delikli hava kabarcıklı	
	b) Yapışkan	
	c) Gevşek, dağılan	
	d) Çamurumsu, ıslak	
	Kusurlu ……....……	2
	a) Kristalleşmiş	
TAT VE KOKU	Çok iyi ……....……	5
	İyi ……....……	4
	a) Düşük asitlik (çeşidine göre)	
	b) Şeker azlığı (çeşidine göre)	
	c) Şeker fazlalığı (çeşidine göre)	
	Az kusurlu …….....	3
	a) Acı, yanığımsı, maltımsı	
	b) Sütten gelebilecek yem kokusu	
	c) Aroma eksikliği	
	d) Aroma fazlalığı	
	e) Pişmiş tat	
	f) Yüksek asitlik	
	Kusurlu ……....……	2
	a) Küf tadı	
	b) Ekşimsi	
	c) Mayamsı	
	d) Acı ve sabunumsu	

3.3.6 İstatistiksel analiz

Yoğurt dondurması örneklerinin üretimi iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçları faktöriyel düzende 2 faktörlü olarak varyans analizi tekniği ile analiz edilmiştir (Düzgüneş vd. 1987). Yoğurt dondurması örneklerinin erime oranı ve şekil muhafazası verileri faktöriyel düzende tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile analiz edilmiştir (Düzgüneş vd. 1987). Tekrarlanan ölçümler süre faktörünün seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi sonucunda, farklı bulunan grup ortalamaları arasındaki farkların belirlenmesinde çoklu karşılaştırma testlerinden Tukey testi kullanılmıştır.

İstatistiksel değerlendirmeler için; SPSS 15.0 for Windows istatistik programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Yararlanılan hammaddelerin nitelikleri

Yoğurt örneklerinin üretiminde yararlanılan rekonstitüye sütün hazırlanmasında kullanılan yağsız süttozunun bazı nitelikleri çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Rekonstitüye sütün hazırlanmasında kullanılan yağsız süttozunun bazı nitelikleri

Nitelik	
Toplam kurumadde (%)	96,95
Titrasyon asitliği (°SH)	7,11
Toplam protein (%)	32,47
Serum proteini azotu indeksi (mg UDWPN/g)*	5,25

* Denatüre olmayan serum proteini azotu

Yoğurt örneklerinden % 3 yağlı olanların üretiminde kullanılan tereyağının % 80 oranında yağ ve % 2,6 oranında süt yağsız kurumadde içerdiği saptanmıştır.

4.2 Yoğurt Örneklerinin Nitelikleri

Yoğurt dondurmalarının yapımında kullanılan yağlı ve yağsız yoğurt örneklerinin bazı nitelikleri çizelge 4.2'de standart hatalarıyla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.2 Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların bazı nitelikleri[1)]

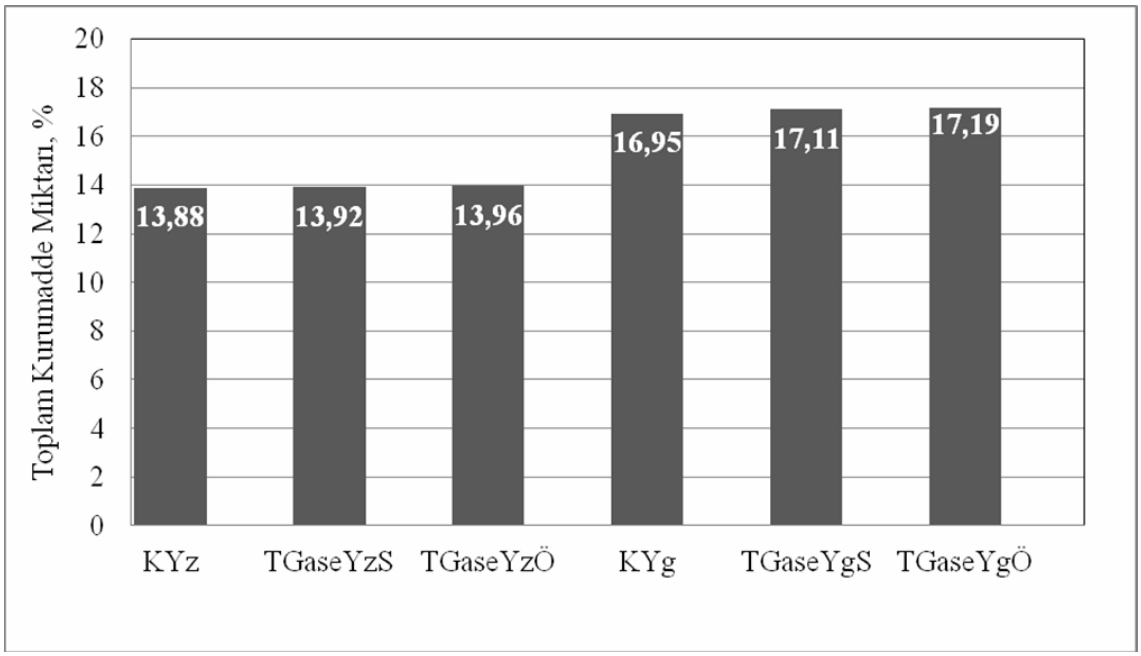
Örnekler[2)]	Toplam kurumadde (%)	Yağ (%)	pH	Titrasyon asitliği (°SH)	Viskozite (cP)
KYz	13,88±0,34	0,0	4,22±0,07	57,50±0,94$^{A3)}$	1600±73,60$^{Cb3)}$
TGaseYzS	13,92±0,34	0,0	4,27±0,07	55,93±0,94^{AB}	4300±73,60^{Ab}
TGaseYzÖ	13,96±0,34	0,0	4,31±0,07	53,55±0,94^{B}	3200±73,60^{Bb}
KYg	16,95±0,34	3,0±0,0	4,19±0,07	58,45±0,94^{A}	2650±73,60^{Ca}
TGaseYgS	17,11±0,34	3,0±0,0	4,23±0,07	56,50±0,94^{AB}	4600±73,60^{Aa}
TGaseYgÖ	17,19±0,34	3,0±0,0	4,23±0,07	55,80±0,94^{B}	3600±73,60^{Ba}

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYzÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYgS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt; TGaseYgÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt.

[3)] A-C aynı sütunda aynı yağ içeriğine sahip örnekler arasında enzim ilavesi bakımından farklılığı; a,b aynı sütunda bulunan örnekler arasında yağ oranı bakımından farklılığı ifade etmektedir.

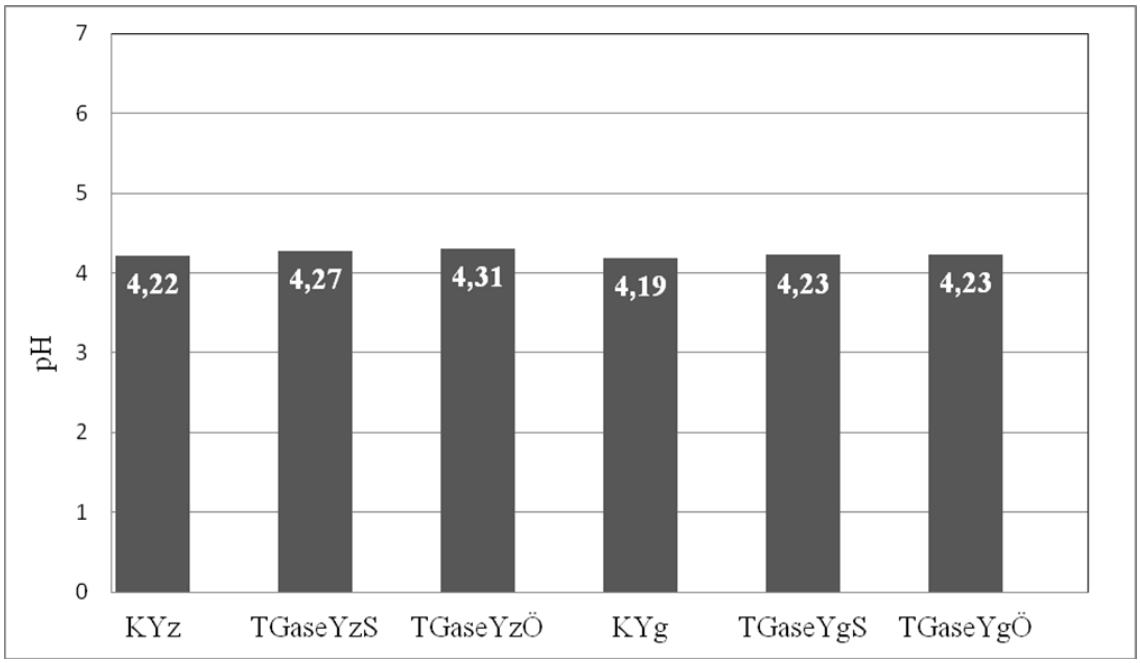
Çizelge 4.2 ve şekil 4.1'de yer alan değerlerden, toplam kurumadde içeriğinin, yağsız yoğurt örneklerinde % 13,88±0,34 ile % 13,96±0,34 arasında; yağlı yoğurt örneklerinde ise % 16,95±0,34 ile % 17,19±0,34 arasında değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. TS 1330 sayılı Yoğurt standardında (Anonim 1989) yoğurtlarda süt yağsız kurumadde içeriğinin en az % 12 olması gerektiği hükme bağlanmıştır. Örnekler bu bakımdan değerlendirildiğinde, standart hükmüne uygunluk gösterdiği söylenebilir.



Şekil 4.1 Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların toplam kurumadde değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYzÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYgS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt; TGaseYgÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt.

Yoğurt örneklerinin pH değerleri çizelge 4.2'de verilmiş ve şekil 4.2'de grafik halinde gösterilmiştir.

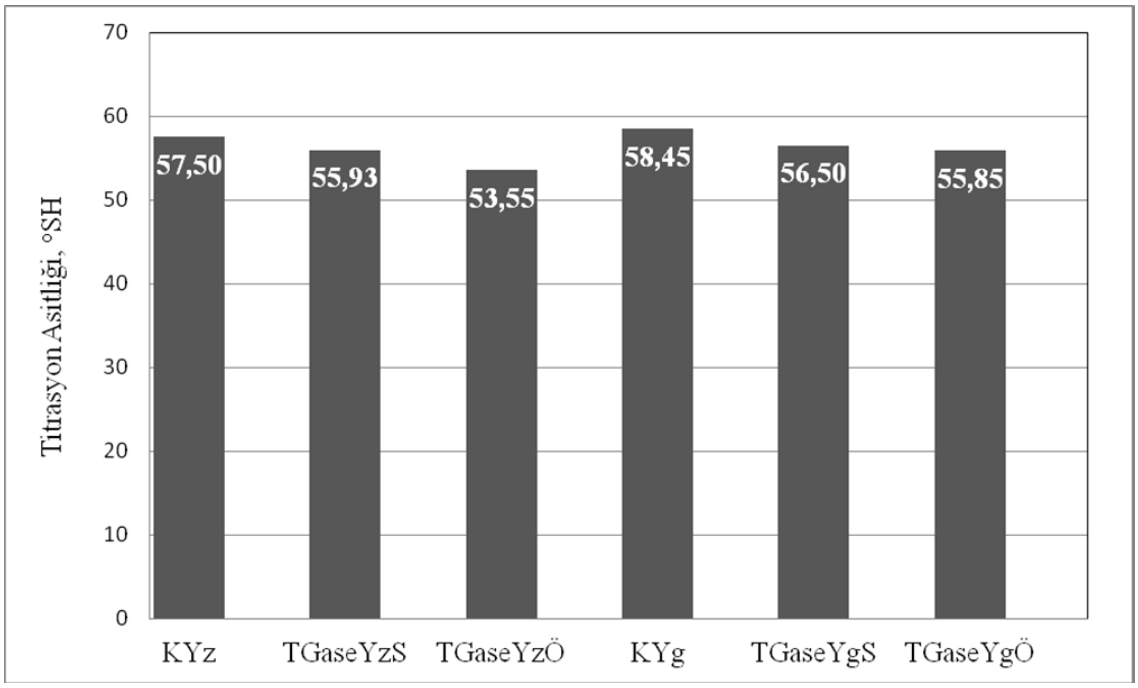


Şekil 4.2 Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların pH değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYzÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYgS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt; TGaseYgÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt.

Çizelge 4.2 ve şekil 4.2'de yer alan verilerden, pH değerinin 4,19±0,07 ile 4,31±0,07 arasında değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. pH değeri, yağlı ve yağsız kontrol örneklerinde enzim katkılı örneklere kıyasla biraz daha düşük olmakla birlikte, istatistiksel değerlendirme sonuçları, TGase enzimi ilavesinin yoğurt örneklerinin pH değerleri üzerinde önemli bir etki yaratmadığını ortaya koymuştur ($p>0.05$). Benzer sonuçlar, TGase enziminin set tipi yoğurdun nitelikleri üzerine etkisini araştıran Lorenzen ve Schlimme (1998) ile Şanlı vd. (2011) tarafından da elde edilmiştir. Araştırmacılar, TGase enzimi ilavesiyle üretilen yoğurt örneklerinde pH değerinin kontrol örneğine göre önemli bir farklılık göstermediğini belirlemişlerdir. Ayrıca; Lorenzen ve Schlimme (1998) tarafından TGase enzimi ilavesinin yoğurt örneklerinin pH değerleri üzerinde 14 günlük depolama sürecinde önemli bir etki yaratmadığı belirlenmiştir.

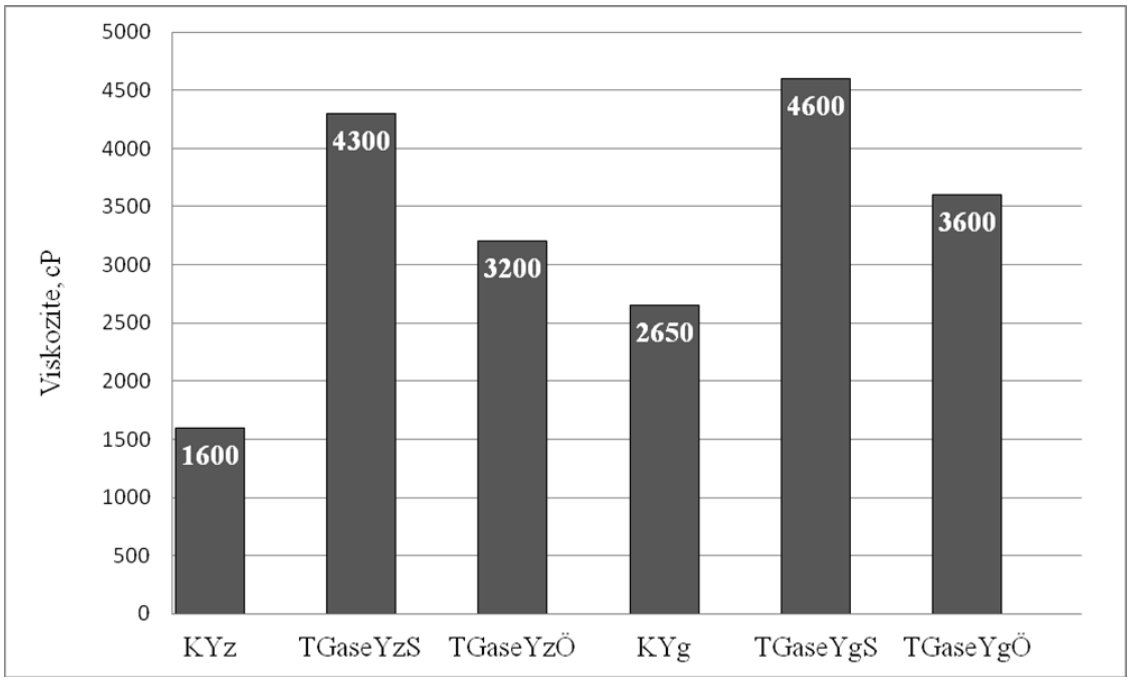
Çizelge 4.2 ve şekil 4.3'de yer alan titrasyon asitliği değerleri incelendiğinde, yoğurt örneklerinin, 53,55±0,94 °SH ile 58,45±0,94 °SH arasında değişen değerlere sahip oldukları görülmektedir. TGase enzimi kullanımı yoğurt örneklerinin titrasyon asitliği üzerinde önemli bir etki yaratmıştır ($p<0.05$). TGase enzimi katkılı yoğurt örneklerinde (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) titrasyon asitliğinin kontrol örneklerinden önemli derecede ($p<0.05$) düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, önce enzim ilave edilip daha sonra ısıl işleme tabi tutulan sütten üretilen, dolayısıyla enzimin inaktif hale geldiği yoğurt örneklerinde (TGaseYzÖ, TGaseYgÖ) de titrasyon asitliğinin, enzim inaktivasyonunun gerçekleşmediği yoğurt örneklerine (TGaseYzS ve TGaseYgS) kıyasla daha düşük ($p<0.05$) olduğu saptanmıştır. TGase enzimi katkılı örneklerde gözlenen bu durum, olasılıkla yoğurt bakterilerinin faaliyetinin kısmen yavaşlamasından kaynaklanmaktadır. Yüksel ve Erdem (2010) tarafından bildirildiğine göre, enzimle çapraz bağlantıya maruz kalan süt proteinleri doğal süt proteinlerine göre yoğurt bakterilerinin proteolitik enzimleri için daha az elverişli substrat haline gelmektedir. Bilindiği üzere, *Streptococcus thermophilus* ile *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* arasında simbiyotik bir ilişki bulunmaktadır. *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus*'un sentezlediği proteazlar yardımıyla açığa çıkan oligopeptidler endo ve ekzopeptidazlar aracılığı ile düşük molekül ağırlığına sahip peptidlere ve aminoasitlere parçalanmakta ve bu azotlu bileşikler de *S. thermophilus* tarafından gelişim faktörü olarak kullanılmaktadır (Bockelmann vd. 1992). Faergemand vd. (1999) ile Tamime ve Robinson (1999) tarafından, TGase enziminin etkisiyle peptid boyutunda meydana gelen artışa bağlı olarak, yoğurt bakterilerinin özellikle laktobasillerin proteolitik aktivitesinin azalacağı ve buna bağlı olarak streptekokların gelişiminin dolayısıyla laktik asit üretiminin yavaşlayacağı ileri sürülmüştür. Nitekim, bu konuda yürütülen kimi çalışmalarda, TGase enzimi varlığında yoğurt bakterilerinin gelişiminin kısmen yavaşladığı ortaya konulmuştur (Lorenzen ve Schlimme 1998, Kırmacı vd. 2004).



Şekil 4.3 Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların titrasyon asitliği değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYzÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYgS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt; TGaseYgÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt.

Yoğurt örneklerinin viskozite değerleri çizelge 4.2'de verilmiş ve şekil 4.4'de grafik halinde gösterilmiştir. Örneklerin viskozite değerleri, 1600±73,60 cP ile 4600±73,60 cP arasında değişim göstermiştir.



Şekil 4.4 Yoğurt dondurması örneklerinin yapımında kullanılan yoğurtların viskozite değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYzÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağsız yoğurt; TGaseYgS: Isıl işlemden sonra TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt; TGaseYgÖ: Isıl işlemden önce TGase ile muamele edilen sütten üretilen yağlı yoğurt.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.4'de yer alan verilere göre, TGase enzimi katkılı yoğurt örneklerinde viskozite değerlerinin, enzimin aktif ya da inaktif durumda olmasından bağımsız olarak, kontrol örneklerine göre belirgin bir artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Lauber vd. (2000) tarafından TGase enziminin teşvik ettiği çapraz bağlantı sonucu yoğurtta viskozitenin artış gösterdiği bildirilmektedir. Bilindiği üzere, viskozite ile bir sistemde yer alan makromoleküllerin sayısı ve büyüklüğü arasında yakın bir ilişki mevcuttur (Cottrell vd. 1980). Bu bağlamda, TGase enziminin etkisiyle çapraz bağlantı sonucu proteinlerin molekül boyutlarındaki artışın yoğurt örneklerinin viskozite değerlerinin de yükselmesine neden olduğu düşünülmektedir.

Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları, yoğurt örneklerinin viskozitesi üzerinde yağ x enzim interaksiyonunun önemli ($p<0.01$) bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. TGase enziminin yoğurt üretiminde kullanılabilme olanağının araştırıldığı bir çalışmada Kuraishi vd. (2001), enzim uygulaması ile proteinlerin su

bağlama kapasitelerinin artırılmasının sonucu olarak; set tipi ve pıhtısı karıştırılmış (stirred) yoğurt örneklerinin viskozitesinde kabul edilebilir düzeyde artış olduğunu belirlemişlerdir. Farnsworth vd. (2006) tarafından, set tipi yoğurtlara kıyasla pıhtısı karıştırılmış (stirred) yoğurtlarda karıştırma işlemi ile yoğurt jelinin üç boyutlu ağ yapısının tahrip edilmesi sonucu viskozitenin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir. Adı geçen araştırmacılar tarafından, keçi sütü kullanılarak üretilen pıhtısı karıştırılmış (stirred) yoğurtlarda TGase kullanımı ile proteinlerin su bağlama kapasitesindeki artışa bağlı olarak viskozitenin önemli oranda arttığı belirlenmiş ayrıca, TGase kullanımının yoğurt üretiminde kurumadde artırımı ve stabilizatör kullanımına alternatif olabileceği vurgulanmıştır. Bu bilgilerin ışığında, enzimatik modifikasyonla süt proteinlerinin su bağlama özelliklerindeki artışın, deneme yoğurtlarının viskozitesindeki artış üzerinde etkili diğer bir faktör olduğu düşünülmektedir.

Enzim katkılı örnekler arasında, TGase enziminin süte ısıl işlemden sonra ilave edilmesine bağlı olarak enzim inaktivasyonunun gerçekleşmediği yoğurtlarda (TGaseYzS ve TGaseYgS) viskozite değerlerinin enzimin inaktif durumda olduğu yoğurtlarda (TGaseYzÖ ve TGaseYgÖ) saptanan değerlerden önemli düzeyde ($p<0.01$) yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, Kırmacı vd. (2004) ve Özer vd. (2007) ısıl işlemden sonra TGase enzimi ile muamele edilen sütten ürettikleri yoğurt örneklerinde viskozite değerlerinin kontrol örneğine göre yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Lorenzen ve Schlimme (1998) tarafından disülfid bağları ile stabilize halde bulunan globüler yapıdaki serum proteinlerinin TGase enzimi için uygun substrat niteliği taşımadığı belirlenmiştir. Buna karşın, Sharma vd. (2001), serum proteinlerinin ısıyla denatürasyonu sonucu çapraz bağlanma yeteneklerinin arttığını ve denatürasyon derecesi ile çapraz bağlanma yeteneği arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu bildirmektedir. Isıl işlemden sonra sütün TGase enzimiyle muamele edilmesinin yoğurt örneklerinin viskozite değerinde meydana getirdiği dikkate değer artış, serum proteinlerinin uygulanan ısıl işlemle TGase enzimine karşı duyarlı hale gelmesi, sonuç olarak enzim-substrat ilişkisinin desteklenmesi ve ayrıca ortamda enzimin aktif durumda olması ile açıklanabilmektedir.

Diğer taraftan, TGase enzimi katkılı yoğurt dondurması örneklerinden yağsız olanların (TGaseYzS, TGaseYzÖ) viskozite değerlerinin yağlı kontrol yoğurt örneğinde (KYg) saptanan değerden önemli sayılacak düzeyde yüksek ($p<0.01$) olduğu gözlenmektedir. Benzer sonuçlar; düşük yağ içerikli yoğurtlarla yaptıkları çalışmalarında Faergemand vd. (1999) tarafından da belirlenmiş olup, adı geçen araştırmacılar enzimatik modifikasyonun az yağlı yoğurtların stabilizasyonu için uygun bir yöntem olabileceğini açıklamışlardır.

4.3 Miks Örneklerinin Nitelikleri

Miks örneklerinde saptanan yağ, pH, titrasyon asitliği ve viskozite değerleri Çizelge 4.3'de standart hatalarıyla birlikte verilmiştir.

Miks örneklerinin çizelge 4.3 ve şekil 4.5'de yer alan pH değerleri incelendiğinde, enzim katkılı yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) hazırlanan miks örneklerinin kontrol örneklerinde saptanan pH değerine yakın değerlere sahip oldukları anlaşılmaktadır. İstatistiksel değerlendirme sonuçları da, TGase enzimi kullanımının miks örneklerinin pH değeri üzerinde önemli bir etki yaratmadığını ortaya koymuştur ($p>0.05$).

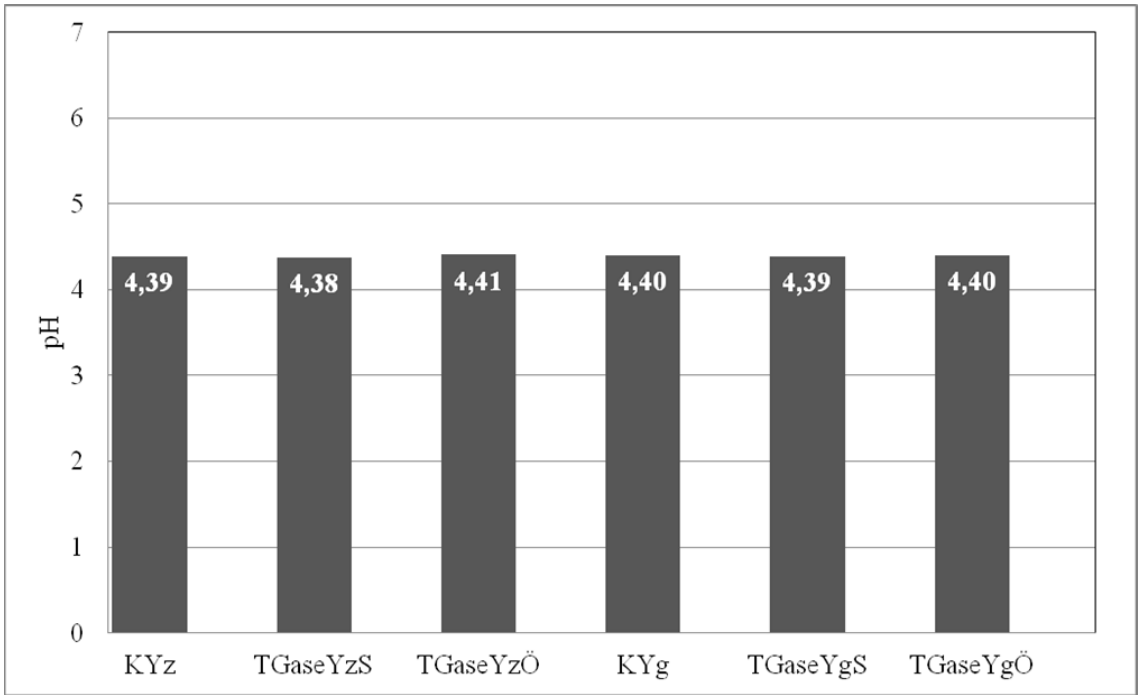
Çizelge 4.3 Miks örneklerinin bazı nitelikleri[1)]

Örnekler[2)]	Yağ (%)	pH	Titrasyon asitliği (°SH)	Viskozite (cP)
KYz	0,00	4,39±0,01	34,05±0,92	225,75±1,59[Cb3)]
TGaseYzS	0,00	4,38±0,01	35,63±0,92	345,75±1,59[Ab]
TGaseYzÖ	0,00	4,41±0,01	34,18±0,92	285,00±1,59[Bb]
KYg	2,05±0,00	4,40±0,01	33,56±0,92	287,25±1,59[Ca]
TGaseYgS	2,05±0,00	4,39±0,01	33,64±0,92	456,00±1,59[Aa]
TGaseYgÖ	2,07±0,00	4,40±0,01	32,74±0,92	435,00±1,59[Ba]

[1)] Çizelgedeki değerler 2 tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağsız yoğurt dondurması miksi; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağsız yoğurt dondurması miksi; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağlı yoğurt dondurması miksi; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağlı yoğurt dondurması miksi.

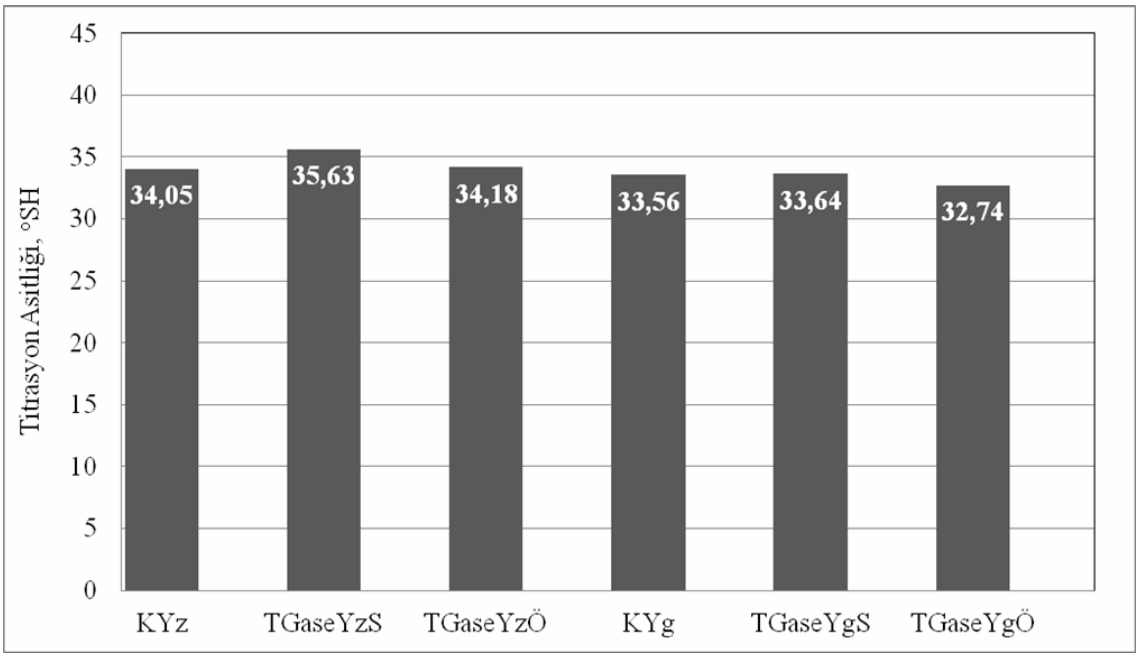
[3)] A-C aynı sütunda aynı yağ içeriğine sahip örnekler arasında enzim ilavesi bakımından farklılığı; a,b aynı sütunda bulunan örnekler arasında yağ oranı bakımından farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 4.5 Yoğurt dondurması mikslerinin pH değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağsız yoğurt dondurması miksi; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağsız yoğurt dondurması miksi; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağlı yoğurt dondurması miksi; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağlı yoğurt dondurması miksi.

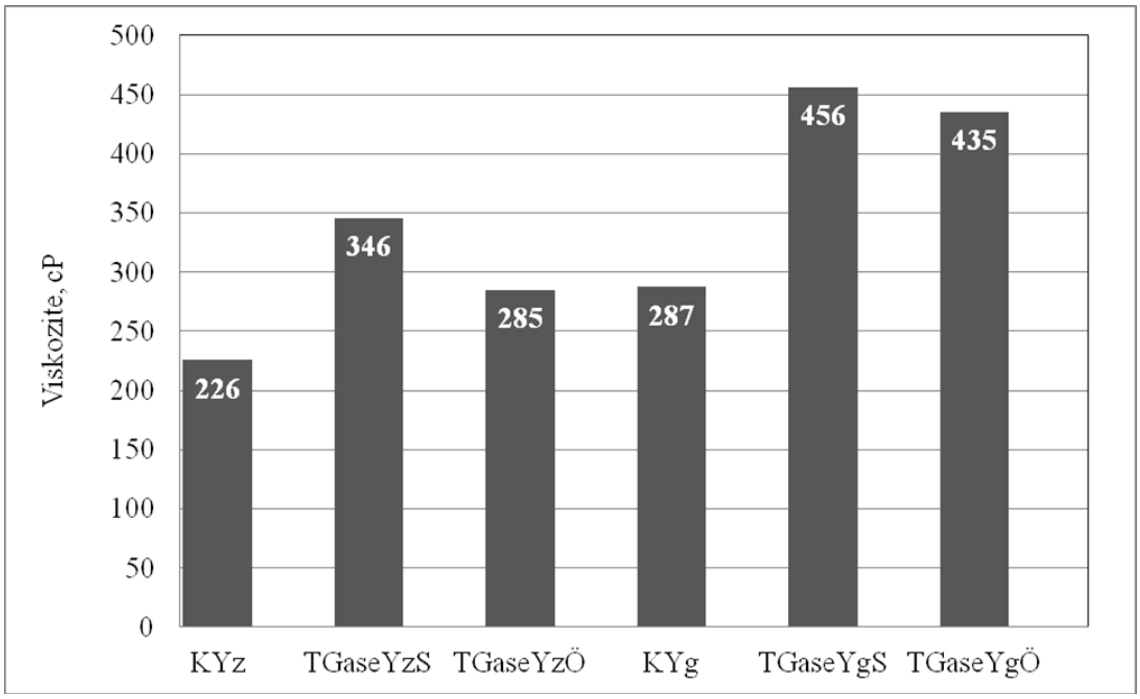
Kontrol yoğurtları ile TGase enzimi katkılı yoğurtlardan hazırlanan miks örneklerinin titrasyon asitliği değerleri çizelge 4.3'de verilmiş, şekil 4.6'da da grafik halinde gösterilmiştir. Çizelge ve şekilde yer alan değerlerden, örneklerin, pH değerinde olduğu şekilde, birbirine yakın değerlere sahip oldukları görülmektedir. Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları da, TGase enzimi kullanımının örnekler arasında titrasyon asitliği bakımından önemli bir farklılık yaratmadığını ortaya koymuştur ($p>0.05$).



Şekil 4.6 Yoğurt dondurması mikslerinin titrasyon asitliği değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağsız yoğurt dondurması miksi; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağsız yoğurt dondurması miksi; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağlı yoğurt dondurması miksi; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağlı yoğurt dondurması miksi.

Miks örneklerinin çizelge 4.3 ve şekil 4.7'de verilen viskozite değerleri incelendiğinde, TGase enzimi katkılı yoğurtların kullanımının miks örneklerinin viskozitesinde önemli düzeyde artış sağladığı; ayrıca, enzimin yoğurt sütüne ısıl işlemden sonra ilave edilmesi durumunda, miks örneklerindeki viskozite artışının daha dikkate değer olduğu söylenebilir. Araştırma bulguları, bu bakımdan Metwally (2007) tarafından yürütülen bir çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Süt proteinlerinin enzimatik yolla çapraz bağlantıya uğratılmasının dondurma üretiminde kullanılabilme olanağının araştırıldığı söz konusu çalışmada, enzim uygulaması ile miks viskozitesinde kontrol örneklerine kıyasla önemli düzeyde artış sağlandığı belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Yoğurt dondurması mikslerinin viskozite değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağsız yoğurt dondurması miksi; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağsız yoğurt dondurması miksi; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağlı yoğurt dondurması miksi; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurttan hazırlanan yağlı yoğurt dondurması miksi.

Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları, miks örneklerinin viskozitesi üzerine yağ x enzim interaksiyonunun önemli ($p<0.01$) etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Viskozite değeri, enzim muameleli yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS, TGaseYgÖ) hazırlanan miks örneklerinde kontrol örneklerine göre önemli düzeyde ($p<0.01$) yüksek bulunmuştur. Ayrıca, enzim katkılı yoğurtlardan hazırlanan miks örnekleri arasında, enzimin ısıl işlem uygulamasından sonra süte katılması suretiyle üretilen yoğurtların (TGaseYzS, TGaseYgS) kullanıldığı mikslerde viskozite değeri önemli düzeyde ($p<0.01$) artış göstermiştir.

Dondurmanın bileşimine giren hammaddelerin, henüz dondurulmamış haldeki karışımı olarak tanımlanan miks, hava ve aroma maddeleri hariç, tüm dondurma unsurlarını içeren bir karışımdır (Marshall ve Arbuckle 1996). Bu bağlamda, miks örneklerinin viskozite değerleri arasındaki farklılığın, bileşimlerinde yer alan yoğurtlar arasındaki

farklılıktan ileri geldiği söylenebilir. TGase enzimi tarafından katalize edilen proteinler arası çapraz bağlanma sonucu, yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerin oluşumunun miks örneklerinde viskozite değerlerinin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, proteinler su bağlama kapasitelerine bağlı olarak miks viskozitesinde artış sağlamak suretiyle dondurma yapısının geliştirilmesinde önemli bir paya sahiptir (Halling 1981, Philips 1981, Kinsella 1984, Goff vd. 1989). TGase enzimiyle modifiye edilen süt proteinlerinin çözünebilme, su tutma, jelleşme ve emülsifiye etme gibi fonksiyonel özelliklerinin artış gösterdiği bildirilmektedir (Lorenzen vd. 2002, Yokoyama vd. 2004). Nitekim, Yüksel ve Erdem (2010) ve Şanlı vd. (2011) TGase kullanımının yoğurtta pıhtı sıkılığını ve viskoziteyi artırdığını ayrıca; su bağlama kapasitesindeki artışa bağlı olarak serum ayrılmasını önemli oranda azalttığını belirlemişlerdir. Bu bağlamda; enzimatik modifikasyonla su bağlama kapasiteleri artırılan süt proteinlerinin, miks örneklerinin viskozite değerlerindeki artış üzerinde etkili diğer bir faktör olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.7'de verilen grafiklerden açıkça görüldüğü gibi, TGase enzimi katkılı yoğurt örnekleri kullanılarak hazırlanan miks örneklerinden yağ içeren örneklerin viskozite değerleri yağsız olanlara göre önemli düzeyde ($p<0.01$) farklılık göstermektedir. Berger (1990) ve Marshall ve Arbuckle (1996) tarafından, süt yağının dondurmanın karakteristik yapı ve kıvamının oluşmasında rol oynayan en önemli bileşen olduğu bildirilmektedir. Yağ oranının dondurma miksinin viskozitesi üzerine etkisini araştıran Şahan ve Kaçar (2004) da, benzer şekilde yağ içeriğindeki artışa bağlı olarak miskin viskozitesinin de arttığını tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, enzimin aktif durumda olduğu yağsız yoğurttan (TGaseYzS) hazırlanan miks örneğinin viskozite değerinin diğer yağsız örnekler örneklerde ve yağlı kontrol örneğinde (KYg) saptanan değerlerden önemli düzeyde yüksek ($p<0.01$) olması, yağ içeriği azaltılan süt ürünlerinde ortaya çıkabilecek fiziksel bazı olumsuzlukların TGase enzimi kullanımıyla düzeltilebileceğini göstermesi bakımından önemli bir bulgudur. Benzer şekilde, Kırmacı vd. (2004), yağsız yoğurt üretiminde yağın uzaklaştırılması ile oluşan tekstürel zayıflığın iyileştirilmesinde TGase'ın etkili bir işleve sahip olabileceğini belirlemişlerdir.

4.4 Yoğurt Dondurması Örneklerinin Nitelikleri

4.4.1 Toplam kurumadde ve yağ içeriği

Yoğurt dondurması örneklerinin toplam kurumadde ve yağ içerikleri standart hatalarıyla birlikte çizelge 4.4'de verilmiştir.

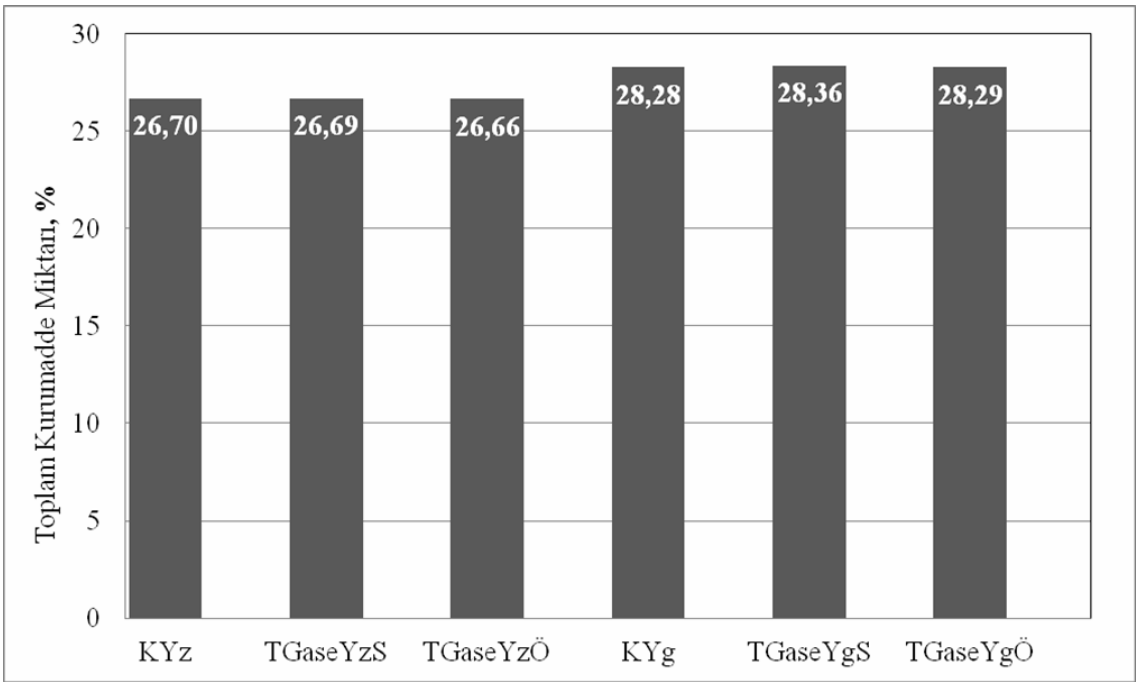
Çizelge 4.4 Yoğurt dondurması örneklerinin toplam kurumadde ve yağ içerikleri[1)]

Örnek[2)]	Toplam Kurumadde (%)	Yağ (%)
KYz	26,70±0,06	0,00
TGaseYzS	26,69±0,06	0,00
TgaseYzÖ	26,66±0,06	0,00
KYg	28,28±0,06	2,00±0,0
TgaseYgS	28,36±0,06	2,00±0,0
TgaseYgÖ	28,29±0,06	2,00±0,0

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Çizelge 4.4 ve şekil 4.8'de yer alan toplam kurumadde değerleri incelendiğinde, yağsız yoğurt dondurması örneklerinin % 26,66±0,06 ile % 26,70±0,06 arasında; yağlı yoğurt dondurması örneklerinin ise % 28,28±0,06 ile % 28,36±0,06 arasında değişen değerlere sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.8 Yoğurt dondurması örneklerinin toplam kurumadde değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

4.4.2 pH değeri

Yoğurt dondurması örneklerinde belirlenen pH değerleri standart hatalarıyla birlikte çizelge 4.5'de verilmiş ve şekil 4.9'da da grafik halinde gösterilmiştir. Örneklerin pH değerleri, 4,10±0,09 ile 4,23±0,09 arasında değişim göstermiştir.

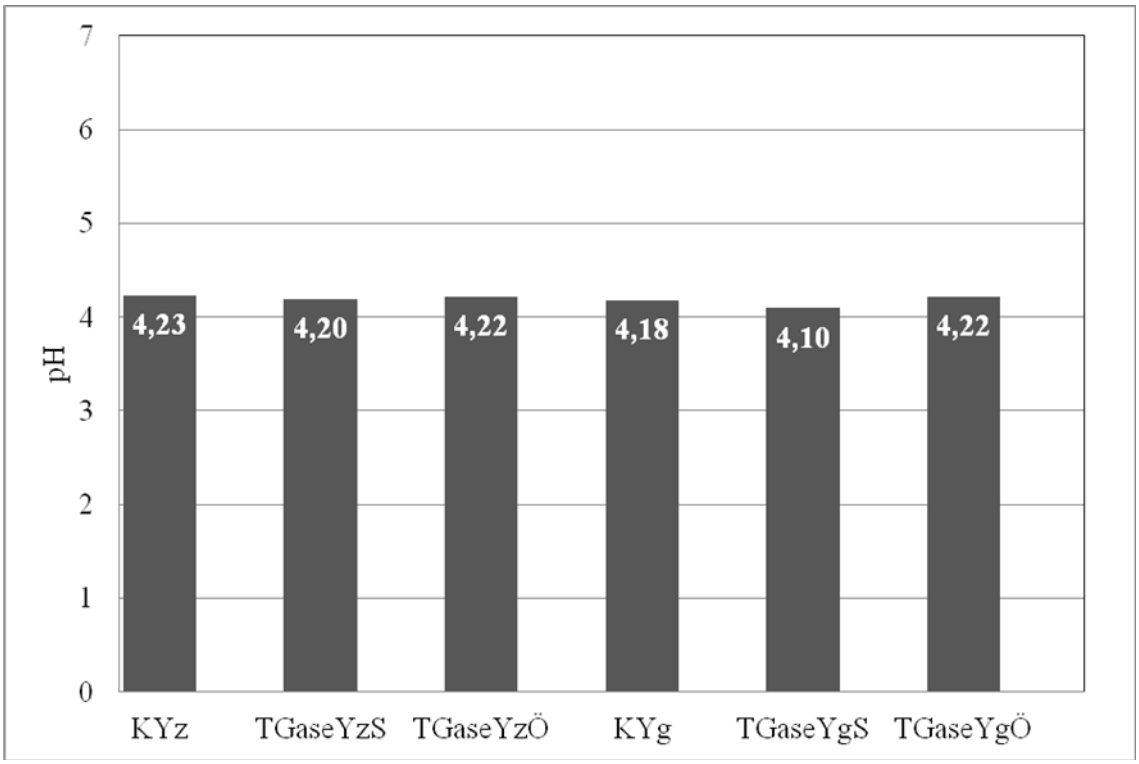
Çizelge 4.5 Yoğurt dondurması örneklerinin pH değerleri[1)]

Örnek[2)]	pH
KYz	4,23±0,09
TgaseYzS	4,20±0,09
TgaseYzÖ	4,22±0,09
KYg	4,18±0,09
TgaseYgS	4,10±0,09
TgaseYgÖ	4,22±0,09

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Çizelge 4.5 ve şekil 4.9'da yer alan verilere göre, enzim katkılı yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) üretilen yoğurt dondurması örneklerinin kontrol örneklerinde saptanan pH değerine yakın değerlere sahip oldukları anlaşılmaktadır. İstatistiksel değerlendirme sonuçları da, TGase içeren yoğurt kullanımının yoğurt dondurması örneklerinin pH değeri üzerinde önemli bir etki yaratmadığını ortaya koymuştur ($p>0.05$).



Şekil 4.9 Yoğurt dondurması örneklerinin pH değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

4.4.3 Hacim artışı

Yoğurt dondurması örneklerinde belirlenen hacim artışı değerleri standart hatalarıyla birlikte çizelge 4.6'da verilmiş ve şekil 4.10'da da grafik halinde gösterilmiştir. Örneklerin hacim artışı değerleri, % 30,29±0,22 ile % 40,34±0,22 arasında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.6 Yoğurt dondurması örneklerinin hacim artışı değerleri[1)]

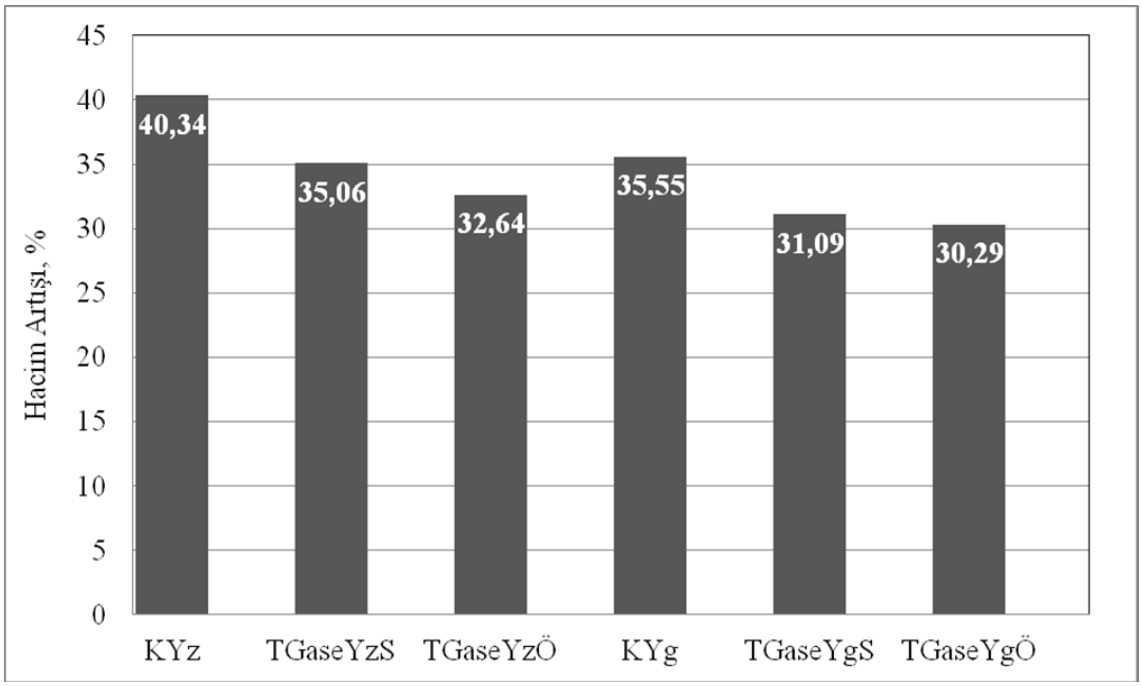
Örnek[2)]	Hacim artışı (%)
KYz	40,34±0,22[Aa3)]
TGaseYzS	35,06±0,22[Ba]
TgaseYzÖ	32,64±0,22[Ca]
KYg	35,55±0,22[Ab]
TgaseYgS	31,09±0,22[Bb]
TgaseYgÖ	30,29±0,22[Bb]

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

[3)] A-C aynı sütunda aynı yağ içeriğine sahip örnekler arasında enzim ilavesi bakımından farklılığı; a,b aynı sütunda bulunan örnekler arasında yağ oranı bakımından farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 4.6 ve şekil 4.10'da yer alan hacim artışı değerleri incelendiğinde, TGase enzimi katkılı yoğurt kullanımının yoğurt dondurması örneklerinin hacim artışı değerlerinde belirgin bir azalmaya neden olduğu, ayrıca TGase enziminin yoğurt sütüne ısıl işlemden önce ilave edilmesi durumunda, yağsız yoğurt dondurması örneğinin hacim artışı değerindeki azalmanın daha belirgin olduğu söylenebilir.



Şekil 4.10 Yoğurt dondurması örneklerinin hacim artışı değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları, yoğurt dondurması örneklerinin hacim artışı değeri üzerine yağ x enzim interaksiyonunun önemli düzeyde ($p<0.01$) etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Hacim artışı değeri, enzim muameleli yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) üretilen yoğurt dondurması örneklerinde kontrol örneklerine göre önemli düzeyde ($p<0.01$) düşük bulunmuştur. Ayrıca; enzim katkılı yoğurtların kullanıldığı yoğurt dondurmalarından yağsız olanlar arasında, enzimin süte ısıl işlemden önce katılması suretiyle üretilen yoğurt (TGaseYzÖ) örneğinin kullanıldığı yoğurt dondurmasının daha düşük ($p<0.01$) hacim artışı değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Miks dondurulurken sisteme hava verilmesi, buz kristalizasyonu ve karıştırıcıların yüksek kesme kuvvetinin etkisiyle miksteki yağ/su emülsiyonu kısmen destabilize olmakta veya yayıklama etkisi ortaya çıkmaktadır (Goff 1997). Krog (1997) tarafından

bildirildiğine göre, mikse hacim artışı sağlamak amacıyla verilen hava, söz konusu yağ destabilizasyonu ile oluşan kısmen kümeleşmiş yağ globülleri tarafından stabilize edilmekte ve böylelikle havanın dondurma içinde düzenli dağılımı sağlanmaktadır. Ancak, yağ globül yüzeyine adsorbe olan protein tabakasındaki artışla birlikte, emülsiyonun oldukça stabil hale gelmesi ve yağ globüllerinin yeterince aglomere olamaması miks içine hava verilmesini ve yağ globüllerinin hava-serum ara yüzeyine adsorbsiyonunu zorlaştırmaktadır. Mevcut araştırmada, enzim katkılı örneklerde daha düşük hacim artışı değerleri elde edilmesinin nedeni olasılıkla TGase enzimi ile proteinler arasındaki çapraz bağlantı sonucu yağ globül yüzeyine adsorbe olan protein tabakasındaki artıştan ileri gelmektedir. Nitekim, TGase enzimi ile çapraz bağlanmış süt proteinlerinin emülsifiye etme özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada Faergemand vd. (1998), enzimatik çapraz bağlanma sonucu yağ-su ara yüzeyine adsorbe olan süt proteininin oluşturduğu film tabakasının yüzeyleri arasında viskozitenin önemli şekilde arttığını ve yağ globüllerindeki kümeleşmenin azaldığını belirlemişlerdir. Diğer taraftan, TGase enzimiyle modifiye olan süt proteinlerinin çözünebilme, su tutma, jelleşme ve emülsifiye etme gibi fonksiyonel özelliklerinin artış gösterdiği bildirilmektedir. (Faergemand vd. 1998, O'Sullivan vd. 2002). TGase enziminin süt proteinlerinin emülsifikasyon özellikleri ile süt yağ globülleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada Hinz vd. (2007) de, benzer şekilde TGase enzimi tarafından teşvik edilen çapraz bağlantının, süt proteinlerinin emülsifiye etme özellikleri üzerine önemli bir etkisinin bulunduğunu belirlemişlerdir. Adı geçen araştırmacılara göre, TGase kullanımı yağ globül membran materyalinde çapraz bağlantı sağlamak suretiyle doğal süt yağ globüllerinin kümeleşmeye karşı stabilitesini artırabilmektedir. Bu bağlamda; enzimatik modifikasyonla emülsifiye etme özellikleri artırılan süt proteinlerinin, yoğurt dondurması örneklerinin hacim artışı değerindeki azalma üzerinde etkili diğer bir faktör olduğu düşünülmektedir.

Diğer taraftan, TGase enzimi katkılı yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) üretilen yoğurt dondurması örneklerinden yağ içerenlerin hacim artışı değerlerinin yağsız olanlara göre önemli düzeyde ($p<0.01$) düşük olduğu gözlenmektedir. Benzer sonuçlar; farklı yağ oranına sahip dondurmalarla yaptıkları çalışmalarında Şahan ve Kaçar (2004) tarafından da belirlenmiş olup, söz konusu

araştırmacılar dondurmada yağ oranındaki artışın hacim artışı değerini önemli oranda azalttığını belirlemişlerdir.

4.4.4 Erime oranı

Yoğurt dondurması örneklerinin erimeye karşı direncini ortaya koymak amacıyla ilk damlama süreleriyle 30, 60, 90 ve 120 dakika sonundaki erime durumları saptanmış ve elde edilen ortalama değerler standart hatalarıyla birlikte çizelge 4.7-4.8'de verilmiş ve şekil 4.11-4.12'de de grafik halinde gösterilmiştir. Yağsız kontrol yoğurdunun (KYz) kullanıldığı yoğurt dondurmasında ilk damlama 15 dakika sonunda gerçekleşmiş, diğer örneklerde ise ilk damlama daha uzun bir süre (24-34 dakika) sonunda meydana gelmiştir. Erime oranı dondurmanın kalite parametrelerinden birisi olup, iyi bir dondurmanın oda sıcaklığında en az 10-15 dakika süreyle erimeye karşı direnç göstermesi gerektiği Arbuckle (1984) tarafından ifade edilmektedir.

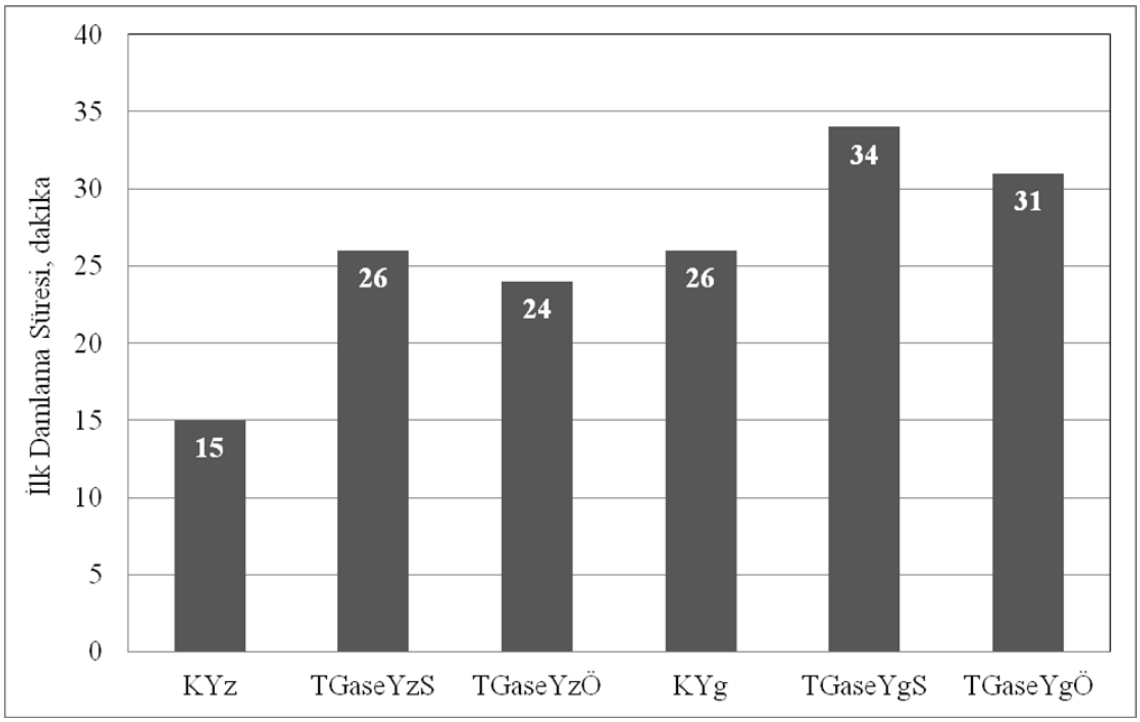
Çizelge 4.7 Yoğurt dondurması örneklerinin ilk damlama süreleri[1)]

Örnek[2)]	İlk damlama süresi (dakika)
KYz	$15\pm0,54^{Bb3)}$
TGaseYzS	$26\pm0,54^{Ab}$
TGaseYzÖ	$24\pm0,54^{Ab}$
KYg	$26\pm0,54^{Ca}$
TGaseYgS	$34\pm0,54^{Aa}$
TGaseYgÖ	$31\pm0,54^{Ba}$

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

[3)] A-C aynı sütunda aynı yağ içeriğine sahip örnekler arasında enzim ilavesi bakımından farklılığı; a,b aynı sütunda bulunan örnekler arasında yağ oranı bakımından farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 4.11 Yoğurt dondurması örneklerinin ilk damlama süreleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları, yoğurt dondurması örneklerinin ilk damlama süreleri üzerine yağ x enzim interaksiyonunun önemli düzeyde ($p<0.05$) etkisi olduğunu ortaya koymuştur. İlk damlama, enzim katkılı yoğurtların (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS, TGaseYgÖ) kullanıldığı yoğurt dondurması örneklerinde kontrol örneklerine göre daha uzun ($p<0.05$) bir süre sonunda gerçekleşmiştir. Ayrıca; enzim katkılı yoğurtların kullanıldığı yoğurt dondurması örnekleri arasında, enzimin süte ısıl işlemden sonra katılması suretiyle üretilen yağlı yoğurt (TGaseYgS) örneğinin kullanıldığı yoğurt dondurmasının ilk damlama süresinin daha uzun ($p<0.05$) olduğu gözlenmiştir.

Proteinlerin su bağlama kapasitelerindeki artışla birlikte miks viskozitesinin artması dondurma yapısının geliştirilmesinde önemli bir paya sahiptir (Kinsella 1984, Anderson vd. 1987). Serbest suyun bağlanması sonucu dondurmada erime süresinin

geciktirilebileceği ve buzlu yapı oluşumunun engellenebileceği Goff vd. (1989) tarafından bildirilmiştir. Higroskopik bir niteliğe sahip olan inülin kullanımının yoğurt dondurmasının reolojik ve tekstürel özellikleri üzerine etkisini araştıran El-Nagar vd. (2002), inülin miktarındaki artışın miks viskozitesinde artışa neden olduğunu ve bu durumun yoğurt dondurmalarının erime karakteristiğini olumlu yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, Metwally (2007) tarafından süt proteinlerinin enzimatik yolla çapraz bağlantıya uğratılmasının miks viskozitesinde kontrol örneklerine kıyasla önemli derecede artış sağladığı ve enzim uygulaması ile dondurmanın erimeye karşı olan direncinin arttığı belirlenmiştir. Yukarıdaki bilgilerin ışığında, yoğurt dondurması örneklerinin ilk damlama sürelerindeki uzamanın, enzimatik modifikasyonla süt proteinlerinin su bağlama kapasitelerindeki artıştan kaynaklandığı söylenebilir.

Diğer taraftan, enzim katkılı yoğurtların (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) kullanıldığı yoğurt dondurması örneklerinden yağ içerenlerde ilk damlamanın yağsız olanlara göre daha geç ($p<0.05$) meydana geldiği belirlenmiştir. Dondurma bileşenlerinin dondurmanın erime özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada Muse ve Hartel (2004), yağ destabilizayonunun dondurmanın erime özellikleri üzerinde oldukça etkili bir faktör olduğunu ve dondurmada yağ destabilizasyonu arttıkça erime özelliklerinin olumlu yönde etkilendiğini belirlemiştir.

Yoğurt dondurması örneklerinin 30, 60, 90 ve 120. dakikalarda belirlenen erime oranlarını gösteren çizelge 4.8 ve şekil 4.12 incelendiğinde, TGase enzimi katkılı yoğurt kullanımıyla yoğurt dondurması örneklerinde erimenin belirgin bir şekilde azaldığı; yoğurt dondurması örneklerinden yağ içerenlerde erime oranının daha düşük olduğu söylenebilir.

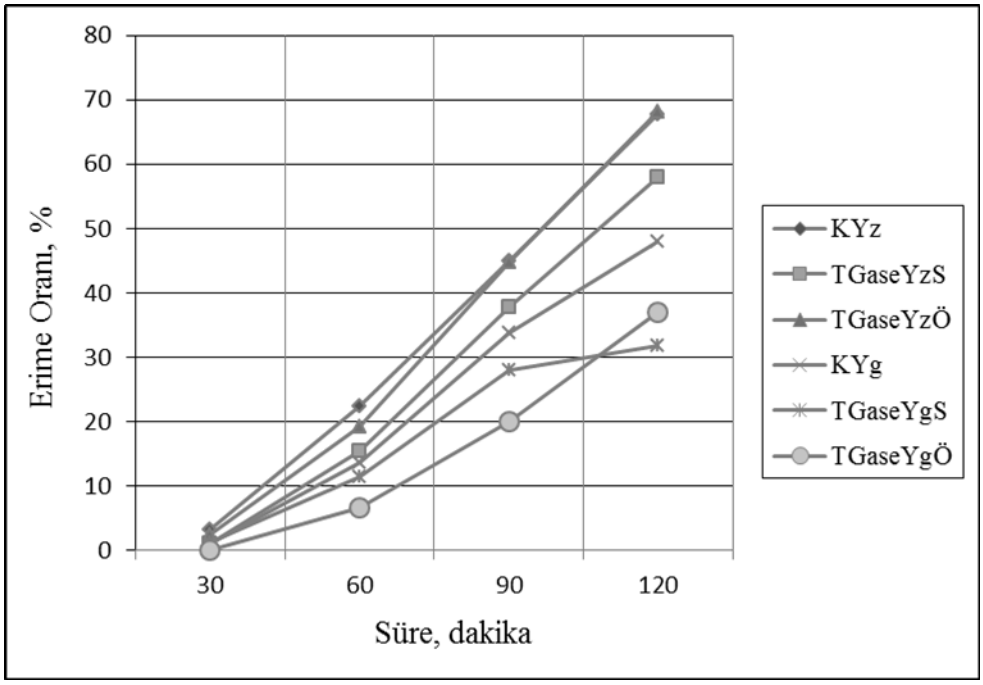
Çizelge 4.8 Yoğurt dondurması örneklerinin erime oranları[1)]

	Erime oranı (%)			
Örnek[2)]	30. dakika	60. dakika	90. dakika	120. dakika
KYz	3,17±0,18$^{dAa3)}$	22,50±0,38$^{cAa3)}$	44,98±0,17$^{bAa3)}$	67,66±0,2$^{aAa3)}$
TGaseYzS	1,09±0,18^{dBa}	15,35±0,38^{cCa}	37,77±0,17^{bBa}	57,90±0,22^{aBa}
TGaseYzÖ	2,44±0,18^{dAa}	19,29±0,38^{cBa}	44,85±0,17^{bAa}	68,07±0,22^{aAa}
KYg	1,06±0,18^{dAb}	13,71±0,38^{cAb}	33,88±0,17^{bAb}	47,96±0,22^{aAb}
TGaseYgS	1,28±0,18^{dAb}	11,38±0,38^{cBb}	27,95±0,17^{bBb}	31,81±0,22^{aCb}
TGaseYgÖ	0,00±0,18^{dBb}	6,60±0,38^{cCb}	19,96±0,17^{bCb}	37,10±0,22^{aBb}

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

[3)] A-C aynı sütunda aynı yağ içeriğine sahip örnekler arasında enzim ilavesi bakımından farklılığı; a,b aynı sütunda bulunan örnekler arasında yağ oranı bakımından farklılığı; *a-d* aynı satırda bulunan örnekler arasında süre bakımından farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 4.12 Yoğurt dondurması örneklerinin erime oranları

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları, yoğurt dondurması örneklerinin 30, 60, 90 ve 120 dakika sonundaki erime oranları üzerine yağ x enzim x süre interaksiyonunun önemli düzeyde ($p<0.05$) etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Erime oranı, enzim muameleli yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) üretilen yoğurt dondurması örneklerinde kontrol örneklerine göre önemli düzeyde ($p<0.05$) düşük bulunmuştur.

Yağsız yoğurt dondurması örneklerinde, enzimin süte ısıl işlemden sonra katılması suretiyle üretilen yoğurt (TGaseYzS) kullanımının daha düşük ($p<0.05$) oranda erimeye yol açtığı gözlenmiştir. Yağlı yoğurt dondurması örneklerinde ise, enzimin süte ısıl işlemden önce katılması suretiyle üretilen yoğurt (TGaseYgÖ) kullanımının, 120. dakika hariç, daha az ($p<0.05$) oranda erime sağladığı belirlenmiştir.

Fiziksel açıdan dondurma, donmamış serum fazına dağılmış halde bulunan hava, yağ ve buz kristallerinin oluşturduğu, kompleks çok fazlı bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Marshall ve Arbuckle 1996, Goff 1997). Dondurmanın erime oranı ile bileşimi, kullanılan katkı maddeleri ve yağ globül boyutu arasında yakın bir ilişki mevcuttur (Koxholt vd. 2001). Dondurma erimeye bırakıldığında, dondurmayı çevreleyen sıcak havanın dondurma içine transfer olmasıyla buz kristalleri erimeye başlar. Buz kristallerinin erimesiyle oluşan su, viskoz haldeki donmamış serum fazına yayılır ve sonuçta seyreltik hale gelen çözelti yerçekimi kuvvetinin etkisiyle yapı elemanları üzerinden akmaya başlar. Başlangıçta söz konusu seyreltik çözelti dondurmanın yüzeyinden akar. Yeterli ısı etkisi oluştuğunda, dondurmanın içindeki buz kristallerinin de erimesi sağlanır ve dondurmanın içinden de seyrelmiş haldeki çözelti akışı meydana gelir (Muse ve Hartel 2004). Üretim koşullarının dondurmanın erime oranı üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, Sakurai vd. (1996), hacim artışı fazla olan dondurmaların düşük hacim artışına sahip dondurmalara göre daha yavaş eridiğini ve iyi bir erime direnci gösterdiğini belirlemişlerdir. Adı geçen araştırmacılar, erime oranında gözlenen azalmanın, dondurma hacmindeki artışla birlikte ısı transferindeki azalmadan ve eriyen sıvının akarken daha engebeli bir yol izlemesinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Hartel vd. (2003) tarafından, yüksek hacim artışına sahip olan dondurmalarda erime oranının daha az olduğu bulunmuştur. Mevcut araştırmada ise, enzim katkılı yoğurtlardan üretilen örneklerde (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) kontrol örneklerine göre daha az ($p<0,01$) hacim artışı sağlanmış olmasına karşın; erimenin kontrol örneklerinden daha düşük ($p<0.05$) oranda gerçekleştiği bulunmuştur. Muse ve Hartel (2004) tarafından, miksin viskozitesinin dondurmanın serum fazına ilişkin viskozitenin bir göstergesi olabileceği ve miksin viskozitesindeki artışa ve buz kristallerinin erimesiyle oluşan suyun daha yoğun olmasına bağlı olarak dondurmada erimenin gecikeceği bildirilmiştir. Bu bilgilerin ışığında, enzimatik modifikasyonla süt proteinlerinin su bağlama özelliklerindeki artışın, yoğurt dondurması örneklerinin erime oranındaki azalma üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Diğer taraftan, TGase enzimi katkılı yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) üretilen yoğurt dondurması örneklerinden yağlı olanların erime oranının

yağsız olanlara göre önemli düzeyde ($p<0.05$) düşük olduğu gözlenmektedir. Benzer sonuçlar; Muse ve Hartel (2004) tarafından da belirlenmiş olup, söz konusu araştırmacılar yağ destabilizasyonundaki artışın erime oranını önemli oranda azalttığını belirlemişlerdir.

4.4.5 Şekil muhafazası

Yoğurt dondurması örneklerinde belirlenen şekil muhafazası değerleri standart hatalarıyla birlikte çizelge 4.9'da verilmiş ve şekil 4.13'de de grafik halinde gösterilmiştir. Örnekler ilk 6 dakika süresince şekillerini muhafaza etmiştir. Sonraki 30 dakikada, erime nedeniyle yağsız kontrol örneğinin (KYz) şekli bozulmaya başlarken, diğer tüm örneklerin şekillerini korudukları gözlenmiştir. Analiz süresinin sonuna kadar elde edilen bulgulardan, TGase enzimi katkılı yoğurt kullanımı ile yoğurt dondurması örneklerinin şekillerini daha iyi muhafaza ettikleri ayrıca, yoğurt dondurması örneklerinden yağ içerenlerin daha iyi şekil muhafazası gösterdiği söylenebilir.

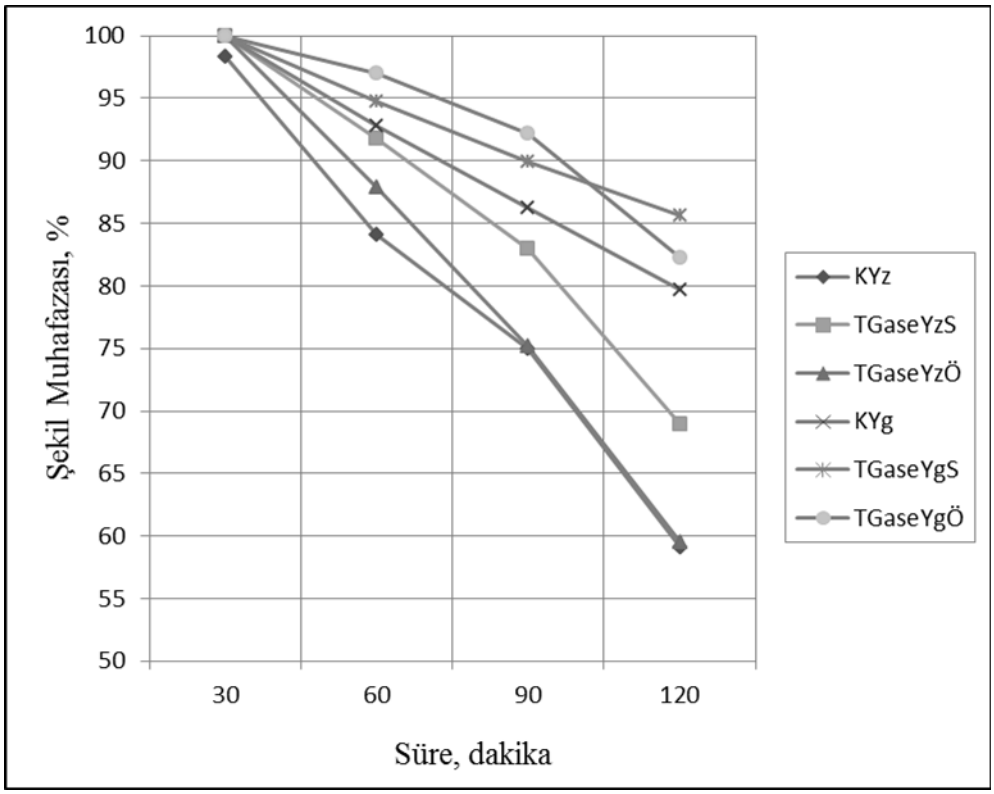
Çizelge 4.9 Yoğurt dondurması örneklerinin şekil muhafaza oranları[1)]

	Şekil muhafazası (%)			
Örnek[2)]	30. dakika	60. dakika	90. dakika	120. dakika
KYz	98,29±0,16^{a}Bb[3)]	84,08±0,29^{b}Cb[3)]	74,96±0,21^{c}Bb[3)]	59,14±0,34^{d}Bb[3)]
TGaseYzS	100,00±0,16^{a}Aa	91,75±0,29^{b}Ab	82,93±0,21^{c}Ab	68,97±0,34^{d}Ab
TGaseYzÖ	100,00±0,16^{a}Aa	87,92±0,29^{b}Bb	75,20±0,21^{c}Bb	59,48±0,34^{d}Bb
KYg	100,00±0,16^{a}Aa	92,80±0,29^{b}Ca	86,28±0,21^{c}Ca	79,71±0,34^{d}Ca
TGaseYgS	100,00±0,16^{a}Aa	94,74±0,29^{b}Ba	89,90±0,21^{c}Ba	85,67±0,34^{d}Aa
TGaseYgÖ	100,00±0,16^{a}Aa	96,96±0,29^{b}Aa	92,15±0,21^{c}Aa	82,23±0,34^{d}Ba

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

[3)] A-C aynı sütunda aynı yağ içeriğine sahip örnekler arasında enzim ilavesi bakımından farklılığı; a,b aynı sütunda bulunan örnekler arasında yağ oranı bakımından farklılığı; *a-d* aynı satırda bulunan örnekler arasında süre bakımından farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 4.13 Yoğurt dondurması örneklerinin şekil muhafazası değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları, yoğurt dondurması örneklerinin şekil muhafazası üzerine yağ x enzim x süre interaksiyonunun önemli düzeyde ($p<0.05$) etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Enzim muameleli yoğurtların (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) kullanıldığı yoğurt dondurması örneklerinin kontrol örneklerine göre şekillerini önemli düzeyde ($p<0.05$) muhafaza ettikleri belirlenmiştir.

Çizelgeden 4.9'da yer alan verilere göre, yağsız yoğurt dondurması örneklerinde, enzimin süte ısıl işlemden sonra katılması suretiyle üretilen yoğurdun (TGaseYzS) kullanıldığı yoğurt dondurmasının şeklini daha iyi ($p<0.05$) muhafaza ettiği gözlenmektedir. Diğer taraftan, yağlı yoğurt dondurması örneklerinde, enzimin süte ısıl işlemden önce katılması suretiyle üretilen yoğurt (TGaseYgS) örneğinin kullanıldığı

yoğurt dondurmasında, 120. dakika hariç, şekil muhafazasının daha iyi ($p<0.05$) olduğu anlaşılmaktadır.

Dondurmada süt yağsız kurumaddesinin bir bileşeni olarak proteinler; emülsifiye etme, köpüklenme ve su bağlama kapasiteleri gibi fonksiyonel özellikleri ile dondurma yapısının geliştirilmesinde önemli bir paya sahiptir (Goff 1997, Rossa vd. 2011). Süt proteinlerinin TGase enzimi yardımıyla polimerizasyonunun daha dirençli protein filmlerinin oluşumunu sağladığı ve böylece dondurmanın fonksiyonel özellikleri üzerinde etkili olabileceği bildirilmektedir (Rossa vd. 2011). Nitekim, Metwally (2007), dondurma üretiminde TGase enzimi kullanımının son ürünün fiziksel ve duyusal niteliklerini olumlu yönde etkilediğini belirlemiştir. Benzer şekilde, yüzey yanıt yöntemi kullanarak dondurmada TGase aktivitesinin optimizasyonu konusunda çalışan Rossa vd. (2011) tarafından, enzim uygulaması ile dondurmada viskozite, yapı ve erime oranı ile ilgili indeks değerinin önemli ölçüde arttığı belirlenmiş ayrıca, TGase enzimi kullanımı ile dondurmanın fonksiyonel özelliklerinin artırılabileceği vurgulanmıştır. El-Nagar vd. (2002) tarafından, yoğurt dondurmalarının erime karakteristiğinin miks viskozitesindeki artış ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Bu bilgilerin ışığında, mevcut araştırmada yoğurt dondurması örneklerinde belirlenen ilk damlama süreleri ve erime oranları da dikkate alınarak, enzimatik modifikasyonla süt proteinlerinin fonksiyonel özelliklerindeki artışın, yoğurt dondurması örneklerinin şekil muhafazasındaki artış üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Diğer taraftan, TGase enzimi katkılı yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) üretilen yoğurt dondurması örneklerinden yağlı olanların yağsız örneklere göre şekillerini önemli düzeyde ($p<0.05$) muhafaza ettikleri belirlenmiştir. Yağ destabilizasyonunun dondurmanın erime karakteristikleri üzerine etkisini araştıran Muse ve Hartel (2004) de, benzer şekilde yağ destabilizasyon oranındaki artışa bağlı olarak dondurmaların daha iyi şekil muhafazası gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

4.4.6 Tekstürel özellikler

Yoğurt dondurması örneklerinin tekstürel özelliği, tekstür profil analizi (TPA) uygulanarak hardness ve adhesiveness parametreleri yardımıyla incelenmiştir. TPA, gıda maddesine kontrollü bir kuvvet uygulandığında, gıdanın mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi prensibine dayanmaktadır (Szczesniak vd. 1963). Seçilen parametrelerden hardness üründe belirli bir deformasyon oluşturmak için gerekli olan güç, adhesiveness ise gıda maddesinin yüzeyi ile temas ettiği yüzey (diş, damak, dil ya da cihazın başlığı) arasında mevcut çekim kuvvetini yenmek için gerekli iş olarak tanımlanmaktadır (Szczesniak vd. 1963, Bourne 1978).

Aşağıda çizelge 4.10'da yoğurt dondurması örneklerinin TPA analizi sonucu belirlenen ortalama hardness ve adhesiveness değerleri standart hatalarıyla birlikte verilmiş ve söz konusu değerler şekil 4.14 -4.15'de de grafik halinde gösterilmiştir.

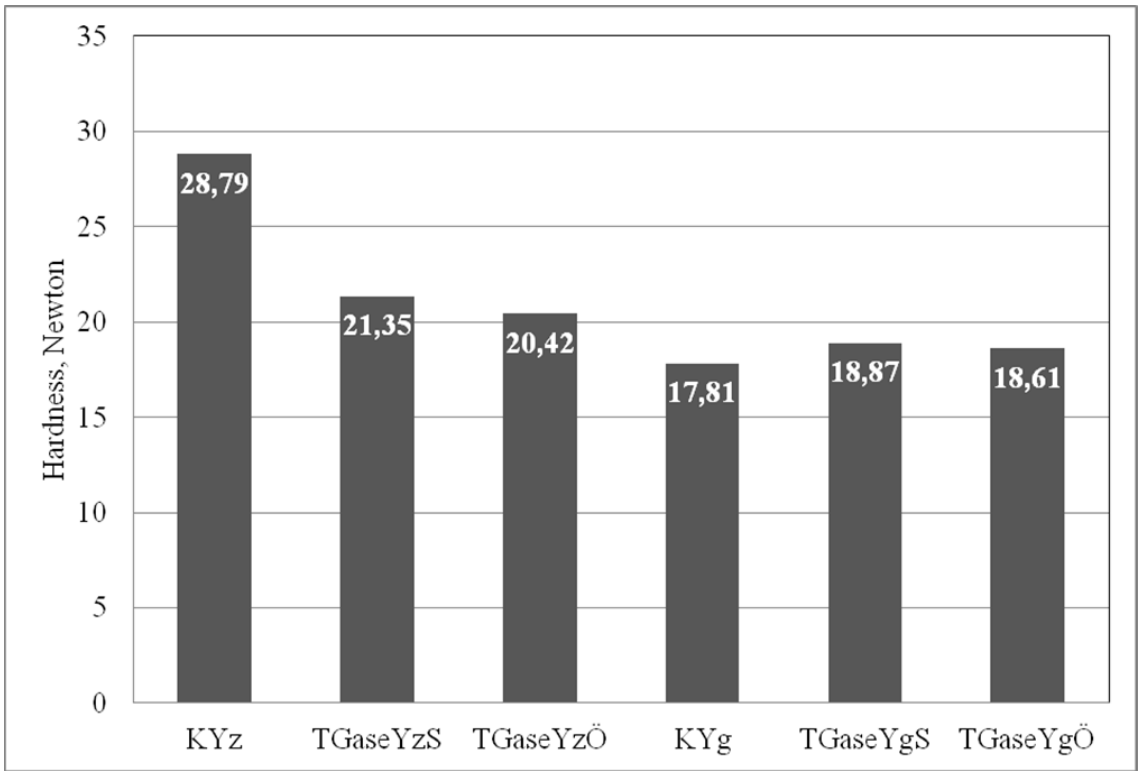
Çizelge 4.10 Yoğurt dondurması örneklerinin tekstürel bazı özellikleri[1)]

Örnek[2)]	Hardness (N)	Adhesiveness (N)
KYz	$28,79\pm0,16^{Aa}$[3)]	$1,57\pm0,01^{Bb}$
TGaseYzS	$21,35\pm0,16^{Ba}$	$1,88\pm0,01^{Ab}$
TGaseYzÖ	$20,42\pm0,16^{Ca}$	$1,87\pm0,01^{Ab}$
KYg	$17,81\pm0,16^{Bb}$	$2,24\pm0,01^{Ca}$
TGaseYgS	$18,87\pm0,16^{Ab}$	$2,66\pm0,01^{Aa}$
TGaseYgÖ	$18,61\pm0,16^{Ab}$	$2,50\pm0,01^{Ba}$

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrürün ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması

[3)] A-C aynı sütunda aynı yağ içeriğine sahip örnekler arasında enzim ilavesi bakımından farklılığı; a,b aynı sütunda bulunan örnekler arasında yağ oranı bakımından farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 4.14 Yoğurt dondurması örneklerinin hardness değerleri

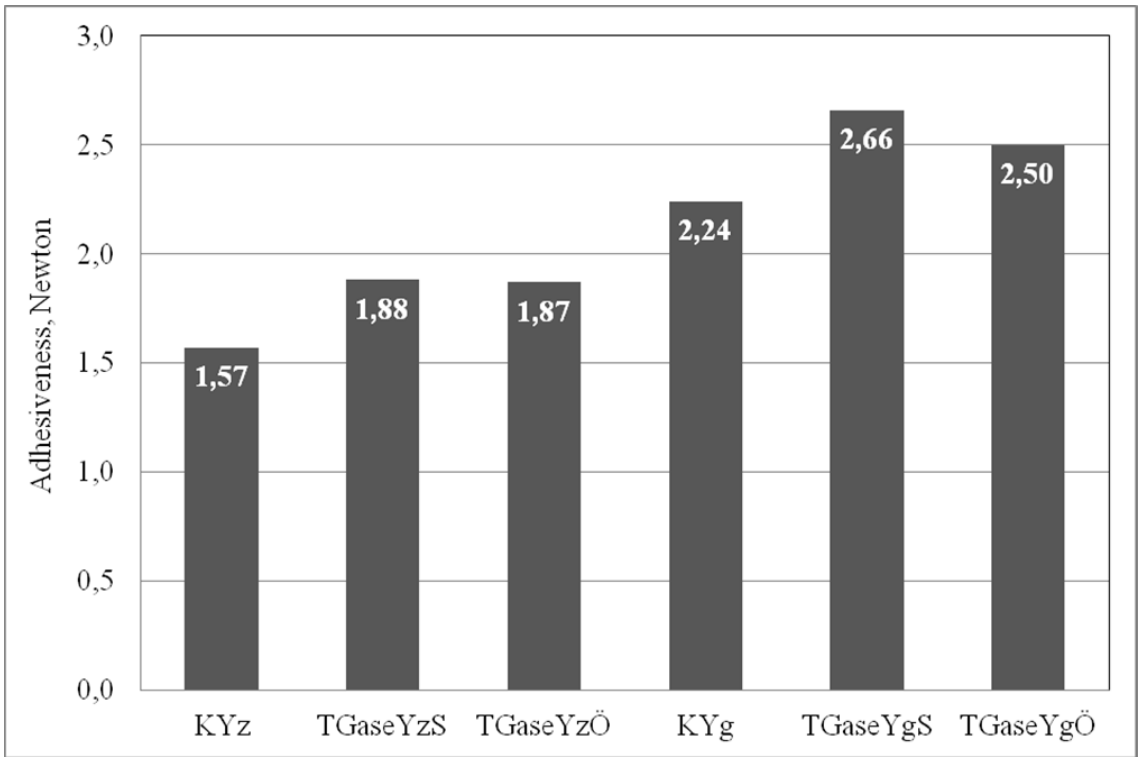
Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması

Çizelge 4.10 ve şekil 4.14'de yer alan verilerden, TGase enzimi katkılı yoğurt kullanımıyla üretilen yoğurt dondurması örneklerinde yağ içeriğine bağlı olarak hardness değerinin farklılık gösterdiği, ayrıca, enzim katkılı örnekler arasında yağlı olanların yağsızlara göre daha düşük hardness değerine sahip oldukları söylenebilir. Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları da, yoğurt dondurması örneklerinin hardness değeri üzerine yağ x enzim interaksiyonunun önemli düzeyde ($p<0.01$) etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Hardness değeri, enzim katkılı yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) üretilen yoğurt dondurmalarından yağlı olanlarda kontrol örneklerine göre önemli düzeyde ($p<0.01$) yüksek, yağsız olanlarda ise kontrol örneklerine göre önemli düzeyde ($p<0.01$) düşük bulunmuştur. Ayrıca, enzimin süte ısıl işlemden sonra katılması suretiyle üretilen yoğurt (TGaseYgS)

kullanımının, yoğurt dondurması örneğinde daha sert ($p<0.01$) bir yapıya yol açtığı gözlenmiştir.

Dondurmanın dışardan uygulanan bir kuvvet etkisiyle deformasyona karşı direncini ifade eden hardness değeri üzerinde hacim artışı, buz fazının hacmi, buz kristallerinin boyutu ve yağ içeriğinin etkili olduğu belirtilmektedir (Muse ve Hartel 2004). Dondurmanın sertliği üzerine hacim artışının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada Wilbey vd. (1998), yüksek hacim artışına sahip olan dondurmaların daha yumuşak olduğunu belirlemişlerdir. Benzer sonuçlar Hartel vd. (2003) ile Muse ve Hartel (2004) tarafından da belirlenmiştir. Hacim artışı fazla olan dondurmalarda karşılaşılan bu durum, Hartel vd. (2003) tarafından bildirildiğine göre, büyük hacimli sıkıştırılabilir fazın uygulanan kuvvete daha az direnç göstermesinden kaynaklanabilmektedir. Mevcut araştırmada, enzim katkılı yoğurtlardan üretilen örneklerde (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) kontrol örneklerine göre daha az ($p<0,01$) hacim artışı sağlanmıştır. Dolayısıyla, hacim artışının, enzim katkılı yoğurtlardan üretilen yağlı yoğurt dondurması örneklerinde daha yüksek hardness değerleri elde edilmesinde etkili bir faktör olduğu söylenebilir. Diğer taraftan, su bağlama kapasitesindeki artışla birlikte buz kristalizasyon oranının azalması sonucu dondurmaların daha yumuşak bir yapı kazanabileceği bildirilmiştir (El-Nagar vd. 2002). Benzer şekilde, Muse ve Hartel (2004), buz fazının hacmindeki artışa bağlı olarak dondurmanın daha sert bir hal aldığını belirlemişlerdir. Bu bağlamda, enzim katkılı yoğurtlardan üretilen yoğurt dondurması örneklerinden yağsız olanların hardness değerindeki azalmanın, enzimatik modifikasyonla süt proteinlerinin su bağlama kapasitelerindeki artıştan kaynaklandığı söylenebilir.

Yoğurt dondurması örneklerinin tekstür profil analizi sonucu belirlenen adhesiveness değerlerini gösteren çizelge 4.10 ve şekil 4.15 incelendiğinde, TGase enzimi katkılı yoğurt kullanımıyla yoğurt dondurması örneklerinde adhesiveness değerinin belirgin bir şekilde arttığı; yoğurt dondurması örneklerinden yağ içerenlerde adhesiveness değerinin daha yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 4.15 Yoğurt dondurması örneklerinin adhesiveness değerleri

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması

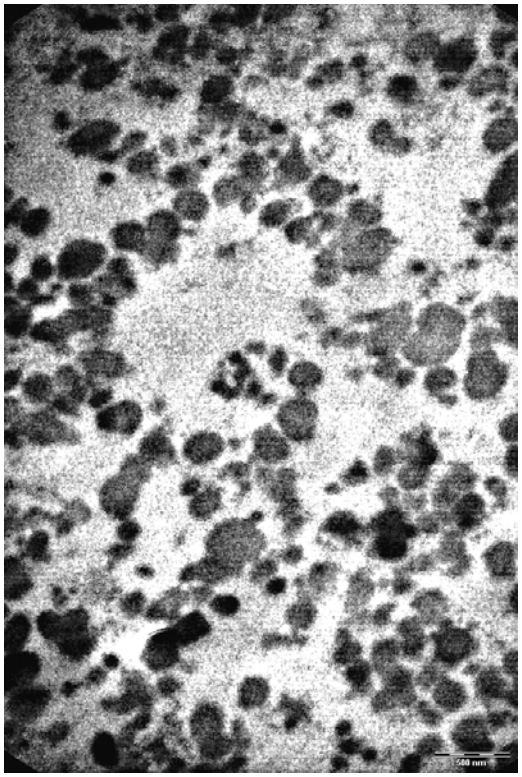
Araştırma bulgularının istatistiksel değerlendirme sonuçları, yoğurt dondurması örneklerinin adhesiveness değeri üzerine yağ x enzim interaksiyonunun önemli düzeyde ($p<0.01$) etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Adhesiveness değeri, enzim muameleli yoğurtlardan (TGaseYzS, TGaseYzÖ, TGaseYgS ve TGaseYgÖ) üretilen yoğurt dondurması örneklerinde kontrol örneklerine göre önemli düzeyde ($p<0.01$) yüksek bulunmuştur. Ayrıca, enzimin süte ısıl işlemden sonra katılması suretiyle üretilen yoğurt örneğinin kullanıldığı yağlı yoğurt dondurmalarında adhesiveness değerindeki artışın daha dikkate değer olduğu belirlenmiştir. Araştırma bulguları, El-Nagar vd (2002) tarafından yürütülen bir çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Söz konusu araştırmada, inülinin higroskopik özelliği nedeniyle stabilizer benzeri bir işlev görerek, miks viskozitesinde artışa yol açtığı ve bu durumun daha viskoz bir jel matrisi

oluşumuna yol açarak yoğurt dondurmasının adhesiveness değerini artırdığı ortaya konulmuştur.

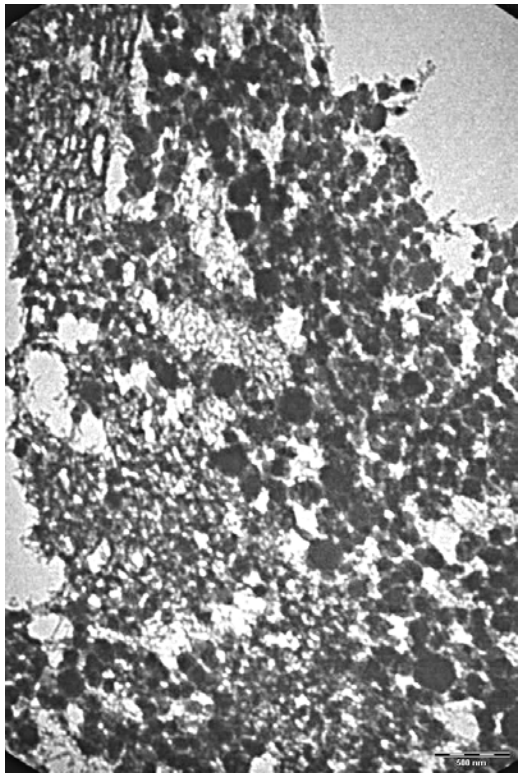
4.4.7 Mikro yapı

Fiziksel açıdan dondurma, donmamış serum fazına dağılmış halde bulunan hava, yağ ve buz kristallerinin oluşturduğu, kompleks çok fazlı bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Marshall ve Arbuckle 1996, Goff 1997). Buz kristalleri ve hava kabarcıkları genellikle 20-50 μm aralığında ve sürekli sıvı faz içinde dağılmış durumdadır. Hava kabarcıkları kısmen yağ globülleri ile, yağ globülleri ise protein/ emülsifiyer tabakası ile kaplanmıştır. Buz kristalleri ve hava kabarcıklarının yanı sıra sürekli fazda yağ, süt proteinleri, tuzlar, şeker ve yüksek moleküler ağırlıklı polisakkaritler bulunmaktadır (Goff 2002). Süt yağı, önceden de belirtildiği gibi, dondurmanın karakteristik yapı ve kıvamının oluşmasında önemli bir rol oynamakta (Berger 1990, Marshall ve Arbuckle 1996, Goff 1997) ve yağ oranındaki azalmayla birlikte fiziksel ve duyusal niteliklerde meydana gelen olumsuzlukların TGase enzimi gibi alternatif maddelerin kullanımıyla en aza indirilebileceği belirtilmektedir (Kuraishi vd. 2001, Metwally 2007). Yoğurt dondurmasının mikro yapısının genel olarak dondurmanın mikro yapısı ile benzerlik gösterdiği ifade edilmektedir (Soukoulis ve Tzia 2008).

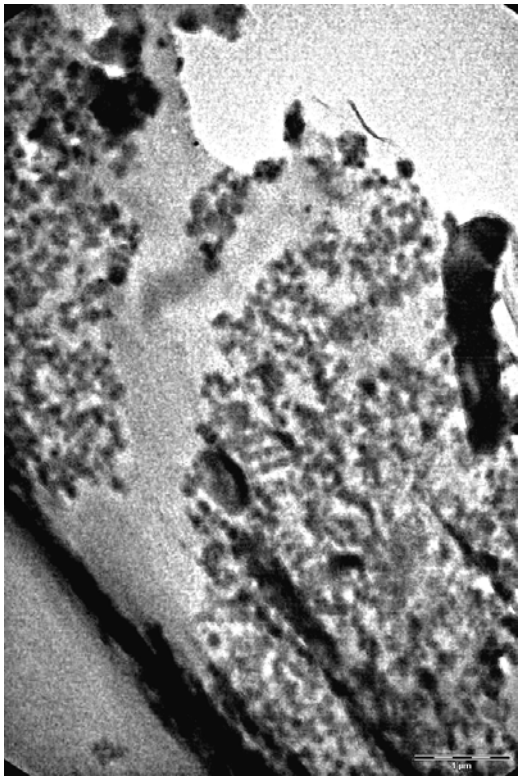
TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurt kullanılarak üretilen yoğurt dondurması örneklerinin mikrostrüktürünü karşılaştırmalı olarak ortaya koymak amacıyla çekilen elektron mikroskop (TEM) görüntüleri şekil 4.16- 4.17'de verilmiştir.



KYz örneği



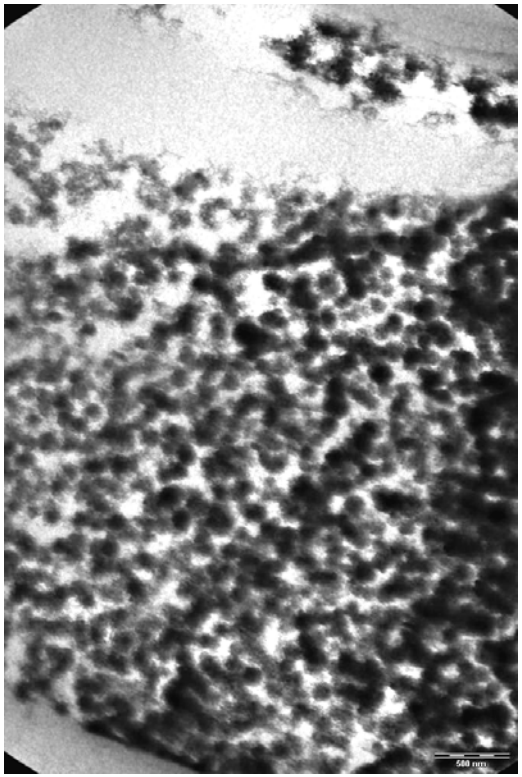
TGaseYzS örneği



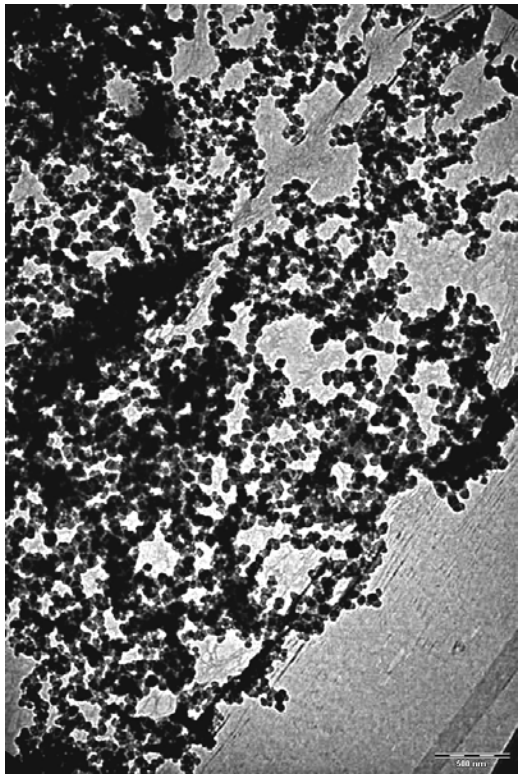
TgaseYzÖ örneği

Şekil 4.16 Yağsız yoğurt dondurması örneklerinin elektron mikroskop görüntüleri

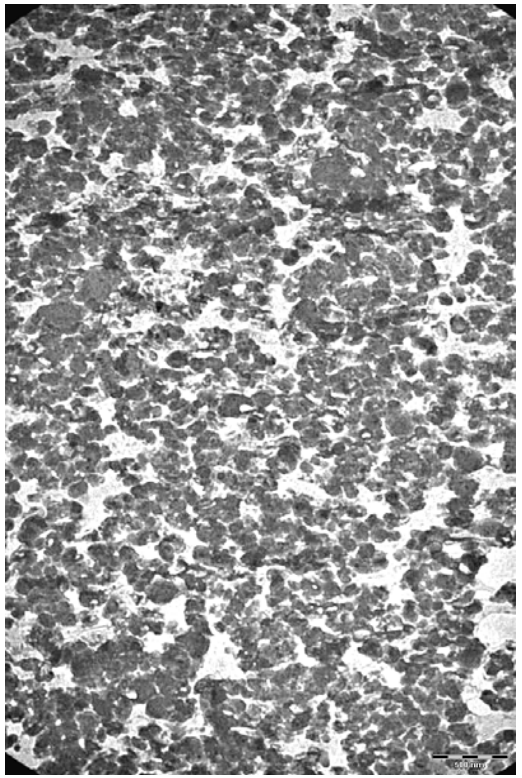
Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması.



KYg örneği



TGaseYgS örneği



TgaseYgÖ örneği

Şekil 4.17 Yağlı yoğurt dondurması örneklerinin elektron mikroskop görüntüleri

Örnekler: KYg: Yağlı kontrol; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Şekil 4.16-4.17'de yer alan görüntüler incelendiğinde, yoğurt dondurması örneklerinde mikrostrüktür bakımından farklılıkların olduğu gözlenmektedir. Enzim katkılı yoğurtların kullanıldığı yoğurt dondurması örneklerinde mikro yapının yoğun bir durum sergilediği ve bu durumun yağsız yoğurt dondurması örneklerinde daha belirgin olduğu görülmektedir. Keçi sütünden üretilen yoğurtlarda yapı ve konsistens üzerine TGase enzimi kullanımının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada Farnsworth vd. (2003), enzim katkılı yoğurt örneklerinin kontrol örneğine göre daha sıkı bir yapıya sahip olduklarını elektron mikroskobu yardımıyla görüntülemiştir. Benzer şekilde, Lorenzen vd. (2002), TGase enzimi kullanarak ürettikleri set tipi yoğurtlarda elektron mikroskobu yardımıyla, protein ağ yapısındaki gözeneklerin daha küçük boyutlu olduğunu ve proteinlerin yoğurt jeli içinde daha düzenli olarak dağıldığını görüntülemiş ve bu değişimlerin pıhtı sıkılığında artışa yol açtığını açıklamışlardır. Mevcut araştırmada da, örnekler arasında mikrostrüktür bakımından gözlenen farklılık, olasılıkla enzimatik modifikasyonla su bağlama kapasiteleri artan süt proteinlerinin daha sıkı ve stabil bir yapı oluşturarak bu yapı içerisinde buz kristallerinin oluşumunu engellenmelerinden ileri gelmektedir.

4.4.8 Duyusal değerlendirme

Kontrol ve TGase enzimi katkılı yoğurt kullanılarak üretilen yoğurt dondurması örnekleri, Arolez Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Ankara) firması çalışanları ve Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü öğretim üyeleri arasından seçilen 13 panelist tarafından TS 4265 sayılı "Dondurma ve Süt Esaslı Ürünler" standardında (Anonim 1992) belirtilen kriterlere göre duyusal değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirme sonuçları çizelge 4.11'de toplu olarak verilmiş ve Şekil 4.18-4.20'de her bir nitelik için ayrı ayrı grafik halinde gösterilmiştir.

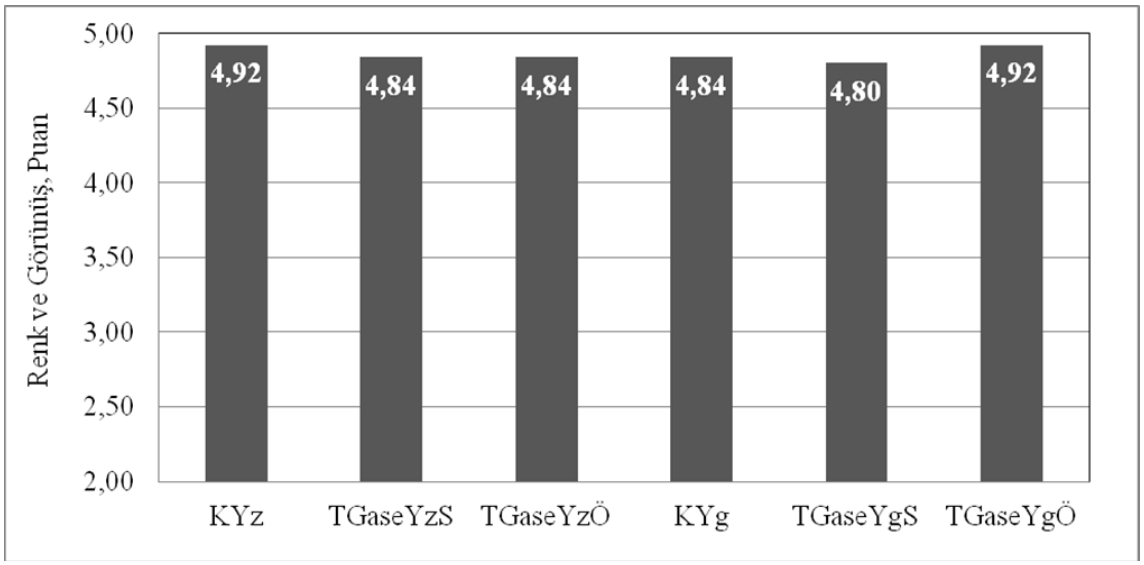
Çizelge 4.11 Yoğurt dondurması örneklerinin duyusal değerlendirme sonuçları[1)]

Örnek[2)]	Duyusal nitelikler			
	Renk ve Görünüş (2-5 puan)	Yapı ve Kıvam (2-5 puan)	Tat ve koku (2-5 puan)	Toplam
KYz	4,92	3,69	4,03	12,64
TGaseYzS	4,84	3,88	4,11	12,83
TGaseYzÖ	4,84	3,92	4,15	12,91
KYg	4,84	4,07	4,11	13,02
TGaseYgS	4,80	4,15	4,03	12,98
TGaseYgÖ	4,92	4,11	3,99	13,02

[1)] Çizelgedeki değerler iki tekerrüre ait puanların ortalamasıdır.

[2)] Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

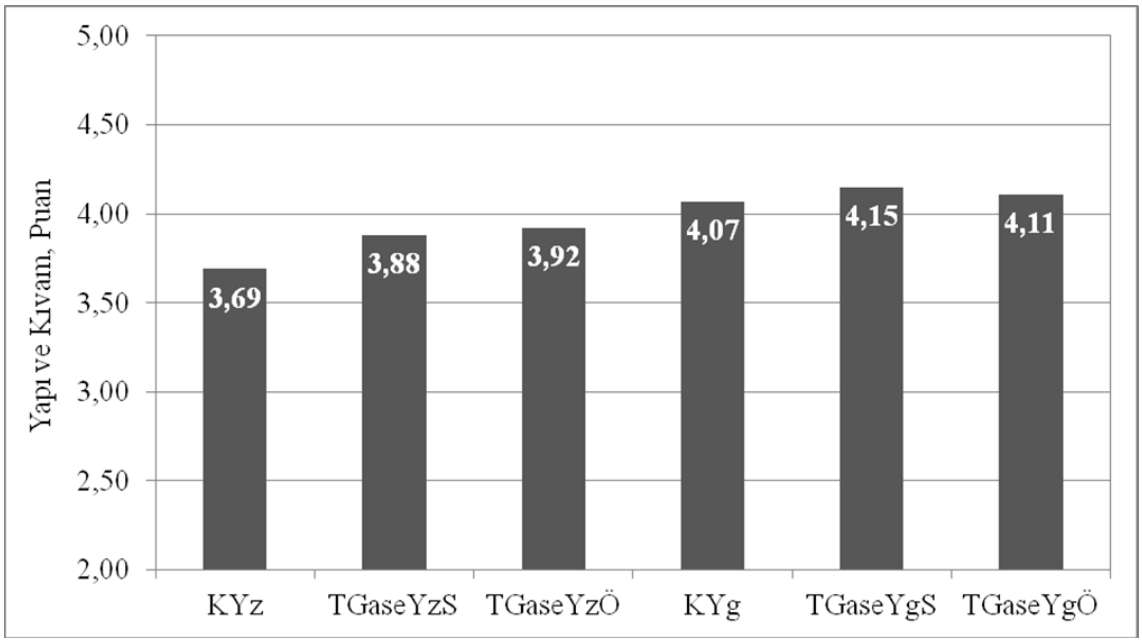
Çizelge 4.11 ve şekil 4.18 incelendiğinde, enzim katkılı yoğurt kullanılarak üretilen yoğurt dondurması örneklerinin oldukça yakın renk ve görünüş puanına sahip oldukları, ancak kontrol örneklerine göre daha düşük puanlarla değerlendirildikleri görülmektedir. Bu bulgulardan, TGase enzimi katkılı yoğurt kullanımının yoğurt dondurması örneklerinin renk ve görünüşünde belirgin bir farklılık yaratmadığı söylenebilir.



Şekil 4.18 Yoğurt dondurması örneklerinin renk ve görünüş puanları

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

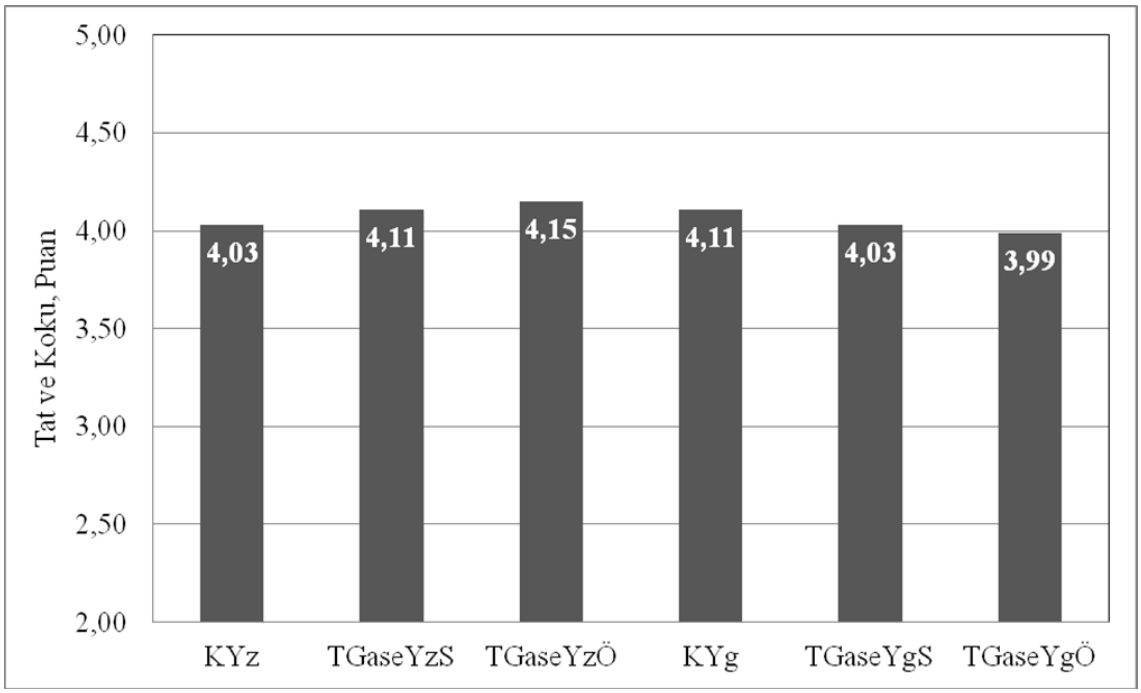
Yoğurt dondurması örneklerinin yapı ve kıvam puanlarını gösteren çizelge 4.11 ve şekil 4.19 incelendiğinde, en düşük puanın yağsız kontrol yoğurdunun (KYz) kullanıldığı yoğurt dondurmasına verildiği anlaşılmaktadır. TGase enzimi katkılı yoğurtların kullanıldığı yoğurt dondurması örneklerinin ise, enzim kullanımından beklenen yararın bir yansıması olarak kontrol örneklerine göre biraz daha yüksek puanlarla değerlendirmeye alındıkları görülmektedir. Enzimatik modifikasyon sonucu süt proteinlerinin su bağlama kapasitelerindeki artışla birlikte yapısal özelliklerde meydana gelen iyileşmenin bu sonuçların alınmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, yağlı yoğurt dondurması örneklerinin yağsızlara göre daha yüksek puanlar almış olması yağın dondurmanın yapı ve kıvamındaki önemi bakımından beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.19 Yoğurt dondurması örneklerinin yapı ve kıvam puanları

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Yoğurt dondurması örneklerinin çizelge 4.11 ve şekil 4.20'de verilen tat ve koku puanları incelendiğinde, enzim katkılı yoğurtların kullanıldığı yoğurt dondurması örneklerinden yağsız olanların yağlı olanlara göre daha fazla beğeni topladığı ve bu nedenle biraz daha yüksek tat-koku puanlarına sahip oldukları gözlenmektedir. Bunun nedeni, yoğurdun asit tadının yağsız yoğurt dondurması örneklerinde daha fazla hissedilmesi ve limon aromasına benzer bir tat algılanmasıdır. Yağlı yoğurt dondurmalarında ise, yoğurdun asit tadının yağ tarafından maskelenmesi bu sonuçların alınmasında etken olmuştur.



Şekil 4.20 Yoğurt dondurması örneklerinin tat ve koku puanları

Örnekler: KYz: Yağsız kontrol; KYg: Yağlı kontrol; TGaseYzS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYzÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağsız yoğurt dondurması; TGaseYgS: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden sonra muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması; TGaseYgÖ: Sütün TGase enzimi ile ısıl işlemden önce muamele edilmesi suretiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurması.

Yoğurt dondurması örnekleri toplam duyusal puanları yönünden değerlendirildiğinde, TGase enziminin ısıl işlemden önce süte ilavesiyle üretilen yoğurdun kullanıldığı yağlı yoğurt dondurmasının kontrol örneğine eşdeğer bulunduğu; ayrıca, yağsız yoğurt dondurmasında enzim katkılı yoğurt kullanımıyla duyusal açıdan daha çok beğeni kazanabilecek bir ürün üretilebileceği söylenebilir.

5. SONUÇ

Mevcut çalışma kapsamında, farklı yağ oranlarına sahip yoğurt dondurmalarının üretiminde TGase enzimi kullanımının son ürünün bazı fiziksel nitelikleri ile tekstürel ve duyusal özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- TGase enziminin kullanımı yoğurt örneklerinin pH değerinde herhangi bir farklılık yaratmamış, titrasyon asitliğinde azalmaya yol açmış, enzim aktivitesinden bağımsız olarak viskozitede artış meydana gelmiştir. TGase enziminin süte ısıl işlemden sonra ilave edilmesi ile yoğurt örneklerinin viskozitesinde daha dikkate değer bir artış sağlanmıştır.

- TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurtların kullanımı miks örneklerinin asitlik profilini (pH ve titrasyon asitliği) etkilememiş, viskozitelerini artırmıştır. TGase enziminin ısıl işlemden sonra süte katılması suretiyle üretilen yoğurtların kullanımı miks örneklerinin viskozitesinde belirgin bir artışa neden olmuştur.

- TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurtların kullanımı yoğurt dondurması örneklerinin pH değerini etkilememiştir.

- Yoğurt dondurması örneklerinde, TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurt kullanımı ile düşük hacim artışı elde edilmiştir.

- TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurtların kullanımı yoğurt dondurması örneklerinde erime hızını yavaşlatarak daha az erimeye yol açmış, dolayısıyla erimeye karşı gösterilen direncin arttığı ortaya konulmuştur. Ayrıca, ortamda yağın bulunmasına bağlı olarak erime karakteristiklerinin gelişme gösterdiği belirlenmiştir.

- Yoğurt dondurması örneklerinin erime karakteristiklerinde sağlanan gelişmeye paralel olarak, TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurtların kullanımıyla yoğurt dondurması örneklerinin şekillerini daha iyi muhafaza ettikleri belirlenmiştir.

- TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurtların kullanımı ile yoğurt dondurması örneklerinin tekstürel özelliklerinin iyileştirilebileceği belirlenmiştir.

- TGase enzimi ile muamele edilmiş yoğurtların kullanımının yoğurt dondurması örneklerinin duyusal özelliklerinde herhangi bir olumsuzluk yaratmadığı buna ilaveten yapı ve kıvam bakımından enzim muameleli yoğurtların kullanıldığı yoğurt dondurması örneklerinin panelistler tarafından daha çok beğenildiği belirlenmiştir.

Yukarıdaki sonuçların ışığında, TGase enziminin yoğurt dondurması üretiminde önemli bir uygulama potansiyelinin bulunduğu ve yağ içeriği azaltılmış yoğurt dondurmalarında yağın azaltılması ile oluşabilecek fiziksel, tekstürel ve duyusal bazı olumsuzlukların giderilmesinde TGase enzimi kullanımının mümkün olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, TGase enziminin etkisiyle süt proteinlerinin su bağlama kapasitesinin artması, söz konusu enzimin, stabilizatör içeriği azaltılmış yoğurt dondurmalarında kullanılabilme olasılığını düşündürmektedir.

Yoğurt dondurması üretiminde TGase enzimi kullanımının optimizasyonu için, stabilizatör içeriği farklı, yağ içeriği azaltılmış yumuşak tip dondurmalarda enzimin yukarıda anılan özellikler bakımından değerlendirilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Aboumahmoud, R. and Savello, P. 1990. Crosslinking of whey protein by transglutaminase. Journal of Dairy Science. Vol. 73, pp. 2256-263.

Anderson, M., Brooker, B.E. and Needs, E.C. 1987. The role of proteins in the stabilization/ destabilization of dairy foams. In Food Emulsions and Foams. ed. E. Dickonson, pp. 100-109. Royal Society of Chemistry, London, England.

Anonim. 1989. Yoğurt Standardı. Türk Standartları Enstitüsü, TS 1330.

Anonim. 1992. Dondurma ve Süt Esaslı Ürünler Standardı. Türk Standartları Enstitüsü, TS 4265.

Anonim. 1995. Tereyağı Standardı. Türk Standartları Enstitüsü, TS 1331.

Anonymous. 1964. Determination of the water content of dried milk. International Dairy Federation , IDF Standard 26, p. 2, Brussels.

Anonymous. 1971. Standards for grades of dry milks including methods of analysis. American Dry Milk Institute (ADMI). 53pp, Chicago, Illiois.

Anonymous. 1977. Laboratory Manual. The FAO Regional Dairy Development and Training Centre For The Near East.

Anonymous. 1978. Analytical methods for dry milk products. Niro Atomizer Dairy Research Group (NADRG), fourth edition, A/S Niro Atomizer, p.109,Copenhagen.

Anonymous. 1993. Milk. Determination of nitrogen content. International Dairy Federation, IDF Standard 20B, p. 2, Brussels.

Arbuckle, W.S. 1984. Ice cream. 3rd Edition. The Avi Publishing Company Inc. Westport, Connecticut. 517 p.

Arrizubieta, M.J. 2007. Transglutaminases In: Industrial Enzymes: Structure, Function and Applications, Polaina, J. and A.P. MacCabe (Eds.). Springer, New York, 567-581.

Berger, K.G. 1990. Ice cream. Food Emulsions. 367p.

Bockelmann, W., Schulz, Y. and Teuber, M. 1992. Purification and charactarisation of an aminopeptides from *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus.* International Dairy Journal, 2, 95-107.

Bourne, M. 1978. Texture profile analysis. Food Technology. 32(7), 62-66,72.

Bönisch, M.P., Huss, M., Weitl, K. and Kulozik, U. 2007 Transglutaminase cross-linking of milk proteins and impact on yoghurt gel properties. International Dairy Journal, 17, 1360-1371.

Cottrell, J.I.L., Pass, G. and Philips, G.O. 1979. Assesmnet of polysaccharides as ice cream stabilizers. J. Sci. Food Agric. 30, 1085- 1089.

Cottrell, J.I.L., Pass, G. and Philips, G.O. 1980. The effect of stabilizers on the viscosity of an ice cream mix. Journal of Science of Food and Agriculture. 31, 1066-1070.

De Jong, G.A., Wijngaards, H.G., Boumans H., Koppelman, S.J. and Hessing, M. 2001. Purification and substrate specifity of transglutaminases from blood and *Streptoverticillium mobaraense*. Journal Agriculture Food Chemistry. 49, 3389-3393.

Dickinson, E. and Yamamoto, Y. 1996. Reology of milk protein gels and protein-stabilised emulsion gels crosslinked with transglutaminase. Journal of Agriculture Food Chemistry. 44, 1371-1377.

Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, U. ve Gürbüz, F. 1987. Araştırma ve deneme metotları (İstatistik metotları II). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın No: 1021, Ankara, 382 s.

El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorica, C. M., Kuri, V. and Brennan, C. S. 2002. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. International Journal of Dairy Technology, 55 (2), 89-93

Faergemand, M., Otte, J. and Qvist, K.B. 1998. Emulsifying properties of milk proteins cross-linked with microbial transglutaminase. International of Dairy Journal, 8, 715-723.

Faergemand, M., Sorensen, M.V., Jorgensen, U., Budolfsen, G. and Qvist, K.B. 1999. Transglutaminase: Effect on instructural and sensory texture of set-style yoghurt. Milchwissenschaft, 54, 563–566.

Farnsworth, J.P., Lia, J. and Guo, M.R. 2003. Improved structure and consistency of probiotics milk yoghurt. The Australian of Dairy Technology. 58, 2, 187.

Farnsworth, J.P., Lia, J., Hendricks, G.M. and Guo, M.R. 2006. Effects of transglutaminase treatment on functional properties and probiotic culture survivability of goat milk yogurt. Small Ruminant Research. 65 (2006), 113-121.

Gerrard, J.A. 2002. Protein-protein crosslinking in food: Methods, conseqensces, applications. Trends in Food Science and Technology. 13, 389-397.

Goff, H.D. 1997. Colloidal aspect of ice cream- a review. International Dairy Journal,7: 363-373.

Goff, H.D., Kinsella, J.E. and Jordan, W.K. 1989. Influence of various milk protein isolates on ice cream emulsion stability. Journal of Dairy Science. 72, 385-397.

Goff, H.D. 2002. Formation and stabilization of structure in ice-cream and related products. Current Opinion in Colloid and Interface Science. 7(2002), 432-437.

Golabczak, J., Strakowska, J. and Stan, A. 2004. 31st International Conference of the Slovak Society of the Chemical Engineering, Tatranské Matliare, 24-28 May 2004. Chem. Pap. 58(6) 415-417 2004.

Gürsel, A. ve Karacabey, A. 1998. Dondurma teknolojisine ilişkin hesaplamalar, reçeteler ve kalite kontrol testleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Yardımcı Ders Kitabı: 452 No: 1498, 172 s.

Halling, P.J. 1981. Protein stabilised foams and emulsions. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 15, 155-203.

Hartel, W.R., Muse, M. and Sofjan, R. 2003. Effect of structural attributes on hardness and melting rate of ice cream. In proceedings of the 2nd IDF Ice Cream Symposium, Thessoliniki, Greece.

Hinz, K., Huppertz, T., Kulozik, U. and Kelly, A.L. 2007. Influence of enzymatic cross-linking on milk fat globules and emulsfying properties of milk proteins. International Dairy Journal. 17 (2007), 289-293.

Humbel, B. and Müller, M. 1986. Freeze-subsitution and low temperature embedding. Science of Biological Specimen Preparation for Microscopy and Microanalysis.175-183.

Hyde, K.A. and Rothwell, J. 1973. Ice Cream. Churchill Livingstone, Edinburgh.

Hyvönen, L., Linna, M., Tuorila, H. and Dijksterhuis, G. 2003. Perception of melting and flavor release of ice cream containing different types and contents of fat. Journal of Dairy Science, 86, 1130–1138.

Imm, J.Y. and Lee, C.M. 2000. Gelation and water binding properties of transglutaminase-treated skim milk powder. Food Chemistry and Toxicology. 65, 2, 200-205.

Jong, G.A.H. and Koppelman, S.J. 2002. Transglutaminase catalysed reactions: Impact on food applications. Journal of Food Science. 67, 8, 2798-2806.

Kashiwagi, T., Yokoyama, K., Ishikawa, K., Ono, K., Ejima, D., Matui, H. and Suzuki, E. 2002. Crystal structure of microbial transglutaminase from *Streptoverticillium mobaraense*. Journal Biological Chemistry. 277 (46), 44252-44260.

Kester, J.J. and Richardson, T. 1984. Modification of Whey Proteins to Improve Functionality. Journal of Dairy Science 67: 2757-2777.

Kırmacı, H.A., Özer, B. and Türkoğlu, H. 2004. Effect of enzymatic croos linking of protein on textural properties of non-fat yoghurt. International Dairy Symposium Book, Isparta, Turkey. 386p.

Kinsella, J.E. 1984. Milk proteins: physicochemical and functional properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 21, 197-262.

Koxhlot, M.M.R., Eisenmann, B. and Hinrichs, J. 2001. Effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. Journal of Dairy Science. 84:31-37.

Krog, N. 1997. Emulsifiers in ice cream. Danisco Ingredients, DK-8220 Brabrand, Denmark.

Kuraishi, C., Katsutoshi, Y. and Susa, Y. 2001. Transglutaminase: Its utilization in the food industry. Food Reviews International. 17, 2, 221-246.

Lauber, S. Henle, T. and Klostermeyer, H. 2000. Relationship between crosslinking of caseins by transglutaminase and the gel strength of yoghurt. The journal European Food Research and Technology. 210, 305-309.

Lorenzen, P.C. and Schlimme, E. 1998. Properties and potential fields of application of transglutaminase preparations in dairying. International Dairy Federation. 332, 47-53.

Lorenzen, P.C. 2000. Technofunctional properties of transglutaminase treated milk proteins. Milchwissenchaft. 55,12,667-670.

Lorenzen, P.C., Neve, H., Mautner, A. and Schlimme, E. 2002. Effect of enzymatic cross-linking of milk proteins on functional properties of set style yoghurt. International Journal of Dairy Technology, 55, 152–157.

Lorenzen, P.C. and Neve, H. 2003. Enzymatic crosslinking of protein in the manufacture of frementedmilk. International Dairy Federation- Fermented Milk, 241-249.

Mann, E. J. 1977. Frozen Yoghurt. Dairy Industries International. 42 (11): 21, 24.

Marshall, R.T. and Arbuckle, W.S. 1996. Ice Cream. 5th edition. Chapman and Hall, New York, NY. 349p.

Metwally, A.M.M.E. 2007. Effect of enzymatic cross-linking of milk proteins on properties of ice cream with different composition. International Journal of Food Science and Technology 2007, 42, 939-947.

Mitten, H. L. 1977. Hard freezing yoghurt mixes. Dairy Sci. Abst. 40 (1), 172.

Motoki, M. and Seguro, K. 1998. Transglutaminase and its use for food processing. Trends in Food Science and Technology. 9, 204-210.

Muse, R.M. and Hartel, W.R. 2004. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. Journal of Dairy Science. 87:1-10.

Myllärinen, P., Buchert, J. and Autio, K. 2007. Effect of transglutaminase on rheological properties and microstructure of chemically acidified sodium caseinate gels. International Dairy Journal. 17, 800-807.

Ohmes, R.L., Marshall R.T. and Heymann, H. 1998. Sensory and physical properties of ice cream containing milk fat or fat replacers. Journal Dairy Science 81: 1222-1228.

O'Sullivan, M.M., Kelly, A.L. and Fox, P.F. 2002. Effect of transglutaminase on the heat stability of milk: A possible mechanism. Journal Dairy Science, 8, 1–7.

Öner, Z. 2004. Mikrobiyal transglutaminazın özellikleri ve gıda sanayinde kullanılma olanakları. Gıda [ISSN: 1300-3070], Cilt: 29, No: 4, Sf: 269-272, 2004.40,38.

Öner, Z., Karahan, A.G., Aydemir, S. and Aloğlu, H. 2004. Effect of transglutaminase on physicochemical properties of set-style yoghurt. International Dairy Symposium Book. Isparta, Turkey. 386p.

Özer, B. 2006. Yoğurt Bilimi ve Teknolojisi. Sidas Medya Limited Şirketi. İzmir. 488 sf.

Özer, B., Kirmaci, H.A., Oztekin, S., Hayaloglu, A. and Atamer, M. 2007. Incorporation of microbial transglutaminase into non-fat yogurt production. International Dairy Journal, 17, 199-207.

Özrenk, E. ve Akyüz, N. 2000. Yoğurt dondurması üretimi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2000, 7 (1): 43- 48.

Özrenk, E. 2006. The use of transglutaminase in dairy products. International Journal of Dairy Technology, 59, 1–7.

Öztürk, A. 1969. Ankara'da İşlenen Dondurmaların Yapılışı ve Genel Özellikleri Üzerinde Araştırmalar. A. Ü. Z. F. Yayınları No: 341, A. Ü. Basımevi, Ankara, 95s.

Philips, M.C. 1981. Protein conformation at liquid interfaces and its role in stabilising emulsions and foams. Food Technology. 351, 50-57.

Pollard, G. 1978. Frozen yoghurt in UK. Dairy Industries International. 43 (8): 11-51.

Prindiville, E.A., Marshall, R.T. and Heymann, H. 1999. Efect of milk fat on the sensory properties of chocolate ice cream. Journal of Dairy Science 82: 1425-1432.

Robards, A.W. and Sleytr, U.B. 1985. Low temperature methods in biological electron microscopy. 461-499. New York: Elsevier.

Roland, A.M., Phillips, L.G. and Boor, K.J. 1999. Effects of fat content on the sensory properties, melting, color and hardness of ice cream. Journal of Dairy Science 82: 32-38.

Rossa, N.P., Sá de F.M.E, Burin, V.N. and Luiz-Bordigon, M.T. 2011. Optimization of microbial transglutaminase activity in ice cream using response surface methodology. LWT- Food Science and Technology. 44(2011) 29-34
surface methodology

Sakurai, K., Kokubo, S., Hakamata, K., Tomita, M. and Yoshida, S. 1996. Effect of production conditions on ice cream melting resistance and hardness. Milchwissenschaft. 51(8): 451-454.

Sezgin, E., Çetin, T., Şenel, E., Deveci, O. ve Benli, M. 2008. Transglutaminaz enziminin yoğurt üretiminde kullanılması üzerinde araştırmalar. Araştırma Projesi.Tübitak- Tovag. Proje No: 105160

Sharma, R., Lorenzen, P.C. and Qvist, K.B. 2001. Influence of transglutaminase treatment of skim milk on the formation of ε- (γ- glutamin) lsine and the susceptibility of individual proteins towards crosslinking. International Dairy Journal. 11, 785-793.

Sharma, R., Zakora, M. and Qvist, K.B. 2002. Susceptibilitiy of an industrial α-lactalbumine concentrate to crosslinking by microbial transglutaminase. International Dairy Journal. 12, 1005-1012.

Shorsch C., Carrie H., Clark A.H. and Norton, I.T. 2000. Crosslinking casein micells by microbial transglutaminase conditions for formation of transglutaminase induced gels. International Dairy Journal. 10, 519-528.

Soukoulis, C. and Tzia, C. 2008. Impact of the acidification process, hyrdocolloids and protein fortifiers on the pyhsical and sensory properties of frozen yogurt. Society of Dairy Technology. 61, 170-177.

Szczesnıak, A., Brandt, M., and Freıdman, H. 1963. Development of standard rating scales for mechanical parameters and correlation between the objective and sensory texture measurements. Food Technology, 22; 50-54.

Şahan, N. ve Kaçar, A. 2004. Farklı yağ oranları ve tatlandırıcı kombinasyonlarının enerjisi azaltılmış dondurmaların fiziksel ve duyusal özelliklerine etkisi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.8 (2004), 1-6.

Şanlı, T., Sezgin, E., Deveci, O., Şenel, E. and Benli, M. 2011. Effect of using transglutaminase on physical, chemical and sensory properties of set-type yoghurt. Food Hydrocolloids. Volume 25, Issu 6, pages 1477-1481.

Tamime, A.Y. and Robinson, R.K. 1999. Yoghurt Science and Technology. 2nd edition. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 619p.

Tekinşen, O.C. ve Karacabey, A., 1984. Bazı Stabilizer Karışımlarının Kahramanmaraş Tipi Dondurmanın Fiziksel ve Organoleptik Nitelikleri Üzerine Etkisi. TÜBİTAK Proje No:VHAG-594, Ankara, 48 s.

Wilbey, R.A., Cooke, T. and Dimos, G. 1998. Effect of solute concentration, overrun and storage on the hardness of ice cream. Ice cream: Proceedings of the International Symposium held in Athens, Greece, 18-19 September 1997. 186-187.

Ya- Tanimoto, S. and Kinsella, E.J. 1988. Enzymatic modification of proteins: Effects of Transglutaminase crosslinking on some physical properties of β-lactoglobulin. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 36, 281-285.

Yıldırım, M., Hettiarachchy, N.S. and Kalapathy, U. 1996. Properties of biopolymers from crosslinking whey protein isolate and soybean 11S globulin. Journal of Food Science. 61, 6, 1129-1132.

Yıldırım, M., Yıldırım, Z. ve Avşar, K. 2000. Süt endüstrisinde transglutaminaz enziminden yararlanma olanakları. VI. Süt ve Süt Ürünleri Sempozyumu Tebliğler Kitabı. Tekirdağ, 2000. 472-478.

Yokoyama, K., Nio, N. and Kikuchi, Y. 2004. Properties and applications of microbial transglutaminase. Applied Microbiology and Biotechnology, 64, 447–454.

Yüksel, Z. 2007. Transglutaminazın süt proteinlerinin bazı işlevsel özelliklerinin değişimi üzerine etkisi ve yoğurt ve peynire uygulanabilirliği. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisiliği Anabilim Dalı, Ankara.

Yüksel, Z. ve Erdem, Y. K. 2007. Gıda endüstrisinde transglutaminaz uygulamaları:1. Enzimin genel özellikleri.Gıda [ISSN: 1300-3070], Cilt: 32, No: 6, Sf: 287-292, 2007.60,57.

Yüksel, Z. and Erdem, Y. K. 2010. The influence of transglutaminase treatment on functional properties of set yoghurt. International Journal of Dairy Technology. 63 (1), 86-97.

Yuksel, Z., Erdem, Y.K. and Avcı, E. 2011, Modification of the renneting process in Berridge substrate by transglutaminase, International Journal of Dairy Technology, doi: 10.1111/j.1471-0307.2011.00667.x.

Zhu, Y., Rinzema, A., Tramper, J. and Bol, J. 1995. Microbial transglutaminase- a review of its production and application in food processing. Application of Microbial Biotechnology. 44, 277-282.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Evren Ülkü KIRIMHAN
Doğum Yeri : Erzurum
Doğum Tarihi : 14.01.1979
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bornova Anadolu Lisesi (1993), Denizli Anadolu Lisesi (1996)

Lisans : Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Süt Teknolojisi Bölümü (1997- 2001)

Y. Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Süt Teknolojisi Anabilim Dalı (2001- 2005)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl

Araştırma Görevlisi
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü (Ocak 2002- Mart 2007)

Ziraat Mühendisi
Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Teşkilatlandırma Genel Müdürlüğü (Mart 2007- Temmuz 2007)

Ziraat Mühendisi
Antalya Sanayi ve Ticaret İl Müdürlüğü (Temmuz 2007- devam ediyor)

Yayınları

Kırımhan, E., Sezgin, E. 2004. Süt Endüstrisinde Genel HACCP Uygulamaları. Gıda Teknolojisi. Yıl: 8 Sayı: 11; 61- 64.

Kırımhan, E., Sezgin, E., Deveci O. 2005 Çeşitli Isıl İşlemlerin Sütün AFM_1 Stabilitesi Üzerine Etkisi Gıda Teknolojisi. Yıl: 9 Sayı: 9; 93- 96.

Kırımhan, E., Sezgin, E., Deveci O. 2006. Ankara'da Satışa Sunulan İçme Sütlerinin Aflatoksin M_1 Düzeyi Üzerine Bir Araştırma. Akademik Gıda. Gıda Mühendisliği ve Gıda Sanayi Dergisi. Yıl: 4 Sayı: 22; 20- 24.

Kırımhan, E., Gürsel, A. 2007. Sütte Bulunan Biyoaktif Peptidler. Akademik Gıda. Gıda Mühendisliği ve Gıda Sanayi Dergisi. Yıl: 5 Sayı: 27; 3-9.