

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TRANSGLUTAMİNAZ ENZİMİ İLE MUAMELE EDİLEN PEYNİRALTI
SUYUNDAN LOR PEYNİRİ ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Zehranur KARABAĞ

MAYIS - 2025

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TRANSGLUTAMİNAZ ENZİMİ İLE MUAMELE EDİLEN PEYNİRALTI
SUYUNDAN LOR PEYNİRİ ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma Zehranur KARABAĞ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU

Mayıs – 2025

**“TRANGLUTAMİNAZ ENZİMİ İLE MUAMELE EDİLEN PEYNİRALTI
SUYUNDAN LOR PEYNİRİ ÜRETİMİ”** adlı tez çalışması **Fatma Zehranur
KARABAĞ** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından **OY BİRLİĞİ** ile
Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda
Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU
Kırklareli Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. İsmail YILMAZ
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Başak Ebru ÖZCAN
Kırklareli Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 29/05/2025

.....
Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fatma Zehranur KARABAĞ
29/05/2025

ÖZET

TRANSGLUTAMİNAZ ENZİMİ İLE MUAMELE EDİLEN PEYNİRALTI SUYUNDAN LOR PEYNİRİ ÜRETİMİ

Fatma Zehranur KARABAĞ

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Prof. Dr. Hatice ŞANLİDERE ALOĞLU

Mayıs, 2025, 85 sayfa

Bu tez çalışmasında, lor peyniri üretiminde farklı oranlarda (%0, %0,015 ve %0,025, sırasıyla kontrol, LTG1.2 ve LTG2) transglutaminaz enzimi ilavesinin 28 günlük depolama süresince örneklerin fizikokimyasal, renk, tekstürel, reolojik, verim, elektroforetik, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, enzim ilavesi ile çapraz bağlanma sonucu örneklerin elektroforetik profillerinin değiştiğini ve özellikle düşük miktarda enzim katılması sonucu β -laktoglobulin, α -laktoalbumin ve kazein bantlarının yoğunluğunun azaldığını göstermiştir. Bunun sonucunda, kontrol grubuna kıyasla LTG1.2 grubunun protein (%11,45'ten %12,87'e) ve kurumadde miktarının (%27,23'ten %28,23'e) arttığı belirlenmiş ve daha yüksek ürün verimi (%8,63 artış) elde edilmiştir. Kül, renk ve mikrobiyoloji sonuçları değişmemiştir. Bununla birlikte, daha sıkı bir yapı oluştuğundan, kontrol grubuna kıyasla enzim ilaveli örneklerin depolama süresi boyunca daha yüksek pH ve daha düşük asitlik değerleri sergilediği ve böylece proteolitik aktivite kaynaklı acılaşmanın geciktiği belirlenmiştir. Asitlik sonuçları, duyuşal değerlendirme sonuçları ile paralellik göstermiş ve panelistler tarafından depolama süresi boyunca daha yüksek puanlanan LTG1.2 grubunda daha az acılık hissedildiği vurgulanmıştır. Lor peynirlerinde, yapının sıkılığı tekstürel ve reolojik analizler ile tespit edilmiş ve kontrol grubuna (345,067 g) kıyasla LTG1.2 grubu (930,886 g) için sertlik değerinin yükseldiği ve reolojik modüllerin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Lor peyniri üreticileri, düşük ürün verimi ve kısa raf ömrü olmak üzere başlıca iki problemle karşılaşmaktadır. Sonuç olarak, daha etkili bir çapraz bağlanma sonucu daha güçlü bir jel yapısı oluşmasından dolayı düşük miktarda enzim ilavesi ile üretim prosesinde yeni bir ekipman veya dizayna gerek olmaksızın lor peynirinin yapısını ve duyuşal beğenisini geliştirmenin yanı sıra acılaşmayı geciktirerek raf ömrünü uzatmanın mümkün olduğu öne sürülebilir.

Anahtar Kelimeler: Peyniraltı suyu, lor peyniri, transglutaminaz, verim, raf ömrü

ABSTRACT

PRODUCTION OF WHEY CHEESE FROM TRANSGLUTAMINASE ENZYME TREATED WHEY

Fatma Zehranur KARABAĞ

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU

May, 2025, 85 pages

In this study, the effect of transglutaminase enzyme addition in the whey cheese production at different concentrations (0%, 0,015%, and 0,025%, namely control, LTG1.2, and LTG2, respectively) on the physicochemical, color, textural, rheological, yield, electrophoretic, microbiological, and sensory properties of the cheese during storage for 28 days was investigated. Results showed that the electrophoresis profiles have changed following the cross-linking via enzyme addition, and there was a decrease in the intensity of bands corresponding to β -lactoglobulin, α -lactalbumin, and casein. Consequently, it was determined that the protein (from 14,55% to 12,87%) and dry matter (from 27,23% to 28,23%) contents of the LTG1.2 group were increased compared to the control, and higher product yield (8,63% increase) was obtained. There was no change in the ash, color, and microbiology results. Nevertheless, due to the formation of firmer structure, enzyme containing sample groups showed higher pH and lower acidity values compared to the control group, and thus, it is found that the bitterness originating from proteolysis was retarded. The acidity results were parallel with the sensory evaluation results, and it was highlighted that less bitterness was perceived in the LTG1.2 group, which scored higher by the panelists during the storage period. The firmness of the cheese samples was evaluated by textural and rheological analysis, and it was found that the hardness increased in the LTG1.2 group (930,886 g) compared to the control group (345,067 g), and higher rheological moduli values were determined. Whey cheese producers are challenged by two main problems, namely low product yield and short shelf life. Consequently, it can be proposed that it is possible to improve the texture and sensory appreciation of whey cheese, as well as to extend its shelf life by delaying bitterness, without the need for new equipment or design in the production process with the addition of a low amount enzyme, due to the formation of a stronger gel structure as a result of more effective cross-linking.

Keywords: Whey, whey cheese, transglutaminase, yield, shelf life

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin her aşamasında bilgi ve önerileriyle bana yol gösteren, yardım ve desteğini her zaman hissettiğim saygıdeğer ve kıymetli danışmanım Sayın Prof. Dr. Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, değerli fikir ve görüşleriyle bana yol gösteren çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Harun URAN'a, tez çalışması boyunca her türlü konuda bana yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan kıymetli hocalarım Sayın Doç. Dr. Gülce Bedis KAYNARCA ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Recep GÜNEŞ'e, çalışmalarım sırasında her konuda desteklerini ve yardımlarını gördüğüm arkadaşlarım Öğr. Gör. Berkay KOPUK ve Öğr. Gör. Özgür KARADAŞ KONUK'a bir teşekkür borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında olan ve beni maddi ve manevi her konuda destekleyen annem Nuray KARABAĞ'a, babam Yücel KARABAĞ'a ve kardeşim Şebnem Sena KARABAĞ'a sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Peynir İşleme Atık ve Yan Ürünleri.....	5
2.2. Peyniraltı Suyu	6
2.3. Peyniraltı Suyu Proteinleri	7
2.4. Peyniraltı Suyu Proteinlerinin Denatürasyonu	10
2.5. Lor Peyniri	11
2.6. Transglutaminaz Enzimi	14
2.7. Süt Endüstrisinde Transglutaminaz Enzimi Uygulamaları	16
3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM	17
3.1. Materyal	17
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Lor peyniri örneklerinin üretimi.....	17
3.2.2. Fizikokimyasal analizler	19
3.2.3. Renk tayini	21
3.2.4. Tekstür profil analizi	21
3.2.5. Reolojik analiz.....	22
3.2.6. Sodyum dodesil sülfat-poliakrilamid jel elektroforezi (SDS-PAGE).....	23
3.2.7. Mikrobiyolojik analizler.....	24
3.2.8. Duyusal analiz	24
3.2.9. İstatistiksel analiz	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27

4.1. Fizikokimyasal Analiz Sonuçları	27
4.1.1. Kurumadde	27
4.1.2. Kül.....	29
4.1.3. Toplam protein	30
4.1.4. pH ve toplam asitlik	31
4.2. Renk	34
4.3. Tekstür Profil Analizi.....	37
4.3.1. Sertlik	38
4.3.2. Yapışkanlık.....	41
4.3.3. Elastikiyet.....	43
4.3.4. Koheziflik.....	45
4.3.5. Çiğnenebilirlik ve Esneklik.....	47
4.4. Reoloji	49
4.5. SDS-PAGE.....	55
4.6. Mikrobiyoloji	58
4.7. Duyusal Değerlendirme	60
4.8. Verim ve Maliyet Hesabı	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1. Tatlı ve asidik PAS'ların ortalama bileşimleri (%)	6
Çizelge 2.2. İnek, koyun ve keçi sütlerinden elde edilen PAS'ların genel bileşimi (%) .	7
Çizelge 2.3. İnek, koyun ve keçi PAS'larında mevcut olan yaklaşık protein miktarları (%)	10
Çizelge 4.1. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca fizikokimyasal özellikleri.....	27
Çizelge 4.2. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolama süresi boyunca elde edilen CIELab parametreleri	34
Çizelge 4.3. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen tekstür profil analizi sonuçları	38
Çizelge 4.4. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen sertlik değerleri	38
Çizelge 4.5. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen yapışkanlık değerleri.....	42
Çizelge 4.6. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen elastikiyet değerleri.....	43
Çizelge 4.7. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen koheziflik değerleri.....	45
Çizelge 4.8. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen çiğnenebilirlik ve esneklik değerleri.....	47
Çizelge 4.9. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolama süresince elde edilen TMAB sayıları.....	59
Çizelge 4.10. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolama süresi boyunca elde edilen duyu analizi sonuçları	61
Çizelge 4.11. Farklı oranlarda enzim ilavesi sonucu elde edilen verim artışı	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Transglutaminaz katalizörlüğünde meydana gelen reaksiyonlar	15
Şekil 3.1. Lor peyniri üretim akış şeması	18
Şekil 4.1. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca kurumadde değerlerinde meydana gelen değişiklikler.....	28
Şekil 4.2. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca kül değerlerinde meydana gelen değişiklikler	30
Şekil 4.3. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca toplam protein değerlerinde meydana gelen değişiklikler	31
Şekil 4.4. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca pH değerlerinde meydana gelen değişiklikler.....	32
Şekil 4.5. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca titrasyon asitliği değerlerinde meydana gelen değişiklikler.....	32
Şekil 4.6. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca L^* değerlerinde meydana gelen değişiklikler	35
Şekil 4.7. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca a^* değerlerinde meydana gelen değişiklikler.....	36
Şekil 4.8. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca b^* değerlerinde meydana gelen değişiklikler.....	37
Şekil 4.9. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca sertlik değerlerinde meydana gelen değişiklik.....	40
Şekil 4.10. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca yapışkanlık değerlerinde meydana gelen değişiklik	42
Şekil 4.11. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca elastikiyet değerlerinde meydana gelen değişiklik	44
Şekil 4.12. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca koheziflik değerlerinde meydana gelen değişiklik.....	46
Şekil 4.13. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca çiğnenebilirlik değerlerinde meydana gelen değişiklik	48
Şekil 4.14. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca esneklik değerlerinde meydana gelen değişiklik	49
Şekil 4.15. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 1. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri.....	52
Şekil 4.16. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 7. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri.....	52

Şekil 4.17. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 15. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri.....	53
Şekil 4.18. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 21. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri.....	53
Şekil 4.19. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 28. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri.....	54
Şekil 4.21. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 1. gününe ait elektroforez bant görüntüsü.....	56
Şekil 4.22. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 7. gününe ait elektroforez bant görüntüsü.....	56
Şekil 4.23. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 15. gününe ait elektroforez bant görüntüsü.....	56
Şekil 4.24. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 21. gününe ait elektroforez bant görüntüsü.....	57
Şekil 4.25. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 28. gününe ait elektroforez bant görüntüsü.....	57
Şekil 4.26. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca TMAB sayılarında meydana gelen değişiklikler	60
Şekil 4.27. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca duyusal renk skorlarında meydana gelen değişiklikler	62
Şekil 4.28. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca yapı ve görünüş skorlarında meydana gelen değişiklikler	63
Şekil 4.29. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tat skorlarında meydana gelen değişiklikler.....	65
Şekil 4.30. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca acımsılık skorlarında meydana gelen değişiklikler	66
Şekil 4.31. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca koku skorlarında meydana gelen değişiklikler.....	67
Şekil 4.32. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca genel kabul edilebilirlik skorlarında meydana gelen değişiklikler	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 3.1. Kaynatma sonrası elde edilen pıhtı ve süzme düzeneği	19
Resim 3.2. Üretilen lor peyniri örnekleri (sol taraf: enzim içermeyen, sağ taraf: LTG1.2)	19
Resim 3.3. Protein tayini için kullanılan distilasyon ve yakma ünitesi	20
Resim 3.4. Renk analizi için kullanılan kolorimetre	21
Resim 3.5. Tekstür profil analizörü	22
Resim 3.6. Gerilim/gerinim kontrollü reometre	23
Resim 3.7. SDS-PAGE analizi için güç kaynağı ve reaksiyon tankı	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
----------	-------------

G'	Depo modülü
G''	Kayıp modülü
ΔE	Toplam renk farkı
$^{\circ}C$	Santigrat derece
μL	Mikrolitre
%	Yüzde
α	Alfa
β	Beta
K	Kappa
ϵ	Epsilon
γ	Gama

Kısaltmalar	Açıklamalar
-------------	-------------

CMP	Kazeinomakropeptit
G	Gram
kDa	Kilodalton
kg	Kilogram
L	Litre
LAB	Laktik asit bakterileri
mg	Miligram
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
N	Normal

PAS	Peyniraltı suyu
Sn	Saniye
TG	Transglutaminaz enzimi
α-La	Alfa-laktoalbumin
β-Lg	Beta-laktoglobulin



1. GİRİŞ

Peynir, dünya çapında binlerce çeşidi olan, insan beslenmesi ve sağlığı için gerekli temel besin maddelerini içeren ve her yaştan bireylerin severek tükettiği en temel süt ürünlerinden biridir (Pereira ve Vicente, 2018). Peynir ihracatında küresel düzeyde 2023 yılında 221,182 bin Amerikan doları ile 27. Sırada yer alan Türkiye, 2024 yılında ihracat oranını yaklaşık %1,6 arttırarak 224,727 bin Amerikan dolarına yükseltmiştir (Url-1). Türkiye’de süt ve peynir üretimi 2023 yılına kıyasla sırasıyla %9,9 ve %12,3 artmış ve 2024 yılında yaklaşık 11 milyon 233 bin 466 ton süt toplanmış ve yaklaşık 823 bin 783 ton peynir üretilmiştir (TÜİK, 2024). Bu çerçevede; sert ve yumuşak peynir ürünleri pazarı için ülke payının arttırılması, ürün kalitesinin ve raf ömrünün geliştirilmesi, üretim verimlerinin arttırılması, üretimin standardize edilmesi ve tüketicilerin artan taleplerini karşılayabilecek yeni ve/veya modifiye ürünlerin geliştirilmesi ile sektörel gelişimlerin yakından izlenmesine bağlıdır. Buna ek olarak, artan popülasyon kaynaklı yükselen tüketim dikkate alındığında, özellikle düşük verimli ve kısa raf ömürlü ürünlerin veriminde artış sağlayabilecek ve raf ömrünü geliştirecek reformülasyon ve/veya proses geliştirme çalışmalarının, ulusal üreticilerimizin ve ülkemizin rekabet gücüne katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Peyniraltı suyu (PAS), peynir üretimi için kazeinin pıhtılaştırılmasını takiben açığa çıkan ve yaklaşık %6-7 oranında kurumadde içeren bir peynir yan ürünüdür. PAS, doğaya serbest bırakıldığında, zengin organik içeriği nedeniyle önemli bir kirletici olsa da, doğru işlendiği takdirde başta protein olmak üzere bazı besin bileşenlerinin değerli bir kaynağı olmakta ve bazı gıda ürünleri için hammadde görevi görmektedir. Yaklaşık 1 kg peynir üretiminden 9 litre çıkan PAS’ın yüksek organik madde içeriği, peynir üretimi sonrası süt bileşenlerinin %55’ini içermesinden kaynaklanmaktadır. PAS’ın başlıca proteinleri %50’sini oluşturan β -laktoglobulin (β -Lg) ve %20’sini oluşturan α -laktoalbumin (α -La) olmakla birlikte, içeriğinde immunoglobulinler, serum albumini ve diğer azotlu bileşenler bulunmaktadır (Ryan ve Walsh, 2016; Pires, Marnotes, Rubio, Garcia ve Pereira, 2021).

Süt endüstrisi üretilen PAS miktarında istikrarlı bir artış kaydetmekte ve dolayısıyla PAS bertarafının çevresel etkilerini azaltmak ve PAS işlemenin yüksek maliyetini düşürmek için yeni sürdürülebilir PAS kullanım yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir. PAS'ın değerli bir ham materyal olarak kabul edilmesi ve katma değerli ürünlere işlenmesi, zararlı maddelerin doğaya salınmasını minimize ederek çevre kirliliğini azaltabilir. Sıvı PAS'ın en iyi değerlendirilme yolları, peynir tozu elde etmek amacıyla kurutulması veya PAS proteini konsantresi, PAS proteini izolatu ya da PAS proteini hidrolizatları üretimidir (Zandona, Blažić ve Jambrak, 2021). Ancak, PAS'ın bu ürünlere işlenmesi için gerekli ekipmanların yüksek yatırım maliyeti, küçük ve orta ölçekli süt işletmeleri tarafından karşılanamamaktadır (Macedo, Duarte ve Pinho, 2011). Yerel işletmelerde ise açığa çıkan PAS, genellikle peynire işlenmekte ve bu peynirler dünya çapında farklı isimlerle anılmaktadır. Ülkemizde, PAS'ın yüksek sıcaklıklarda ve tuz ilavesiyle denatüre edilmesi sonucu elde edilen ürün lor peyniri olarak bilinmektedir.

Lor peyniri, düşük yağ içeriğinin yanı sıra yüksek protein içeriği nedeniyle diyetetik bir ürün olarak kabul edilmekte ve geleneksel ürünlerin (börek ve çörek gibi ürünlerde dolgu maddesi olarak) yanı sıra bebek beslenmesinden sporcu atıştırmalıklarına kadar çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Kamber, 2007). Lor peyniri üretimi, başta β -Lg ve α -La olmak üzere PAS proteinlerinin yüksek sıcaklıklarda denatüre edilmesi sonucu ürün yüzeyinde agrege olarak birleşmesi ve üç boyutlu bir jel ağı oluşturmalarını kapsamaktadır. Ancak, üretim esnasında tuz harici herhangi bir pıhtılaştırıcı ilave edilmediğinden, yüzeyde toplanan protein pıhtıları küçük olmakta ve dolayısıyla düşük ürün verimi elde edilmektedir (Pires ve diğerleri, 2021). Ayrıca, lor peyniri, yüksek nem, protein, laktoz ve düşük tuz içeriğinin yanı sıra uygun pH koşulları nedeniyle mikrobiyal kontaminasyona ve gelişime son derece açıktır. Lor ve lor benzeri peynirlerin üretiminde iki büyük problem, düşük ürün verimi ve kısa raf ömrüdür. Bu ürünlerin raf ömrünü arttırmaya yönelik modifiye atmosfer paketlenme ve karbondioksit uygulaması (Fişekçi, 2013), probiyotik bakteri ilavesi (Yalçın, 2016), fermente süt ilavesi (Uysal, 2022) ve bitki ekstraktlarının kullanımının (Şeker, 2024) yanı sıra UV-C ışık (Urgu-Ozturk, 2022), vurgulu ışık (Ricciardi, Plazzotta, Conte ve Manzocco, 2021) ve soğuk plazma (Ricciardi, Del Nobile, Conte, Fracassi ve Sardella, 2022) gibi çeşitli ısı olmayan teknolojiler kullanılmıştır. Ancak, ürün verimini arttırmaya yönelik çalışmalar çok daha kısıtlıdır.

Transglutaminaz (TG) enzimi, amin katılması ve çapraz bağlanma aracılığıyla proteinleri modifiye ederek süt ve süt ürünlerinin yapısını ve kıvamını geliştirebilen bir enzimdir (Ozrenk, 2006). Bununla birlikte, özellikle yumuşak peynirlerde uygulandığı takdirde, ürünün yapısını geliştirmesinin yanı sıra protein, yağ ve toplam kurumadde geri kazanımını arttırarak ürün verimini de yükseltmektedir. Ayrıca, katalize ettiği çapraz bağlanma reaksiyonları sayesinde oluşan daha sıkı jel yapısı nedeniyle mikroorganizma kaynaklı proteaz ve lipazların substratlarına erişimini kısıtlamakta ve olgunlaşmamış peynirlerde en önemli bozulma reaksiyonlarından biri olan proteolitik aktivite kaynaklı acılaşmayı geciktirebilmektedir (Pierro ve diğerleri, 2010; Hu ve diğerleri, 2013; Akal, 2023).

Bu nedenle, bu tez çalışmasının amacı, TG enziminin 75°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tamamen inhibe olduğu olgusuna dayanarak, lor peyniri üretim prosesini değiştirmeden, üretim sırasında farklı oranlarda enzim ilavesinin ürünlerin vakum ambalaj ve soğuk koşullar (4°C) altında depolanma süreci boyunca fizikokimyasal (kurumadde, kül, protein, pH ve titrasyon asitliği), renk, tekstürel, reolojik, mikrobiyolojik, biyokimyasal (elektroforez) ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkisini incelemek ve verim artışı sağlamanın yanı sıra dolaylı yoldan proteolitik aktiviteyi kısıtlayarak acılaşmayı engellemektir. Bu amaçlara ulaşılması sonucunda herhangi ekstra bir ekipman, cihaz, personel, alan gereksinimi veya yeni bir proses dizaynı olmaksızın üretim verimliliğinin geliştirilebileceği ve raf ömrünün uzatılabileceği düşünülmektedir.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Peynir İşleme Atık ve Yan Ürünleri

Süt ürünlerinin sağlık üzerine etkileri hakkında pek çok tartışma bulunmasına rağmen, gelişen üretim teknolojileri ve teknikleri ile birlikte peynir, yoğurt, tereyağı, krema ve dondurma gibi süt ürünlerinin tüketimi sürekli bir artış göstermektedir (Rivas, Prazeres, Carvalho ve Beltrán, 2010). Süt endüstrisi, ürün pazarında başarılı bir yer edinmiş pek çok yeni, besinsel açıdan zenginleştirilmiş ürünler geliştirmektedir. Bununla birlikte, yeni jenerasyonun baskın peynir lezzetlerinden ziyade daha hafif lezzete sahip süzme ve lor peyniri gibi ürünleri tercih etmesinin yanı sıra özellikle bebek loru ve ev tipi sürülebilir lor gibi ürünlerin kullanımının yaygınlaştığı ifade edilebilir. Bu nedenle, geleneksel süt ürünleri değişmiş olup, süt endüstrisinin, sağlık ve besinsel özellikler açısından farklı karakteristiklere sahip yeni jenerasyon süt ürünleri talebini karşılamak için sürekli gelişmesi gerekmektedir. Ayrıca, artan popülasyon nedeniyle süt endüstrisinin yalnızca ürün karakteristiklerini geliştirmeye yönelik değil, aynı zamanda ürün verimini arttırmaya yönelik girişimleri de son derece önem taşımaktadır (Jeličić, Božanić ve Tratnik, 2008; Ryan ve Walsh, 2016).

Bununla birlikte, artan gıda tüketimi ve sıkı çevresel düzenlemeler, artırılması ve/veya boşaltılması ekonomik açıdan maliyetli olan gıda atık ve yan ürünlerinin yönetimi, tarımsal gıda sektörleri için büyük bir zorluktur. Süt ve işlenmiş diğer süt ürünleri, tarımsal alanlara dökülme, bazı analizler için gıda tedariği, transfer kayıpları (hasar görmüş ambalaj gibi) ve düşük kaliteli ürün eldesi gibi sorunlar nedeniyle gıda atıklarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Tostivint ve diğerleri, 2017). Bu atıklara ek olarak, süt kalıntıları nedeniyle süt endüstrisi yan ürünleri de (PAS, dökülmüş süt ve pıhtı parçaları) potansiyel kirleticilerdir (Ahmad ve diğerleri, 2019). Süt endüstrisi her yıl milyonlarca ton atık ve yan ürün üretmekte olup, bunların büyük bir kısmını, sütün pıhtılaştırılmasından sonra geriye kalan net fraksiyon olan PAS oluşturmaktadır. PAS, yüksek organik madde içeriği nedeniyle yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacı (40000-60000 mg/L) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (50000-80000 mg/L) değerlerine sahiptir. Bu nedenle, işlem görmeden su kaynaklarına boşaltıldığı takdirde çözünmüş oksijen

miktarını azaltarak akuatik yaşam ve dolayısıyla insan ve çevre sağlığı açısından önemli bir tehdit unsuru oluşturmaktadır (Yadav ve diğerleri, 2015). Miktersal olarak, 1 kg peynir üretiminden yaklaşık 9-10 L PAS çıkmakta ve uygun bir şekilde işlenmediği takdirde ciddi çevre problemlerine yol açmaktadır (Castelli ve Du Vale, 2013). Dünya PAS üretiminin yaklaşık 190×10^6 ton/yıl olduğu tahmin edilmekte ve PAS üretim hacmi, ortalama olarak dünya süt hacmiyle neredeyse aynı oranda (yıllık $>2\%$) büyüdüğü bildirilmektedir (Ryan ve Walsh, 2016; Buchanan, Martindale, Romeih, & Hebishy, 2023).

2.2. Peyniraltı Suyu

PAS, süttten peynir üretiminde ortaya çıkan sarı-yeşil renkli sıvı bir yan üründür. PAS'ın türü, süttten kazeinin işlenmesi için kullanılan işleme tekniğine bağlı olarak değişmekte olup tatlı ve asidik PAS olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Tatlı PAS'ın pH'sı yaklaşık 5.6'dır ve çoğu tip peynirin veya bazı kazein ürünlerinin üretimi sırasında elde edilmektedir (Panesar, Kennedy, Gandhi ve Bunko, 2007). Diğer bir PAS türü olan asidik PAS ise yaklaşık 4.5 pH'ya sahiptir ve çoğu endüstriyel tip kazeinin üretimi sırasında kazeini koagüle etmek için organik (laktik asit) veya mineral asitlerin (hidroklorik veya sülfürik asit) katılmasından ya da laktik asit bakterilerin aktivitesinden kaynaklanmaktadır (Jelen, 2003). Tatlı ve asidik PAS, pH'nın yanı sıra mineral içerikleri ve PAS protein fraksiyonu bileşimi açısından da birbirlerinden farklılaşmaktadırlar (Jelen, 2003). Tatlı ve asidik PAS'ların ortalama bileşimleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tatlı ve asidik PAS'ların ortalama bileşimleri (%) (Arshad ve diğerleri, 2023)

Bileşenler	Tatlı PAS	Asidik PAS
Laktoz	4,40-4,70	4,60-5,20
Mineral	7,50-7,90	5,00-5,20
Toplam protein	6,10-6,20	6,50-6,60
pH	4,60-4,70	5,90-6,40
Laktik asit	4,00	2,60
Süt yağı	0,30	0,20-0,50
Toplam katı	6,30-7,00	6,30-7,00
Toplam serbest amino asit	0,045	0,0133
Kalsiyum	0,60-0,80	0,04-0,06
Laktat	6,40	2,00
Kloridler	1,10	1,10

PAS, süt hacminin %85-95'ini oluşturmakta ve süt bileşenlerinin %55'ini ve toplam protein içeriğinin yaklaşık %20'sini içermektedir (Pires ve diğerleri, 2021). Her iki tür PAS'ın da esas bileşenleri su (toplam PAS hacminin ~%93'ü), laktoz (toplam katının %70-72'si), PAS proteinleri (toplam katının %8-10'u) ve minerallerden (toplam katının %12-15'i) oluşmaktadır. Bu minerallerin önemli bir kısmını kalsium, potasyum, sodyum ve magnezyum tuzları oluşturmakta olup, çinko ve bakır gibi iz metaller de bulunmaktadır (Venetsaneas ve diğerleri, 2009). Ayrıca, PAS, laktik ve sitrik asitler, protein olmayan nitrojen bileşikleri (üre ve ürik asit) ve B grubu vitaminleri gibi diğer bileşenleri de düşük miktarda içermektedir (Ryan ve Walsh, 2016). Bununla birlikte, PAS'ın bileşimi, sütün orijini, üretilen peynir türü ve genel olarak, cins, sezon, yem ve laktasyon fazı gibi süt bileşimini etkileyen faktörlere göre değişiklik göstermektedir. Farklı sütlerden elde edilen PAS'ların bileşimi Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. İnek, koyun ve keçi sütlerinden elde edilen PAS'ların genel bileşimi (%) (Pires ve diğerleri, 2021)

Bileşenler	İnek	Koyun	Keçi
Toplam katı	6,00-7,00	7,60-10,50	7,07-10,80
Laktoz	4,20-5,00	4,30-6,10	5,02-6,70
Protein	0,70-0,90	1,60-1,80	1,20-0,63
Yağ	0,10-0,80	1,20-2,50	0,84
Mineral	0,50-0,60	1,00-1,80	0,57
pH	5,60-6,30	5,30-5,90	6,34

2.3. Peyniraltı Suyu Proteinleri

PAS proteinleri, tüm esansiyel amino asitleri yüksek miktarda içerdiğinden ve protein verimlilik oranı (3,4) kazeinden (2,8) yüksek ve yumurta albuminine benzer olması nedeniyle yüksek kaliteli protein kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, PAS proteinleri, yüksek çözünürlük, su absorpsiyonu, jelatinizasyon ve emülsifikasyon kapasitesi gibi teknolojik özellikleri nedeniyle gıda uygulamalarında kullanılmaktadır (Mollea, Marmo ve Bosco, 2013). PAS, kimyasal, fiziksel ve teknolojik özelliklere sahip önemli bir protein karışımı ihtiva etmekte olup, bu karışımda beş majör fraksiyonun yanı sıra bazı minör fraksiyonlar bulunmaktadır. Bu proteinler, metalleri bağlama veya bağışıklık ve sindirim sistemlerinde spesifik aktiviteler gibi kabiliyetlere sahip olmalarının yanı sıra kas sağlığı ve kilo kontrolü açısından da önem taşımaktadır (Dullius, Goetttert, & De Souza, 2018).

PAS proteinleri, non-polar, polar ve yüklü grupların üniform bir dağılımına sahip globüler yapı sergilemektedir. Bu proteinler arasında β -Lg, α -La, immunoglobulinler, serum albumini, laktoferrin, laktoperoksidaz ve enzimlerin yanı sıra enzimatik pıhtılaştırmanın ilk aşamasında κ -kazeinden serbest kalan glikomakropeptit veya kazeinomakropeptit gibi diğer protein bileşenleri bulunmaktadır. Bu proteinler kazeinlerden farklı amino asit profiline sahip olup, ısı ile kolaylıkla denatüre olabilmektedir (Madureira ve diğerleri, 2010; Pihlanto, 2011; Dinika ve diğerleri, 2020). PAS proteinleri basit protein takviyeleri veya gıda formülasyonlarına ingredient olarak katılabilmektedir (Rojas ve diğerleri, 2020).

β -Lg, toplam PAS proteinlerinin yaklaşık %50'sini oluşturmakta olup PAS'ın en önemli proteindir (Ostertag, Schmidt, Berensmeier & Hinrichs, 2021). Yaklaşık moleküler ağırlığı 18.4 kDa (kilodalton), izoelektrik noktası 5.1 ve 162 amino asit rezidüsüne sahip globüler yapılı bir proteindir (Fee, Billakanti ve Saufi, 2013). Esansiyel amino asitlerin önemli bir kaynağıdır ve mükemmel besleyici özellikleri nedeniyle spor ve diyetetik beslenmede kullanılmaktadır (Toro-Sierra, Tolkach ve Kulozik, 2013). β -Lg, emülsifikasyon, köpürme ve jelleşme özellikleri nedeniyle ingredient formülasyonu için protein hidrolizatlarının üretiminde kullanılmaya başlanmıştır (Chen ve diğerleri, 2019).

α -La, toplam PAS proteinlerinin yaklaşık %20'sini oluşturmakta olup PAS'ın en önemli ikinci proteindir (Dinika ve diğerleri, 2020). Güçlü bir kalsiyum bağlayıcı protein olmakla birlikte 123 amino asitten oluşan bir metalloproteindir. Moleküler ağırlığı yaklaşık 14.2 kDa ve izoelektrik noktası 4.2'dir (Fee ve diğerleri, 2013). Nötral pH'da 75°C sıcaklığın altında denatürasyonu tersinir olduğundan, β -Lg'e kıyasla ısı denatürasyonuna daha dirençlidir (Pires ve diğerleri, 2021). Besleyici özellikleri çok önemli olduğundan, bebek mamalarının protein içeriğinin insan sütüne ayarlanmasında kullanılmaktadır (Toro-Sierra ve diğerleri, 2013). α -La'nin bildirilen diğer özellikleri arasında antihipertansif ve antioksidan aktivite, antiobezite potansiyeli ve antitümoral aktivitesi bulunmaktadır (Hernández-Ledesma, Ramos ve Gómez-Ruiz, 2011).

Serum albumini, inek PAS'ı proteinlerinin yaklaşık %6'sını oluşturmakta olup, 582 amino asit kalıntısına, 69 kDa moleküler ağırlığa ve 4,7-4,9 aralığında bir izoelektrik noktaya sahiptir. Serum albumininin biyolojik fonksiyonları arasında yağ asidi bağlama ve antitümör etki bulunmaktadır. Serum albumininin jelleşme özellikleri iyi

olduğundan, kanserin önlenmesinde ve antioksidan olarak gıda ve terapötik uygulamalarda kullanılmaktadır (Madureira ve diğerleri, 2010; Fee ve diğerleri, 2013).

Laktoferrin, laktotransferrin olarak da bilinen, demir bağlayıcı glikoprotein karakteristiğinde tek zincirli polipeptiddir. Moleküler ağırlığı 80 kDa ve izoelektrik noktası 8.6 olup, 691 amino asit rezidüsünden oluşmaktadır. Laktoferrin, PAS'taki minör proteinlerden birisidir. Demir taşınımı ve absorpsiyonunda ve patojenlere karşı savunmada önemlidir ve ayrıca antioksidan, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal aktiviteler sergilemektedir (Argenta ve Scheer, 2019).

Kazeinomakropeptit (CMP), κ -kazeinin 64 C-uç amino asitlerinden oluşmaktadır. Dallı zincirli amino asit (valin ve izolösin) içeriğinden dolayı özel diyetler için uygundur. Kazeinomakropeptit, karbonhidrat fraksiyonundan dolayı toksinler, virüsler ve bakteriler ile etkileşime girerek farklı patojenlerin hücrelere bağlanmasını önlemektedir. Çalışmalar ayrıca kazeinomakropeptidin asidik diş erozyonuna karşı koruyucu etki gösterdiğini kanıtlamıştır. CMP bağışıklık sistemini modüle edici ve prebiyotik aktiviteler sergilemektedir (Hernández-Ledesma ve diğerleri, 2011).

PAS'ta mevcut olan proteinlerin miktarı ve durumu, PAS orijini (süt çeşidi ve peynir türü), üretim prosesi ve peynir üretiminde kullanılan proses koşulları gibi faktörlerden etkilenmektedir. İnek, koyun ve keçi PAS proteinlerinin miktarları Çizelge 2.3'te verilmiştir. PAS proteinlerinin besleyici değeri ve teknolojik özellikleri sayesinde, hidrolize edildiklerine açığa çıkan biyoaktif peptitler nedeniyle, sağlığa çeşitli şekillerde fayda sağladıkları kanıtlanmıştır (Yadav ve diğerleri, 2015). Son yıllarda, araştırmacılar özellikle PAS proteini türevli peptitlere dair biyoaktivitelere odaklanmaktadır. Bu peptitler, vücut fonksiyonları ve fizyolojik ve metabolik fonksiyonlar üzerine pozitif etkinin yanı sıra antimikrobiyal, antihipertansif, antisitotoksik, antioksidatif, bağışıklığı düzenleyici ve mineral taşıyıcı aktivitelere sahip spesifik protein parçaları olarak tanımlanmaktadır. Bu özellikleri sayesinde, PAS proteinleri kanser, HIV, hepatit B, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, ciğer hastalıkları, osteoporoz, yara bakımı ve tedavisi, enfeksiyon yönetiminin yanı sıra bebek beslenmesi açısından oldukça önem teşkil etmektedir (Mangano, Bao ve Zhao, 2019).

Çizelge 2.3. İnek, koyun ve keçi PAS'larında mevcut olan yaklaşık protein miktarları (%) (Mangano, Bao ve Zhao, 2019)

Protein	İnek	Koyun	Keçi
β -Laktoglobulin	53,30-66,00	73,10	46,60
α -Laktoalbumin	15,00-20,20	17,90	18,30
Serum albumini	6,00-7,00	2,70	5
İmmunoglobulinler	11,00-13,30	-	-
Laktoferrin	0,70-3,30	1,60	2
Laktoperoksidaz	0,50-1,00	-	-
Enzimler	0,50	-	-

2.4. Peyniraltı Suyu Proteinlerinin Denatürasyonu

PAS proteinleri ısıya duyarlı proteinlerdir. Isıl işleme maruz kalan PAS proteinlerinde yapısal ve fonksiyonel özellikler değişmektedir. PAS proteinlerinin ısıl stabilitelerinin

Donovan ve Mulvihill (1987), PAS proteinlerinin ısıl stabilitelerinin şu sıraya göre değiştiğini bildirmiştir; α -La > β -Lg > serum albumini > immunoglobulinler. Termal denatürasyona uğrayan PAS proteinlerinin teknolojik ve fonksiyonel özelliklerindeki değişiklikler, ısıtma hızı, konsantrasyon, denatürasyon derecesi, pH, iyonik güç ve spesifik iyonların varlığı gibi faktörlerden etkilenmektedir (Wagner, Billiaderis ve Moschakis, 2020).

PAS proteinlerinin denatürasyonu 65°C'de başlamakta, ancak genellikle 80°C'nin üstünde meydana gelmektedir. Kazeinin aksine, PAS proteinleri 90°C'de 5 dakika ısıtma sonrası tamamen denatüre olmaktadır. PAS proteinlerinin denatürasyon derecesi, toplam PAS proteinlerinin yaklaşık %50'sini oluşturduğundan β -Lg'in denatürasyon derecesi ile belirlenmektedir (Wijayanti, Bansal ve Deeth, 2014). PAS proteinlerinin termal denatürasyonu, primer ve sekonder olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, dimerler ayrışmakta ve sülfidril grupları aracılığıyla dört monomer etkileşime girerek küçük agregatlar oluşturmaktadır. Küçük agregat oluşumu 70°C sıcaklığın üzerinde meydana gelirken, 80-85°C aralığında maksimum orana ulaşmaktadır. Bunu takiben, küçük agregatlar spesifik olmayan bir şekilde etkileşime girmekte ve yüksek molekül ağırlıklı agregatlar oluşturmaktadır (Jovanović, Barać ve Maćej, 2005).

Termal denatürasyon sırasında van der Waals etkileşimleri, hidrojen bağları ve elektrostatik kuvvetler bozularak protein yapısı değişmekte ve proteinlerin hidrofobik grupları açığa çıkmaktadır. PAS proteinlerinin agregasyonu, β -Lg, κ -kazein, α -La ve serum albumini gibi sistin içeren proteinlerin tiyol-disülfid değişim reaksiyonları

vasıtasıyla disülfür bağı ile serbest bir sülfidril grubunun etkileşimini içermektedir. Bu protein-protein etkileşimleri, ısıtma koşulları ve protein bileşimine bağlı olarak, değişken moleküler boyutlarında protein komplekslerine tersinmez protein agregasyonuna yol açmaktadır (Considine, Patel, Anema, Singh ve Creamer, 2007). Daha detaylı olarak, yüksek sıcaklıklarda önce β -Lg denatüre olarak kazein ile etkileşime girmektedir. En önemli etkileşim, misel yüzeyinde denatüre β -Lg ile κ -kazein arasındaki tiyol-disülfid değişim reaksiyonlarını içermektedir. Yeni oluşan kompleksin yüzeyi, β -Lg'den kaynaklı olarak çok sayıda filament içermekte ve pürüzlü bir yüzey sergilemektedir. Sıcaklığın 90°C'ye yükseltilmesini takiben belirli bir süre sonra α -La denatüre olmakta ve β -Lg'in filamentlerine bağlanarak misel yüzeyindeki boşlukları doldurmaktadır ve bu sayede düzensiz formdan düzenli küresel forma dönüşüm meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, yeniden düzenlenen fonksiyonel gruplar ile moleküller arası etkileşimler meydana gelmekte ve üç boyutlu bir protein ağı oluşmaktadır (Krešić, Lelas, Jambrak, Herceg ve Brnčić, 2008).

PAS, günümüzde, yukarıda belirtilen biyoaktif özellikleri nedeniyle özellikle proteinler ve peptitler olmak üzere fonksiyonel ve biyoaktif bileşiklerin önemli bir kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ancak, dünya çapında ve ülkemizde üretilen PAS'ın büyük bir kısmı hala değerlendirilmemekte ve hatta, bazı işletmelerde herhangi bir işlem görmeden atık sulara ve kanalizasyonlara boşaltılmaktadır. Bunun sebebi, küçük ve orta ölçekli süt işletmelerinin PAS'ı değerlendirmek için gerekli yatırımlara ve işletme boyutlarına sahip olmamasıdır. Bununla birlikte, büyük süt işletmelerinde PAS toz hale dönüştürülmekte, yerel işletmelerde ise çoğunlukla lor peynirine işlenmektedir.

2.5. Lor Peyniri

PAS 85°C'nin üzerine ısıtıldığında bileşiminde bulunan proteinlerin denatürasyonunu takiben meydana gelen koagülasyon/agregasyon sonucu yüzeyde bir pıhtı oluşmaktadır. Oluşan bu pıhtı toplandıktan sonra süzülme ve bileşimine göre yumuşak veya yarı yumuşak lor ve lor benzeri peynirler elde edilmektedir. Günümüzde, dünya çapında lor peynirleri üretilmekte ve farklı isimler altında satılmaktadır: İtalya'da ricotta, ricotta salata veya ricottone ve ricotta fresca; Yunanistan'da anthotyros, myzitra, manouri, xynomyzithra ve urda; Sırbistan ve Romanya'da urda; Kıbrıs'ta anari; Hırvatistan'da skuta; Norveç'te gjetost ve brunost; İsveç'te mesot ve messmör; İzlanda'da mysuostur; Danimarka'da myseost; Portekiz'de requeijão; İspanya ve Meksika'da requesón (Fox, Guinee, Cogan ve McSweeney, 2017; Papademas, Bintsis, Alichanidis ve Ardö, 2018).

Tüm bu peynirler üretim yöntemi, PAS bileşimi ve orijini, asit ilavesi ve tekstür gibi faktörler açısından farklılık göstermekte olup, PAS'ın ısıtılması ve tuz ilavesi sonucu proteinlerin denatürasyonunu takiben oluşan koagulumun süzülmesi ve soğuk koşullar altında 1 gece baskılanması ile elde edilen peynir ise ülkemizde “lor peyniri” olarak adlandırılmaktadır.

Lor peyniri, PAS'tan üretilen ve olgunlaştırılmadan direkt olarak ya da sürülebilir kıvamda tüketilebilen bir yumuşak/yarı yumuşak peynir türüdür. Lor peyniri üretimi için PAS, genellikle 88-92°C'de ısıtmakta ve PAS proteinleri denatüre edilerek üç boyutlu bir protein jeli oluşturulmaktadır. Burada ısıtma hızı önemli bir faktördür. Üretim sırasında denatüre proteinlerin ilk küçük parçacıkların yüzeyde toplanması, 80°C civarlarında meydana gelmektedir. Bununla birlikte, bu durum, PAS'ın türüne, asitliğine ve ilave bileşen gibi faktörlere göre daha düşük sıcaklıkta meydana gelebilmektedir. Ayrıca, bu sıcaklıklarda sodyum klorür ilavesi ile proteinlerin stabilitesi daha da bozularak agregasyon işlemi hızlandırılmaktadır. Elde edilen pıhtı, yüzeyde 15-20 dakika bekletilerek soğutulmakta ya da soğutulmadan direkt olarak süzölmeye alınmaktadır. (Kamber, 2007).

Türkiye'de farklı bölgelerde üretilen lor peynirleri, nor veya şor gibi farklı şekillerde adlandırılmaktadır. Lor peynirinin fizikokimyasal özellikleri, üretimde kullanılan PAS'ın orijinine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, farklı bölgelerde üretilen lor peynirlerinin kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri değişmekle birlikte nem içeriği %64,30-74,01, yağ içeriği %5,34-15,33, protein içeriği %9,65-13,50, tuz içeriği %0,90-1,00, kül içeriği %1,12-1,25 ve laktoz içeriği %5,91-7,50 aralığında değişiklik göstermektedir (Kamber, 2007).

Tüm gıda endüstrilerinde olduğu gibi, artan popülasyon sonucu süt ve süt ürünlerine olan talep de artmış olup, endüstriyel üreticilerin artan tüketici taleplerine karşılık verebilmesi için güncel teknoloji ve yöntemleri takip etmesi gerekmektedir. Endüstriyel lor peyniri üreticilerinin karşılaştığı iki önemli problem, kısa raf ömrü ve düşük ürün verimidir. Üretim esnasında yüksek sıcaklıklar nedeniyle doğal mikroflorası önemli ölçüde inhibe edilse de, lor peynirinin yüksek protein, rutubet, laktoz ve düşük tuz içeriğinden kaynaklı olarak mikrobiyal gelişime elverişli bir ortam olmasıdır. Bunun yanı sıra fermentasyon işlemine maruz kalmaması nedeniyle yüksek pH değerleri sergilemesi ve genel olarak, küçük ve orta ölçekli işletmelerde düşük hijyen

koşullarında üretilmesi, bu ürünü mikrobiyal kontaminasyona açık hale getirmektedir. Bu durum, üründe direkt olarak mikrobiyal bir risk teşkil etmesinin yanı sıra, mikrobiyal faaliyet kaynaklı oluşan proteaz ve lipaz gibi enzimler, depolama süresince proteolize yol açarak ürünün proteinlerini hidrolize etmekte ve üründe acılaşmaya yol açmaktadır (Fox ve diğerleri, 2017; Papademas ve diğerleri, 2018). Bir diğer husus, lor peyniri üretiminde yalnızca PAS ve tuz kullanıldığından, yüzeyde toplanan denatüre proteinlerin boyutunun küçük ve veriminin düşük olmasıdır. Miktersal olarak, 10 litre PAS'tan yaklaşık bir kilogram lor peyniri elde edilmektedir (Bintsis ve Papademas, 2023). Bu bilgiler ışığında, lor peynirinin üretimi sırasında veriminin artırılması ve depolama süresi boyunca acılaşmanın engellenmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu açıkça ortadadır.

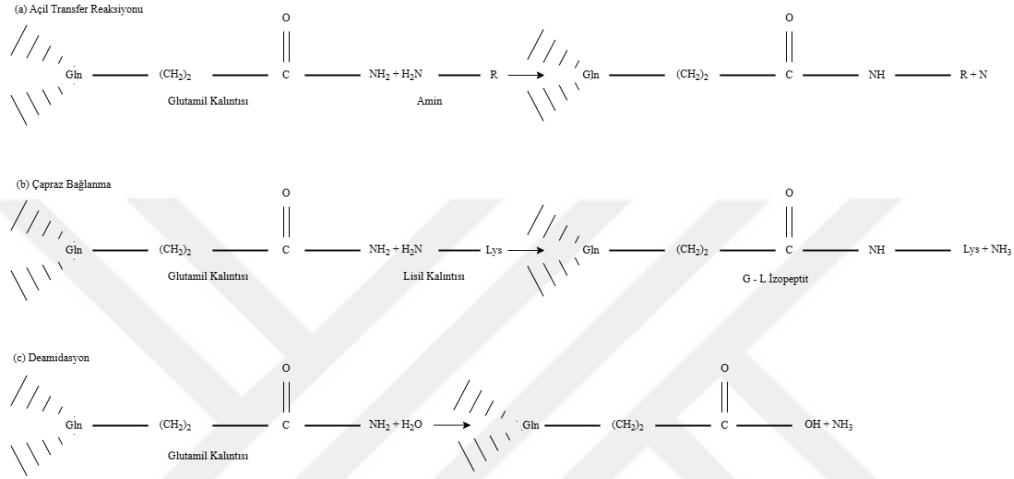
Bu konuya yönelik literatür incelendiğinde, genellikle raf ömrünü uzatmaya odaklanılmış ve modifiye atmosfer paketleme, bitki ekstraktlarının ilavesi, biyoprezervasyon ve yenilikçi teknolojilerin kullanımı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Temiz, Aykut ve Hurşit (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı modifiye atmosfer gaz karışımlarının lor peynirinin mikroflorası ve raf ömrü üzerindeki etkisini incelemiş ve karbondioksit/azot gaz karışımı altında paketlemenin mikroorganizmaların gelişimini etkili bir şekilde inhibe ettiğini ve vakum ve kontrol gruplarına kıyasla raf ömrünü arttırdığını bildirmiştir. Bu durum, modifiye atmosfer paketlemenin lor peynirinin toplam canlı, küf-maya ve *Enterobacteriaceae* mikroflorasının gelişimini inhibe ettiğini ve dolayısıyla ürünün raf ömrünü arttırdığını vurgulayan Irkin (2011) tarafından desteklenmiştir. Başka bir çalışmada, Akpınar ve diğerleri (2022), farklı oranlarda çörekotu, kekik ve biberiye ilaveli lor peyniri örneklerinin keçi derisi veya yapay kılıflarda depolanmasının, örnek mikroflorası ve proteoliz derecesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Araştırmacılar, ambalaj türünün ve bitki ilavesinin mikroflora ve proteoliz derecesini olumlu etkilediğini, ancak ürünün duysal karakteristiklerini bozduğunu bildirmiştir. Ünal, Akyıl ve Akalın (2024) ise *Lactobacillus acidophilus* La-5 ve *Bifidobacterium lactis* BB-12 ihtiva eden probiyotik lor peynirlerine keklikotu ve biberiye ilavesinin, modifiye atmosferde depolama boyunca kontrol grubuna kıyasla probiyotik starter kültür varlığı nedeniyle proteolizi arttırdığını bildirmiştir. Yenilikçi teknolojiler kullanılarak raf ömrünü arttırmaya yönelik yapılan çalışmalara bakıldığında, Duarte ve diğerleri (2017), İspanyol lor peynirinin 100 MPa hiperbarik basınç koşullarında depolamanın, toplam canlı ve *Enterobacteriaceae* sayısını

azalttığını ve laktik asit bakterileri, küf ve mayaların gelişimini engellediğini bildirmiştir. Lor peynirlerinin yüzeyinde sürekli tip UV-C ışık kullanımına yönelik farklı bir çalışmada, peynir yüzeyine UV-C ışık uygulanmasının depolama süresince küf gelişimini geciktirdiği, ancak aşırı dozlarda lipid ve protein oksidasyonuna yol açarak ürün kalitesini bozduğu vurgulanmıştır (Urgu-Ozturk, 2022). Ricotta peynirinin raf ömrünü arttırmak amacıyla vurgulu ışık (Ricciardi ve diğerleri, 2021) ve soğuk plazma teknikleri (Ricciardi ve diğerleri, 2022) kullanılmış ve araştırmacılar, iki yöntemin de ürünün raf ömrünü olumlu yönde etkilediğini bildirmiştir. Ancak, lor peynirinin üretim verimini arttırmaya yönelik literatürün çok daha kısıtlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, TG enziminin, üretim esnasında ürün verimini arttırabilecek ve dolaylı yoldan proteolitik aktiviteyi yavaşlatacak, ancak üründe yağ ve protein oksidasyonuna yol açmayacak ve ürünün duyu özelliklerini değiştirmeyecek ve hatta olumlu yönde etkileyecek potansiyel bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

2.6. Transglutaminaz Enzimi

Proteinler fiziksel, kimyasal ve enzimatik yollarla modifiye edilebilmekte ve bunun sonucunda köpürme, jelleşme, emülsifikasyon gibi özellikleri değiştirilerek yeni teknolojik özellikler kazanabilmektedir. Bunların arasında, enzimatik modifikasyon, yüksek reaksiyon spesifikliği ve düşük toksik ürün oluşum riski nedeniyle kullanışlı bir teknik olarak öne çıkmaktadır (Ozrenk, 2006). Bu bağlamda, enzimatik çapraz bağlanma, proteinlerin özelliklerini modifiye edebilen bir teknik olarak ilgi çekmektedir. TG enzimi, hayvansal dokularda, hayvan kanında, bitkisel dokularda bulunmakta ve mikroorganizmalar tarafından üretilmektedir (Date, Yokoyama, Umezawa, Matsui ve Kikuchi, 2003). TG enzimi uygulamalarının keşfi, enzimin hayvan dokularından ve kandan ayrıştırılması ve saflaştırılması ile başlamıştır. Gine domuzu ciğerinden elde edilen TG, 1980’li yılların sonuna kadar en yaygın ve popüler enzim olmuştur. Ancak, bu enzim, aktivasyonu için kalsiyum gerektirmesi, özellikle miyosin ve kazein içeren bazı gıda matrikslerinde protein stabilizasyonuna yol açtığından ticarileşmemiş veya kabul görmemiştir. 1989 yılında keşfedilen *Streptoverticillium* S-8112 tarafından üretilen TG enziminin, sürdürülebilir, kalsiyumdan bağımsız, geniş pH ve sıcaklık aralığında aktivite gösterebilir ve en önemlisi, GRAS (Generally Recommended As Safe, Genel Olarak Güvenilir Kabul Edilen) kategorisine uygun özellikleri nedeniyle mikrobiyal TG üretimi ticarileşmiş ve uygulamaları yaygınlaşmıştır (Romeih ve Walker, 2017).

Mikrobiyal TG enziminin moleküler ağırlığı yaklaşık 38 kDa olup, tekil bir polipeptit zincirinde 331 amino asitten oluşmaktadır. Sekonder yapısı ise 11 adet α -helis ile çevrili 8 adet β -iplikçiğinden oluşmaktadır. TG enzimi için optimum pH aralığı 5-7 olmakla birlikte pH 4 ve 9'da da kalıntı aktivite gösterebilmektedir. İzoelektrik noktası 8,9 olan TG enzimi, pH 6,0'da 40 ile 50°C aralığında maksimum aktivite göstermekte olup, 70°C sıcaklıkta birkaç dakika bekleme sonucunda aktivitesini kaybetmektedir (Jaros, Partschefeld, Henle ve Rohm, 2006).



Şekil 2.1. Transglutaminaz katalizörlüğünde meydana gelen reaksiyonlar (Romeih ve Walker, 2017)

TG enziminin amin katılması ve çapraz bağlanma aracılığıyla proteinleri modifiye ettiği bilinmektedir. Şekil 2.1'de de gösterildiği gibi, TG enzimi katalizli çapraz bağlanma reaksiyonları 3 aşamada gerçekleşmektedir. TG enzimi, peptide bağlı glutamin kalıntısının γ -karboksilamid grubu (açıl donör) ile farklı bileşiklerin birincil aminleri (reseptörler) arasında açıl transfer reaksiyonlarını katalize etmektedir (Şekil 2.1a). Proteinli sistemlerde, lisinin ϵ -amino grubu reseptör olarak davranmakta ve molekül içi ve moleküller arası ϵ -(γ -glutaminil) lisin izopeptitleri çapraz bağları oluşturmaktadır (Şekil 2.1b). Lysin veya serbest bir protein reaksiyon sistemi bulunmadığı takdirde, su molekülleri açıl grupları için reseptör olarak davranmakta ve glutamin kalıntısının karboksilamid grupları deamide olarak glutamik asit ve amonyak kalıntıları oluşturmaktadır (Şekil 2.1c). Bunun sonucunda protein yükleri ve protein stabilitesi değişmektedir (Ando ve diğerleri, 1989; Sharma, Lorenzen ve Qvist, 2001; Yokoyama, Nio ve Kikuchi, 2004). Ayrıca, gıda sistemlerinde TG indüklü çapraz bağlanma reaksiyonunun, açıl transferi ve deamidasyon reaksiyonlarından önce gerçekleşmekte ve bunun sonucunda glutamin-lisin izopeptitleri ve yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerin

oluşumuna yol açmaktadır. Bu sayede, proteinlerin fonksiyonel özelliklerinde modifikasyonlar meydana gelerek gıda ürünlerinin başta reoloji ve tekstürel özellikleri olmak üzere diğer kalite kriterlerinde de gelişmeler sağladığı bildirilmektedir (Kuraishi, Yamazaki ve Susa, 2001; Ozrenk, 2006).

2.7. Süt Endüstrisinde Transglutaminaz Enzimi Uygulamaları

En önemli süt proteinleri olan kazeinler, süt ürünlerinde TG enzimi için en ideal substratlardır. Bunun sebebi, kazeinlerin tersiyer yapı derecelerinin düşük olması, esnekliği ve disülfid bağları içermemesi nedeniyle reaktif gruplarının TG enzimi tarafından ulaşılabilir olmasıdır (Bönisch, Tolkach ve Kulozik, 2006). Bunun aksine, lor peynirinin majör proteinleri olan globüler PAS proteinleri, doğal hallerinde disülfid bağları tarafından stabilize edildiğinden dolayı TG enzimi ile reaksiyona girecek aktif grup içermemekte ve enzimatik çapraz bağlanma öncesinde modifikasyon gerektirmektedir. Bu modifikasyonlar arasında ön ısıtma ile denatürasyon, indirgeyici ajanlar, pH değerinin yükseltilmesi gibi teknikler bulunmaktadır. Bu modifikasyonlar sonucu PAS proteinlerinin denatürasyonu indüklenerek ve/veya disülfid bağları parçalanarak açılması nedeniyle TG enzimi için uygun potansiyel çapraz bağlanma substratlarının açığa çıkması sağlanmaktadır (Jaros ve diğerler, 2006).

Ancak, peynir üretimi ve olgunlaşması sırasında TG enziminin pıhtıda aktif kalarak çapraz bağlanma reaksiyonlarına devam etmesi, koagülasyon süresini arttırması ve olgunlaşmayı geciktirmesi ve pıhtılaştırıcılarla rekabete girmesi gibi faktörler nedeniyle TG enziminin sert peynirlerde kullanımı çok yaygın değildir. Bunun aksine, yumuşak peynirlerde verimin arttırılmasının yanı sıra su tutma kapasitesinin ve tekstürel özelliklerin geliştirilmesi bu enzimin en büyük avantajlarından (Romeih ve Walker, 2017). TG enziminin kullanımına yönelik dezavantaj sayılacak hususlardan birisi, enzimatik çapraz bağlanma reaksiyonunu takiben inaktivasyonu için yüksek sıcaklık uygulaması gerektirmesidir. Ancak, bu durum, lor peyniri için bir problem teşkil etmemekte olup, üretim esnasında uygulanan 88-92°C sıcaklıklarda enzim inhibe olmaktadır. Bu nedenle, lor peyniri üretimi açısından dikkate alındığında, enzim ilavesini içeren yeni bir proses dizaynı geliştirmeye gerek olmadığından, enzimin endüstriyel kullanıma uygunluğunun yüksek olduğu düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE DENEYSEL YÖNTEM

3.1. Materyal

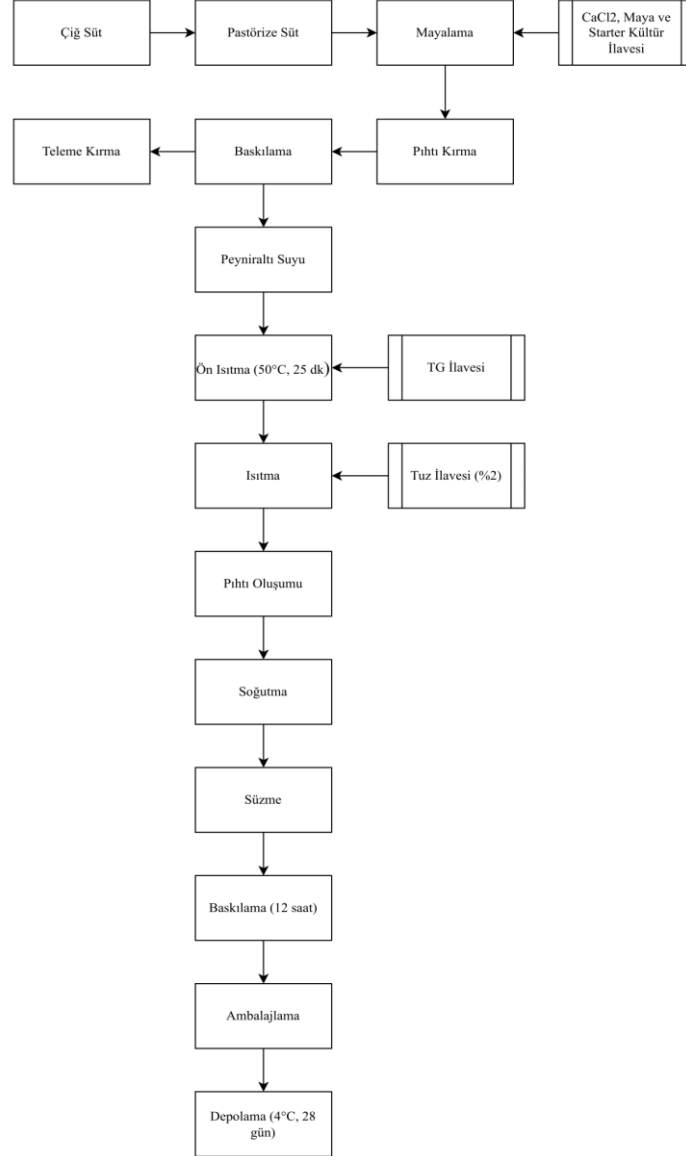
Lor peyniri üretimi, Kırklareli Üniversitesi Gıda Ar-Ge İnovasyon ve Girişimcilik Uygulama ve Araştırma Merkezi (KÜGAM) Süt ve Süt Ürünleri Pilot Tesisi'nde (SÜTAP) gerçekleştirilmiştir. TG ilaveli lor peyniri örneklerinin hazırlanmasında, Benosen'den temin edilen TG enzimi (TEGEN 220 DM, Benosen Gıda Katkı Maddeleri, İstanbul, Türkiye) kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar ve reaktifler analitik saflıkta olup Sigma Aldrich (St Louis, MO, ABD) ve Merck'ten (Darmstadt, Almanya) temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Lor peyniri örneklerinin üretimi

Lor peyniri örneklerinin üretimi, Şekil 3.1'de verilen akış şemasına göre gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, lor peyniri üretimi için gerekli olan PAS, inek peyniri üretimi sırasında elde edilmiştir. İnek peyniri üretimi sırasında açığa çıkan PAS, 8 litrelik partiler halinde filtrelenerek lor peyniri üretimi için tencerele alınılmıştır. PAS, ocak üzerinde 50°C'ye ısıtıldıktan sonra farklı miktarlarda enzim ilave edilmiştir. Enzim ilavesini takiben reaksiyonun gerçekleşmesi için sabit sıcaklıkta (50°C) bir su banyosu içerisinde karıştırma olmaksızın 25 dakika bekletilmiştir. Ardından, PAS, tekrar ocak yardımıyla 80°C'ye ısıtılmış ve tuz (üretilen miktarın %2'si kadar) ilave edilmiştir. Daha sonra, pıhtı belirli aralıklarla kesilerek 95°C'ye ısıtılmış ve tüm pıhtı yüzeyde birikene kadar (yaklaşık 30 dakika) sabit sıcaklıkta (95°C) bir su banyosunda bekletilmiştir. Yüzeyde biriken pıhtı, 45°C'ye soğutulduktan sonra süzme bezlerine aktarılmış ve paslanmaz çelik plakalar yardımıyla soğuk koşullarda (4°C) bir gece baskılama yapılmıştır. Baskısı tamamlanan lor peynirleri, yaklaşık 85 gramlık partiler halinde vakum paketlenmiş ve analiz gününe kadar soğuk koşullarda (4°C) depolanmıştır. Üretim üç gruba ayrılmış ve örnek kodlaması şu şekilde yapılmıştır; K: Kontrol (enzim ihtiva etmeyen), LTG1.2: 1,2 g enzim ihtiva eden (%0,015) ve LTG2: 2 g enzim ihtiva eden (%0,025). Üretimi tamamlanan lor peyniri örnekleri bir haftalık periyotlarla 28 gün boyunca fizikokimyasal (kurumadde, kül, protein, pH, titrasyon asitliği ve renk), mikrobiyolojik (toplam mezofilik aerobik bakteri, küf-maya, *Escherichia coli* ve koliform), reolojik (frekans taraması), tekstürel (sertlik, yapışkanlık, elastikiyet, koheziflik,

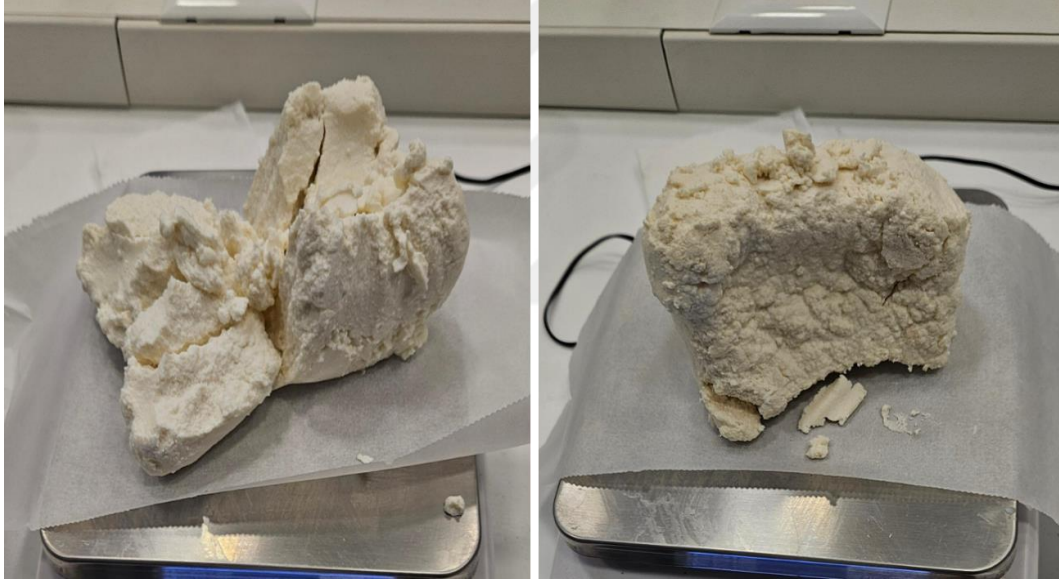
çığnenebilirlik ve esneklik), biyokimyasal (SDS-PAGE) ve duyuşal özellikler açısından incelenmiştir.



şekil 3.1. Lor peyniri üretim akış şeması



Resim 3.1. Kaynatma sonrası elde edilen pıhtı ve süzme düzeneği



Resim 3.2. Üretilen lor peyniri örnekleri (sol taraf: enzim içermeyen, sağ taraf: LTG1.2)

3.2.2. Fizikokimyasal analizler

Lor peyniri örneklerinin kurumadde içeriği, AOAC metoduna göre belirlenmiştir (AOAC, 1990). Bu bağlamda, öncesinde darası alınmış kurutma kaplarına 3 gram lor numunesi homojen bir şekilde tartılmış ve bir etüv (FN 055/120, NÜVE, Ankara, Türkiye) yardımıyla $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Kurutma sonucunda elde edilen değerler, Eş. 3.1'de yerine konularak örneklerin kurumadde içeriği % cinsinden hesaplanmıştır. Lor peyniri örneklerinin kül miktarının tespiti için sabit tartım ağırlığına getirilen porselen krozelerin içerisine 1 gram numune tartılarak, etanol ile ön yakmanın

ardından kül fırınında (FHPX-03, Daihan Scientific Co., Wonju, Korea) $550\pm5^{\circ}\text{C}$ 'de yakılmıştır. Yakma işlemine kalıntı beyaza yakın renge dönene ve sabit ağırlığa ulaşınca kadar devam edilmiştir. İşlem bitiminde krozelerde kalan kül miktarı başlangıçtaki örnek miktarına oranlanarak (Eş. 3.2) örneklerin % kül miktarları belirlenmiştir (AOAC, 1990). Protein tayini Kjeldahl yöntemine göre gerçekleştirilmiş ve Eş. 3.4 ve 3.5 kullanılarak toplam azot ve % toplam protein belirlenmiştir (AOAC, 1990). Lor peyniri örneklerinin pH değerleri, numuneler (1.0 g) bir manyetik karıştırıcı kullanılarak saf su (9 mL) içerisinde disperse edildikten sonra tespit edilmiştir. Bu amaçla, referans olarak standardize edilmiş tamponlara karşı 3 noktalı (pH 4, 7 ve 10) kalibrasyonu yapılmış bir pH metre (Hanna HI-2211, Hanna Instruments Ltd., ABD) kullanılmıştır. Toplam asitlik tayini için 1 g örnek tartılmış ve üzerine 40°C sıcaklıkta 10 mL saf su ilave edildikten sonra homojenize edilmiştir. Ardından, %1'lik fenolftalein çözeltisinden 1 mL ilave edilmiş ve içerisinde 0,1 N NaOH bulunan büret kullanılarak en az 30 saniye kalıcı pembe renk oluşuncaya kadar titre edilmiştir. Titrasyon işlemi sonucunda harcanan NaOH miktarı skaladan okunmuş ve sonuçlar, Eş. 3.3 kullanılarak % laktik asit cinsinden belirtilmiştir.

$$\% \text{ Kurumadde} = \frac{(\text{Kurutma öncesi ağırlık} - \text{Kurutma sonrası ağırlık})}{(\text{Kurutma öncesi ağırlık} - \text{Dara})} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\% \text{ Kül Miktarı} = \frac{(\text{Dara} + \text{kül}) - \text{Dara}}{\text{Örnek Miktarı}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\% \text{ Laktik Asit} = \frac{\text{Harcanan NaOH miktarı} \times 0.009 \times 100}{\text{Örnek miktarı}} \quad (3.3)$$

$$\text{Toplam Azot} = \frac{1,4 \times \text{Safriyat} \times \text{Normalite (HCl)}}{\text{Örnek miktarı (g)}} \quad (3.4)$$

$$\% \text{ Protein} = \text{Toplam Azot} \times 6,38 \quad (3.5)$$



Resim 3.3. Protein tayini için kullanılan distilasyon ve yakma ünitesi

3.2.3. Renk tayini

Lor peyniri örneklerinin renk özellikleri bir kolorimetre cihazı (CR-400, Konica Minolta, Tokyo, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Renk ölçümleri 3 paralelli olarak yürütülmüş olup ölçümler D₆₅ aydınlatma, 2° observer açısı koşulları altında gerçekleştirilmiş ve parlaklık (L^* , $\pm$ beyaz-siyah), a^* ($\pm$ kırmızı-yeşil) ve b^* ($\pm$ sarı-mavi) renk parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen parametreler aşağıdaki eşitlikte (Eş. 3.4) yerine konularak, enzim ihtiva etmeyen kontrol örneğine kıyasla toplam renk farkı (ΔE) tespit edilmiştir:

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

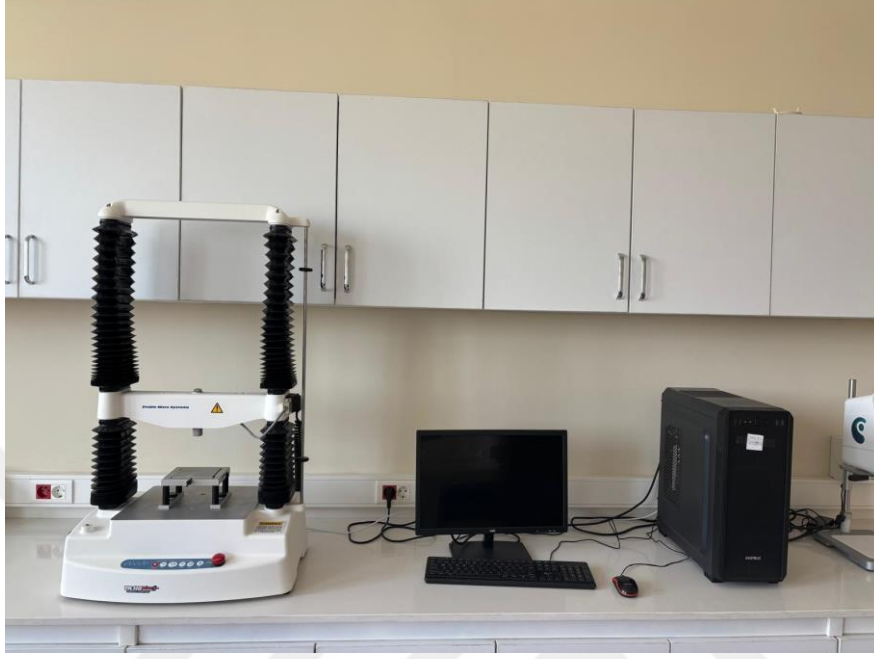


Resim 3.4. Renk analizi için kullanılan kolorimetre

3.2.4. Tekstür profil analizi

Lor peyniri örneklerinin tekstür profil analizi, Madureira, Pintado, Gomes, Pintado ve Malcata (2011) tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek ve bir tekstür profil analizörü (Model TA.HDplusC, Stable Microsystems Ltd, Surrey, UK) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 10 gram lor peyniri 25 mL'lik bir beher içerisine tartıldıktan sonra beher tabanına homojen bir şekilde yayılmış ve bir silindirik prob (P/25, paslanmaz çelik, Stable Microsystem Ltd, Surrey, UK) kullanılarak; ilk algılama kuvveti (trigger force) 5 g, 1 mm/s ön test ve test hızı ve 2 mm/s post test hızı koşulları altında iki kez orijinal yüksekliğinin

%50'sine kadar sıkıştırılmıştır. İki sıkıştırma arası süre 5 saniye olarak ayarlanmıştır. Tekstürel ölçümler 25°C'de beş tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiş ve sertlik (g), yapışkanlık (g.s), elastikiyet (mm), koheziflik, çiğnenebilirlik ve esneklik parametreleri belirlenmiştir.



Resim 3.5. Tekstür profil analizörü

3.2.5. Reolojik analiz

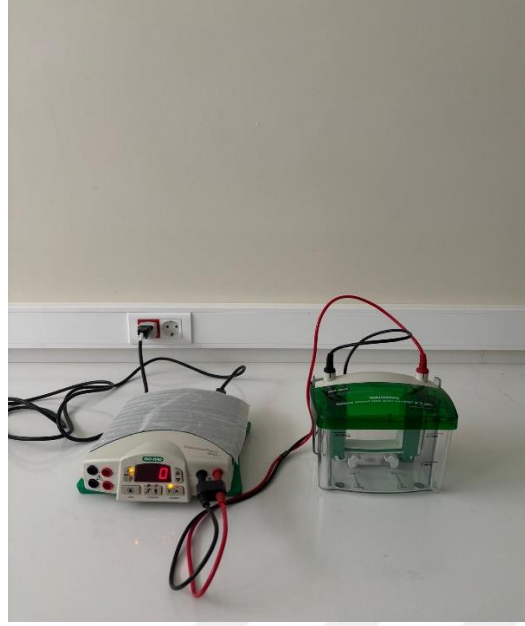
Lor peyniri örneklerinin dinamik reolojik özellikleri, Madureira ve diğerleri (2011) tarafından bildirilen yöntem modifiye edilerek belirlenmiştir. Bu amaçla, küçük genlikli salınımlı kayma ölçümleri, bir kayma/gerinim kontrollü reometre (Anton Paar MCR 102e, GmbH, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaza entegre bir Peltier sistem kullanılarak ölçüm sıcaklığı 25°C'de tutulmuştur. Cihaz 40 mm çapa sahip bir paralel plaka ile donatılmış ve ölçüm boşluğu 1 mm olarak ayarlanmıştır. Ölçüm için 1 gram lor peyniri alt plaka üzerine konulmuş ve numune yükleme sırasında meydana gelebilecek herhangi bir normal stresi engellemek amacıyla 300 saniye bekletilmiştir. İlk olarak, doğrusal viskoelastik aralığın tespiti için 10 rad s⁻¹ frekans sabit tutularak bir genlik tarama testi (%0.01-100) gerçekleştirilmiş ve gerinim %0.1 olarak belirlenmiştir. Ardından, gerinim hızı %0.1 olarak sabit tutularak 0.1 ile 100 rad s⁻¹ aralığında salınım frekansının bir fonksiyonu olarak depo (G') ve kayıp (G'') modülleri tespit edilmiştir.



Resim 3.6. Gerilim/gerinim kontrollü reometre

3.2.6. Sodyum dodesil sülfat-poliakrilamid jel elektroforezi (SDS-PAGE)

Lor peyniri örneklerinin SDS-PAGE profili, Laemmli (1970) tarafından açıklanan yöntemle göre belirlenmiştir. SDS-PAGE analizi için bir güç kaynağı (Power Pac 3000) ile donatılmış bir Bio-Rad mini jel elektroforez sistemi (Bio-Rad Laboratories Ltd., Birleşik Krallık) kullanılmıştır. Bu amaçla, eppendorf tüpler içerisine tartılan 0.20 gram lor numunesi üzerine 500 μ L tampon çözelti (50 mM Tris-HCl, %10 gliserol, %2 sodyum dodesil sülfat, %1.5 β -merkaptoetanol ve %0.1 bromofenol mavisi, pH 6.8) ilave edilmiş ve protein denatürasyonu için 100°C'de 5 dakika kaynatılarak örnekler elektroforeze hazır hale getirilmiştir. Örneklerin molekül büyüklüğüne göre %10 akrilamid yükleme ve %3 akrilamid yürütme jeli hazırlanmış ve elektroforez tampon çözeltisi (25 mM Tris, %0.1 SDS, 250 mM glisin) ile doldurulan elektroforez tankına yerleştirilmiştir. Ardından, bir mikropipet yardımıyla yükleme kuyucuklarına 7 μ L örnek yüklendikten sonra akışı sağlamak amacıyla 120 volt sabit voltajda örneklerin bant boyunca yürümesi tamamlanana kadar (yaklaşık 90 dakika) elektroforeze tabi tutulmuştur. Elektroforez tankından alınan jeller boyama için %0.25 Coomassie brilliant blue çözeltisi içerisinde yaklaşık 45 dakika bekletilmiştir. Ardından fazla boyayı uzaklaştırmak amacıyla yıkama çözeltisi (su/metanol/asetik asit: 45/45/10) içerisinde 1 gece boyunca bekletilmiştir.



Resim 3.7. SDS-PAGE analizi için güç kaynağı ve reaksiyon tankı

3.2.7. Mikrobiyolojik analizler

Lor peyniri örneklerinde mikrobiyolojik özelliklerin tespiti amacıyla toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), maya-küf ve koliform bakteri sayımları yapılmıştır. Örneklerin mikrobiyolojik analizlere hazırlanması için Food and Drug Administration/Bacteriological Analytical Manual (FDA/BAM) tarafından belirtilen standart yöntemler kullanılmıştır. Bu amaçla, 1 g lor peyniri örneği steril polietilen torbalarda tartıldıktan sonra üzerine 9 mL peptonlu su ilave edilerek homojenize edilmiştir. Ardışık seyreltimler (10^{-2} ve 10^{-3}), başlangıç seyreltimi kullanılarak elde edilmiştir. TMAB sayımı için uygun seyreltimlerden Plate Count Agar (PCA) besiyerine ekim yapılmış ve 35°C 'de 48 saat inkübe edilmiştir (FDA, 2001a). Küf ve maya analizi için uygun seyreltimlerden Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerine ekim yapılmış ve 25°C 'de 5 gün boyunca inkübe edilmiştir. Eğer 5 gün sonunda bir gelişim gözlenmemiş ise, petripler 48 saat boyunca (toplam 7 gün) tekrar inkübe edilmiştir (FDA, 2001b). Koliform bakteri sayımı için uygun seyreltimlerden Eosin Methylene-blue Lactose Sucrose Agar (EMB) besiyerine ekim yapılmış ve 37°C 'de 24-48 saat inkübe edilmiştir (FDA, 2001c).

3.2.8. Duyusal analiz

Lor peyniri örneklerinin duyusal değerlendirmesi, depolamanın 1., 7., 15., 21. ve 28. günlerinde yürütülmüştür. Her bir panelist için aynı miktarda örnek tartılmış ve beyaz tabaklara konularak rastgele sayı ve harflerle kodlanmış örnekler rastgele bir şekilde dizilerek

servis edilmiştir. İlgili örnekler ve parametreler hakkında panelistlere bilgilendirme yapıldıktan sonra 10 kişilik panelist grubu ile değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Örnekler, renk, yapı ve görünüş, tat, acımsılık, koku ve genel kabul edilebilirlik parametreleri açısından değerlendirilmiş ve 9 noktalı hedonik skala (1 = hiç beğenmedim, 9 = çok beğendim) üzerinden puanlama yapılmıştır. Peynir örnekleri arasında ağız temizlemek için panelistlere su ve ekmek ikram edilmiştir (Clark ve Costello, 2016).

3.2.9. İstatistiksel analiz

Depolama süresi boyunca yürütülen analizlerin sonuçları ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. Tek yönlü varyans testi (ANOVA), IBM Statistical Software (SPSS versiyon 22, IBM Corp., New York, USA) istatistik programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizler %95 güven aralığında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar arasındaki farklılıkların önemli olup olmadığı Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir ($P<0.05$).



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

Farklı oranlarda TG enzimi ihtiva eden lor peyniri örneklerinin fizikokimyasal parametrelere ait değerler ve bu değerlerdeki 28 günlük depolama süresi boyunca meydana gelen değişiklikler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Buna göre, enzim ilavesinin örneklerin depolama süresi boyunca kurumadde, toplam protein, pH, titrasyon asitliği ve renk değerleri üzerine etkisi önemli bulunurken ($P<0.05$), kül miktarı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$).

Çizelge 4.1. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca fizikokimyasal özellikleri

Numune	Kurumadde (%)	Kül (%)	Toplam Protein (%)	pH	Titrasyon asitliği (%LA)
1. Gün					
Kontrol	27,23±0,11 ^{bA}	1,94±0,07 ^{aA}	11,45±0,16 ^{cA}	6,50±0,07 ^{aA}	0,37±0,01 ^{aD}
LTG1.2	28,23±0,12 ^{aA}	1,84±0,07 ^{aA}	12,87±0,13 ^{aA}	6,51±0,01 ^{aA}	0,43±0,02 ^{aC}
LTG2	27,95±0,13 ^{abA}	1,78±0,05 ^{aA}	12,13±0,12 ^{bA}	6,45±0,02 ^{aA}	0,28±0,02 ^{bB}
7. Gün					
Kontrol	27,20±0,07 ^{bA}	1,99±0,15 ^{aA}	11,29±0,11 ^{cA}	6,36±0,03 ^{bAB}	0,66±0,04 ^{aC}
LTG1.2	28,20±0,16 ^{aA}	1,93±0,07 ^{aA}	12,73±0,07 ^{aA}	6,49±0,01 ^{aA}	0,45±0,05 ^{abBC}
LTG2	27,81±0,13 ^{aA}	1,84±0,07 ^{aA}	12,08±0,05 ^{bA}	6,44±0,01 ^{abA}	0,29±0,07 ^{bB}
15. Gün					
Kontrol	27,23±0,22 ^{cA}	1,99±0,02 ^{aA}	11,17±0,07 ^{cA}	6,32±0,01 ^{bB}	0,70±0,03 ^{aBC}
LTG1.2	28,57±0,18 ^{aA}	1,94±0,05 ^{aA}	12,49±0,09 ^{aA}	6,45±0,01 ^{aA}	0,47±0,02 ^{bBC}
LTG2	27,67±0,13 ^{bA}	1,87±0,03 ^{aA}	12,01±0,01 ^{bA}	6,41±0,00 ^{aA}	0,33±0,01 ^{cB}
21. Gün					
Kontrol	27,79±0,14 ^{bA}	1,97±0,03 ^{aA}	11,31±0,04 ^{cA}	6,03±0,07 ^{aC}	1,21±0,04 ^{aB}
LTG1.2	28,55±0,08 ^{aA}	1,90±0,01 ^{aA}	12,50±0,00 ^{aA}	6,18±0,08 ^{aB}	1,00±0,06 ^{bB}
LTG2	27,65±0,17 ^{aA}	1,84±0,06 ^{aA}	12,02±0,04 ^{bA}	6,09±0,08 ^{aB}	1,02±0,03 ^{bB}
28. Gün					
Kontrol	27,36±0,18 ^{bA}	1,96±0,02 ^{aA}	11,21±0,03 ^{cA}	5,79±0,04 ^{bD}	1,35±0,03 ^{aA}
LTG1.2	28,67±0,10 ^{aA}	1,86±0,05 ^{aA}	12,60±0,06 ^{aA}	6,00±0,03 ^{aC}	1,10±0,01 ^{bA}
LTG2	27,21±0,12 ^{abA}	1,86±0,01 ^{aA}	12,11±0,03 ^{bA}	5,95±0,06 ^{abC}	1,15±0,04 ^{bA}

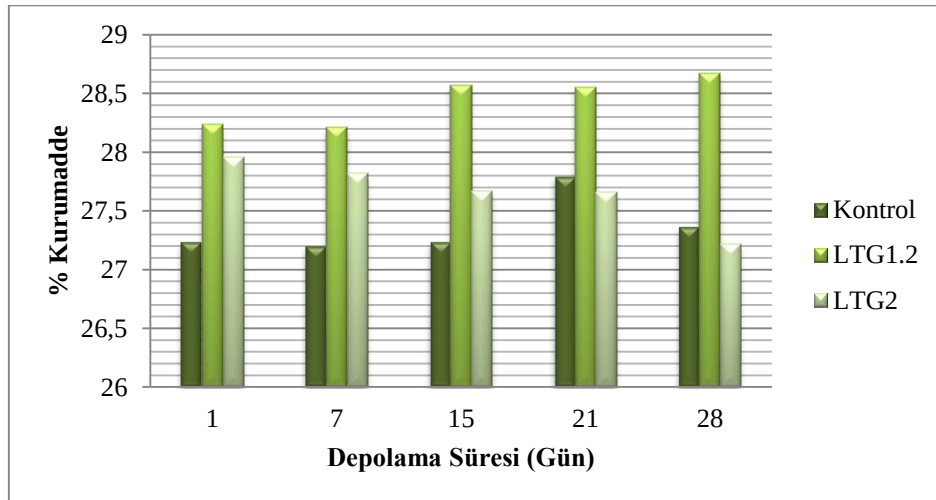
Ortalama sonuçlar $\pm$ standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P<0.05$). Aynı sütündaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P>0.05$).

4.1.1. Kurumadde

Çizelge 4.1’den de görülebildiği gibi, lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca kuru madde değerleri %27,201-28,880 aralığında değişiklik göstermiş ve en düşük değerler kontrol grubunda, en yüksek değerler ise LTG1.2 grubunda tespit edilmiştir. Depolamanın 1. günü için kontrol örneğinin kurumadde içeriği %27,235 olarak belirlenirken, enzim ilavesi ile örneklerin kurumadde değerlerinde önemli bir artış olmuş ve LTG1.2 grubu için %28,235 ve

LTG2 grubu için %27,955 olarak belirlenmiştir ($P<0.05$). Bununla birlikte, depolama gününden bağımsız olarak, LTG1.2 ve LTG2 grupları arasında önemli bir fark görülmezken ($P>0.05$), kontrol grubu her iki gruptan da önemli ölçüde düşük bulunmuştur ($P<0.05$). Ek olarak, depolama süresi boyunca, örneklerin kendi içerisinde kurumadde değerleri arasında kayda değer bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$).

Elde edilen kurumadde sonuçlarına benzer olarak, Sönmez, İncili ve Çalıcıoğlu (2019), Elazığ ilinde satışa sunulan lor peynirlerinin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini incelemiş ve vakum ambalajlı ve vakumsuz satılan lor peyniri örneklerinin kurumadde değerlerini ortalama olarak sırasıyla %29,15 ve %28,70 olarak bildirmiştir. Buna uygun olarak, Şeker (2024), çeşitli bitki ekstraktları ilave edilen yağsız lor peyniri örneklerinin 28 günlük depolama süresince kurumadde değerlerinin %26,18 ile %27,76 gibi dar bir aralıkta değiştiğini ve depolama sırasındaki nem kaybı nedeniyle vakumsuz depolanan örneklerin nem içeriğinin vakum ambalajlı örneklerle göre daha düşük olduğunu bildirmiştir. İrkin (2011) ve Madureira ve diğerleri (2011) tarafından lor peynirine dair yapılan çalışmalarda da kurumadde değerleri sırasıyla %28,45 ve %28,98-25,8 olarak bulunmuştur. Bunun aksine, Temiz ve diğerleri (2009), Yalçın (2016), Ekin (2016) ve Uysal (2022) tarafından yapılan çalışmalarda, bu tez çalışmasına kıyasla lor peyniri için genel olarak daha yüksek kurumadde değerleri tespit edilmiş ve sırasıyla %34,56-35,58, %28,06-30,18, %30,01-32,05 ve %30,10-33,99 aralığında değiştiği bildirilmiştir. Literatürde belirtilen kurumadde değerleri arasındaki farklılıklar, lor peynirinin üretildiği PAS'ın bileşimi, yağının alınıp alınmadığı, elde edildiği süt orijini ve maruz kaldığı prosesler gibi faktörlerin yanı sıra lor peyniri üretim prosesi ve üretimde kullanılan tuz miktarı gibi faktörlere atfedilebilir.



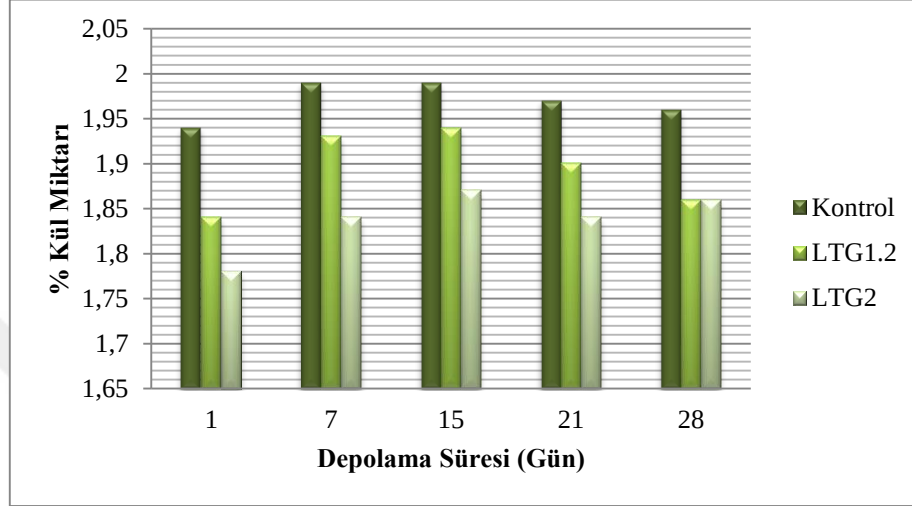
Şekil 4.1. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca kurumadde değerlerinde meydana gelen değişiklikler

TG enzimi ilavesi sonucu meydana gelen kurumadde artışı (Şekil 4.1), enzimin protein ve yağlar üzerindeki geri kazanımı arttırması ile ilişkilendirilebilir. Akal (2023), lor peyniri üretim prosesine düşük (2 U/g protein) ve yüksek (5 U/g protein) konsantrasyonlarda TG enzimi ilavesinin, son ürünün fizikokimyasal ve duyuşsal özellikleri üzerine etkisini araştırmış ve düşük konsantrasyonda enzim ilavesinin toplam kurumadde miktarını %30,28'den %34,35'e arttırırken, yüksek miktarda enzim ilavesinin %33.14'e arttırdığını bildirmiştir. Araştırmacı, toplam kurumadde miktarında meydana gelen bu artışın, üretim sırasında TG enzimi ilavesi sonucunda pıhtıda daha fazla PAS proteini toplanmasına bağlamıştır. Benzer şekilde, TG enzimi ilavesinin düşük yağlı Cheddar peyniri üzerine etkisini araştıran Hu ve diğerleri (2013), enzimin pıhtıda yağ ve protein kaybını önemli ölçüde azalttığını ve dolayısıyla yağ ve protein geri kazanımını arttırdığını bildirmiştir. Peynir üretimi sırasında TG indüklü oluşan daha güçlü jel yapı sayesinde, pıhtının parçalanması ve kırılması önlenerek protein ve yağ kaybı azaltılabilir. Dahası, çapraz bağlanma, peynir pıhtı matrisindeki serbest hacmi arttırarak peyniraltı suyu tutma kapasitesini de geliştirebilir. Bunun sonucunda, PAS'ta bulunan daha yüksek miktarda serbest protein pıhtıya hapsedilerek protein geri kazanımı artabilir (Pierro ve diğerleri, 2010). Son olarak, artan enzim miktarıyla orantılı olarak azalan kurumadde miktarı, optimum değerden yüksek miktarda kullanılan enzimin iyi yapılanmış peynir protein ağını bozması ile ilişkilendirilebilir (Imm ve Lian, 2000; Cadavid ve diğerleri, 2020; Akal, 2023).

4.1.2. Kül

Lor peyniri örneklerinin kül değerleri incelendiğinde, numunelerin kül miktarlarının %1,78-1,99 gibi dar bir aralıkta değiştiği gözlemlenmiştir (Çizelge 4.1). Bununla birlikte, enzim ihtiva eden ve etmeyen örnekler arasında önemli bir fark tespit edilmediği için TG enzimi ilavesinin kül miktarı üzerinde bir etkisi olmadığı söylenebilir ($P>0.05$). Ayrıca, depolama süresi boyunca da kül değerlerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmediği belirtilmelidir ($P>0.05$). Ancak, literatürde belirtilen kül değerleri bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre farklılık göstermektedir. Örnek olarak, Sönmez (2019) vakumlu ve vakumsuz ambalajlanan lor peyniri örneklerinin ortalama kül değerlerini sırasıyla %2,30 ve %2,40 olarak belirtmiştir. Benzer şekilde, Şeker (2024), lor peyniri örneklerinin farklı bitki ekstraktları katılan yağsız lor peyniri örneklerinin kül miktarlarının %3,87-3,92 aralığında değiştiğini ve 28 günlük depolama süresince istatistiksel bir fark meydana gelmediğini bildirmiştir. Bu çalışmaların aksine, farklı ambalajlama koşullarının lor peynirinin raf ömrü üzerine etkisini inceleyen İrkin (2009), ortalama kül miktarını %1,25 olarak tespit etmiştir. Farklı bir çalışmada, TG enzimi

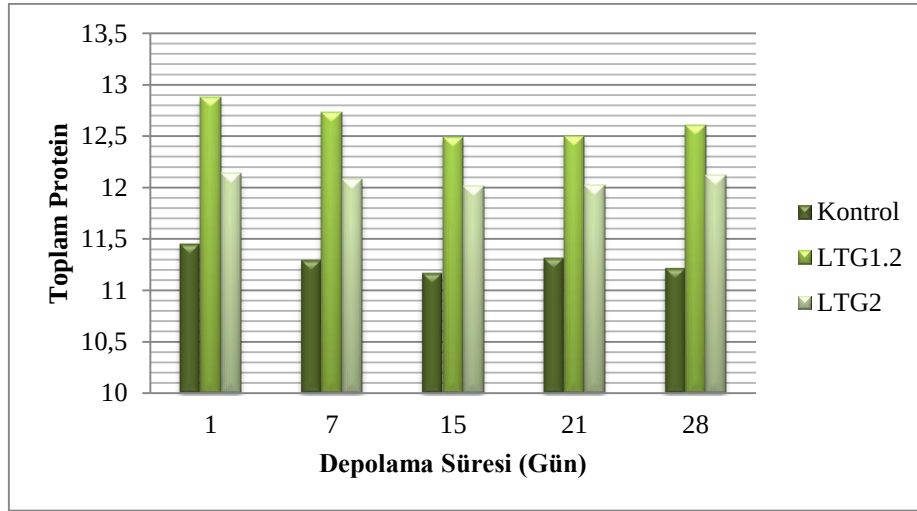
ilaveli lor peyniri üreten Akal (2023), örneklerin kül değerlerinin 0,39-0,44 arasında değiştiğini ve bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara benzer şekilde, TG enziminin kül miktarına etki etmediğini bildirmiştir. Bu sonuçlarla uyumlu olarak, Cadavid ve diğerleri (2020), TG enzimi ilavesi sonrası quark tipi peynirlerin kül miktarlarının değişmediğini vurgulamıştır.



Şekil 4.2. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca kül değerlerinde meydana gelen değişiklikler

4.1.3. Toplam protein

Farklı oranlarda TG enzimi içeren lor peyniri örneklerinin protein değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Buna göre, lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca %11,170-12,875 aralığında değişim göstermiştir. Enzim ilavesi konsantrasyona bağlı olarak toplam protein miktarını arttırmış ve bu artış istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Bununla birlikte, kurumadde sonuçları ile uyumlu olarak, depolama süresi boyunca en yüksek değerler LTG1.2 grubunda, en düşük değerler ise kontrol grubunda belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca toplam protein değerleri önemli ölçüde değişiklik göstermemiştir ($P>0.05$). Enzim ilaveli örnekler kendi içinde kıyaslandığında ise LTG1.2 grubunun LTG2 grubundan kayda değer ölçüde daha yüksek protein içerdiği bulunmuştur ($P<0.05$).



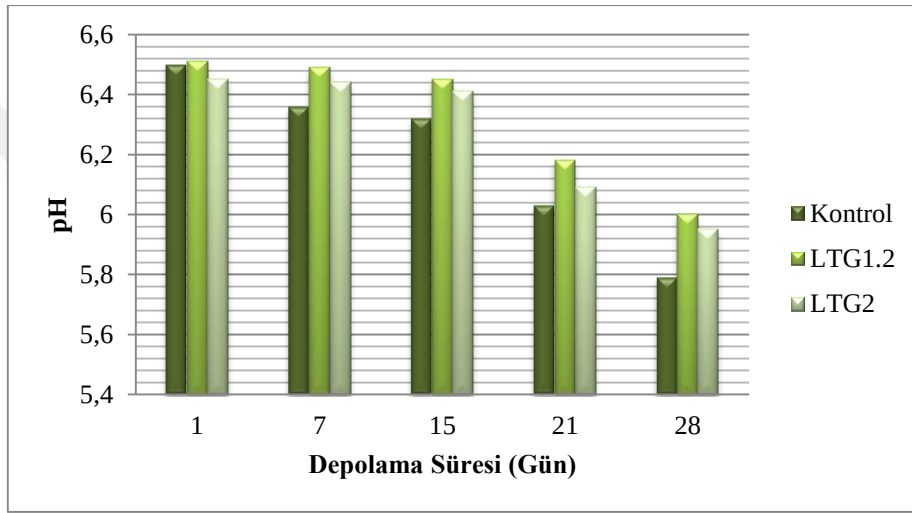
Şekil 4.3. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca toplam protein değerlerinde meydana gelen değişiklikler

Literatürde bildirilen farklı çalışmalarda da TG enzimi ilavesi ile protein değerlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Akal (2023), özellikle düşük miktarda TG enzimi ilavesi sonucu lor peynirinin protein miktarının önemli ölçüde arttığını bildirmiştir. Karzan, Nawal ve Ashna (2016) ise TG enzimi katılan keçi lor peyniri örneklerinde enzim miktarı arttıkça örnekteki protein miktarının arttığını, PAS'taki protein miktarının ise azaldığını vurgulamıştır. Razeghi ve Yazdanpanah (2020) serbest ve enkapsüle TG enziminin konsantrasyona bağlı olarak beyaz peynirlerin protein miktarlarını önemli ölçüde arttırdığını bildirmiş ve bu değişikliği enzimin çapraz bağlama kabiliyetine bağlamıştır. Bu bağlamda, protein miktarında meydana gelen artış, kurumadde değerleri için açıklandığı gibi, TG enziminin kazeinin farklı formlarının yanı sıra PAS proteinlerinin glutamin ve lisin amino asitleri arasında çapraz bağlanma etkisinden dolayı protein geri kazanımını arttırmasına bağlanabilir (Hu ve diğerleri, 2013).

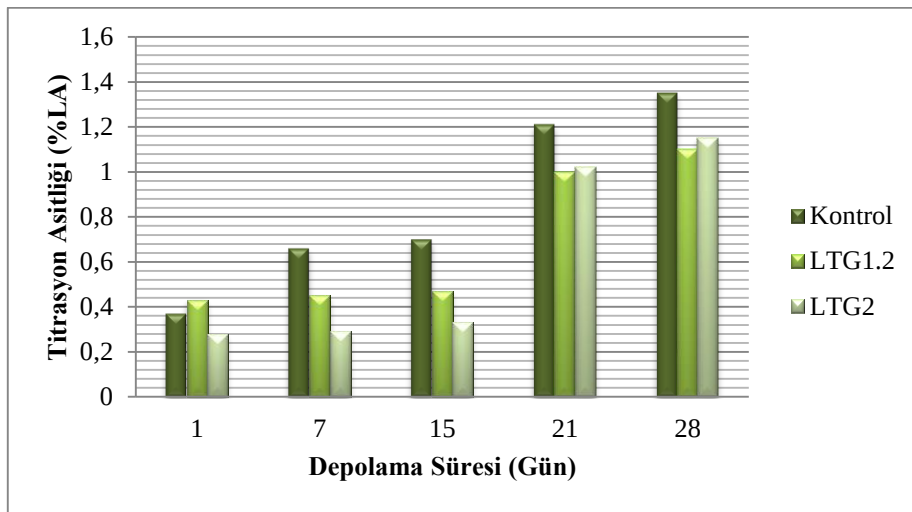
4.1.4. pH ve toplam asitlik

Lor peyniri örneklerinin pH ve toplam asitlik değerleri söz konusu olduğunda, enzim ihtiva eden ve etmeyen örneklerin pH değerleri 5,79-6,51 ve toplam asitlik değerleri ise %0,28-1,35 gibi geniş bir aralıkta değişiklik göstermiştir. Depolama süresinden bağımsız olarak en düşük pH ve en yüksek toplam asitlik değerleri kontrol grubunda gözlemlenmiştir. Çizelge 4.1'e göre, depolamanın 1. günü için TG ilavesinin pH değerlerinde herhangi bir kayda değer farklılık yaratmadığı söylenebilir ($P>0.05$). Bunun aksine, toplam asitlik değerleri için LTG1.2 ile kontrol grubu arasında bir fark oluşmazken ($P>0.05$), LTG2 grubunun toplam asitlik değerinin diğer iki gruptan önemli ölçüde daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

($P<0.05$). Örneklerin depolama süresi boyunca pH ve toplam asitlik değerlerinde meydana gelen değişiklikler önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Ayrıca, beklendiği gibi, depolama süresi boyunca örneklerin pH değerlerinin azalma ve toplam asitlik değerlerinin artma eğiliminde olduğu ve bu değişikliklerin birbirleri ile ilişkili şekilde meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.4 ve 4.5). Bununla birlikte, enzim içeren örneklerin pH değerleri arasında bir fark olmadığı ($P>0.05$), ancak bu iki örnek grubunun pH değerlerinin, depolama süreci boyunca kontrol örneğinden önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0.05$). Toplam asitlik için ise 15. güne kadar en düşük değer LTG2 grubunda kaydedilirken, 15. günden sonra LTG1.2 grubunun toplam asitlik değerinin daha düşük olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.4. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca pH değerlerinde meydana gelen değişiklikler



Şekil 4.5. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca titrasyon asitliği değerlerinde meydana gelen değişiklikler

Ek olarak, elde edilen pH değerleri ve depolama süresince meydana gelen farklılıklar, literatürde bildirilen değerlerle genel olarak uyum içerisinde. Sönmez, İncili ve Çalıcıoğlu (2019), Elazığ ilinde satışa sunulan lor peynirlerinin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini incelemiş ve vakum ambalajlı ve vakumsuz satılan numunelerin ortalama pH ve asitlik değerlerini sırasıyla 5,40-5,90 ve %0,46-1,84 olarak belirlemiştir. Benzer şekilde, Akal (2023), TG enzimi içeren lor peyniri örneklerinin pH ve asitlik değerlerinin sırasıyla 4,53-4,68 ve %0,41-0,68 aralığında değiştiğini, enzim ilavesinin başlangıçta bir etki etmediğini ve depolama süresince pH değerleri düşerken, asitlik değerlerinin arttığını bildirmiştir. Benzer durum, Razeghi ve Yazdanpanah (2020) tarafından TG enzimi ihtiva eden beyaz peynirler için bildirilmiş ve depolama süresince enzim içeren örneklerin önemli ölçüde daha yüksek pH değerleri sergilediği belirtilmiştir. Ekin (2016) tarafından ise probiyotik bakteri katılan lor peyniri örneklerinin pH değerlerinin depolama süresi boyunca sırasıyla 5,42'den 4,45'e düştüğünü, asitlik değerinin %0,37'den %1,38'e yükseldiğini belirtmiştir. Literatür ile farklılık gösteren pH değerlerinin hammadde olarak kullanılan PAS'ın bileşiminden (protein ve yağ içeriği gibi), üretim aşamalarından ve muhafaza koşulları arasındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Gıda ürünlerinin hem mikrobiyolojik hem de kalite özellikleri üzerine etkili olan en önemli parametrelerden birisi pH'dır. Süt endüstrisinde pH değişimleri, genellikle mikrobiyolojik bozulmanın birinci göstergesidir (Aydogdu, O'Mahony ve McCarthy, 2023). Lor peynirlerinin muhafazası sırasında pH değerinde meydana gelen düşüş, mikroorganizmaların proteolitik ve lipolitik aktiviteleri sonucu açığa çıkan asidik aminoasitler ve serbest yağ asitleri ile ilişkilendirilmektedir (Akpınar ve diğerleri, 2022). Ayrıca, Anlı (2020), depolama süresi boyunca lor peynirlerinin pH değerlerindeki düşüşün, mikroaerofilik laktik asit bakterilerinin (LAB) gelişimi ve laktik asit üretmesinden kaynaklı olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Hassan ve Frank (2001) peynir üretiminde kullanılan termodürik bakterilerin, peyniraltı suyu peynirlerinde de var olarak pH düşüşüne yol açabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte, lor peynirinin raf ömrünü kısıtlayan en önemli faktör, esasen proteolitik ve lipolitik aktivitelerin bir sonucu olarak meydana gelen acımsı tat ve kötü kokudur. Bu bağlamda, depolama süresi boyunca daha yüksek pH ve daha düşük toplam asitlik değerleri nedeniyle, TG enzimi ilavesinin kontrol grubuna kıyasla örneklerde asitlik gelişimini kontrol altına aldığı söylenebilir (Çizelge 4.1). TG enzimi ilave edilen örneklerde depolama süresi boyunca kontrol grubuna kıyasla belirlenen daha yüksek pH ve daha düşük laktik asit değerleri, tekstür profil ve reoloji analiz sonuçlarında görülen gelişmeler de dikkate alınarak, enzim indüklü

çapraz bağlanma sonucu matriks yapısının daha sıkılaşması nedeniyle proteolitik ve lipolitik enzimlerin ilgili substratlara erişebilirliğini kısıtlamasından kaynaklandığı öne sürülebilir.

4.2. Renk

Lor peyniri, karakteristik olarak kremi beyaz bir renkte olduğundan dolayı renk değerlerindeki sapmalar tüketici kabul edilebilirliği açısından son derece önem taşımaktadır. Lor peynirinin rengi, olgunlaşma durumu, üretim yöntemi, hammadde, kimyasal bileşim ve ambalajlama ve depolama teknikleri gibi pek çok faktörden etkilenmektedir. Lor peyniri örneklerine ait CIELab değerleri ve depolamanın 1. günündeki renk parametreleri baz alınarak hesaplanan toplam renk farkı değerleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.6-4.8’de gösterilmiştir.

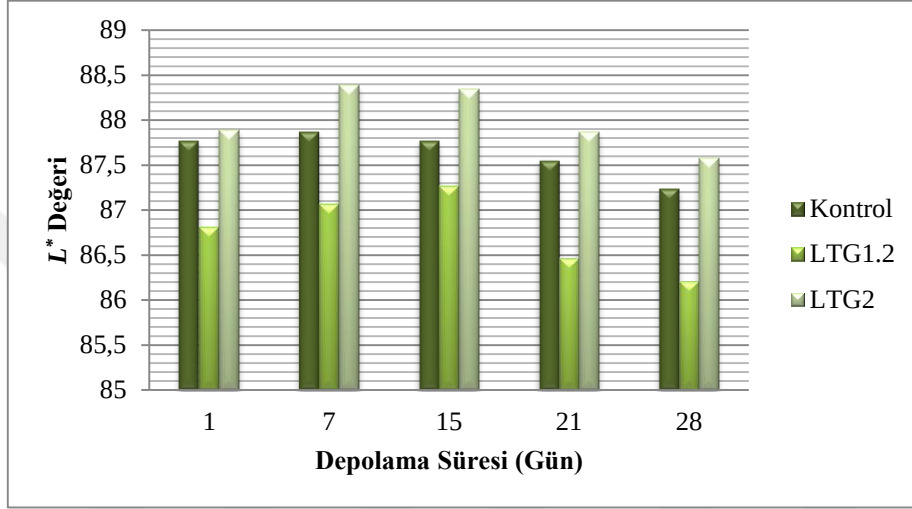
Çizelge 4.2. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolama süresi boyunca elde edilen CIELab parametreleri

Numune	L^*	a^*	b^*	ΔE
1.Gün				
Kontrol	87,77±0,48 ^{aA}	-1,95±0,04 ^{aA}	7,95±0,04 ^{bA}	-
LTG1.2	87,81±0,33 ^{aA}	-1,08±0,09 ^{bA}	10,53±0,31 ^{aA}	
LTG2	87,89±0,00 ^{aB}	-1,92±0,00 ^{aA}	8,21±0,00 ^{bA}	
7.Gün				
Kontrol	87,87±0,04 ^{bA}	-1,89±0,09 ^{bA}	8,5±0,11 ^{bA}	0,561
LTG1.2	87,06±0,04 ^{cA}	-1,09±0,02 ^{aA}	10,09±0,15 ^{aA}	0,677
LTG2	88,39±0,02 ^{aA}	-1,93±0,03 ^{bA}	8,28±0,01 ^{bA}	0,515
15.Gün				
Kontrol	87,77±0,24 ^{bA}	-1,96±0,03 ^{bA}	8,45±0,13 ^{bA}	0,500
LTG1.2	87,27±0,10 ^{bA}	-0,97±0,01 ^{aA}	10,39±0,07 ^{aA}	0,486
LTG2	88,34±0,23 ^{aA}	-1,99±0,03 ^{bA}	8,02±0,08 ^{bA}	0,755
21.Gün				
Kontrol	87,55±0,05 ^{bA}	-1,99±0,07 ^{bA}	8,08±0,06 ^{cA}	0,296
LTG1.2	86,47±0,15 ^{cA}	-0,90±0,02 ^{aA}	11,04±0,09 ^{aA}	0,628
LTG2	87,87±0,04 ^{aB}	-1,79±0,04 ^{bA}	8,68±0,08 ^{bA}	0,487
28.Gün				
Kontrol	87,24±0,07 ^{bA}	-1,99±0,08 ^{bA}	8,85±0,37 ^{bA}	0,541
LTG1.2	86,21±0,03 ^{cA}	-1,08±0,19 ^{aA}	10,33±0,19 ^{aA}	0,633
LTG2	87,57±0,08 ^{aB}	-2,03±0,05 ^{bA}	8,35±0,09 ^{bA}	0,971

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P < 0.05$). Aynı sütündaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P > 0.05$).

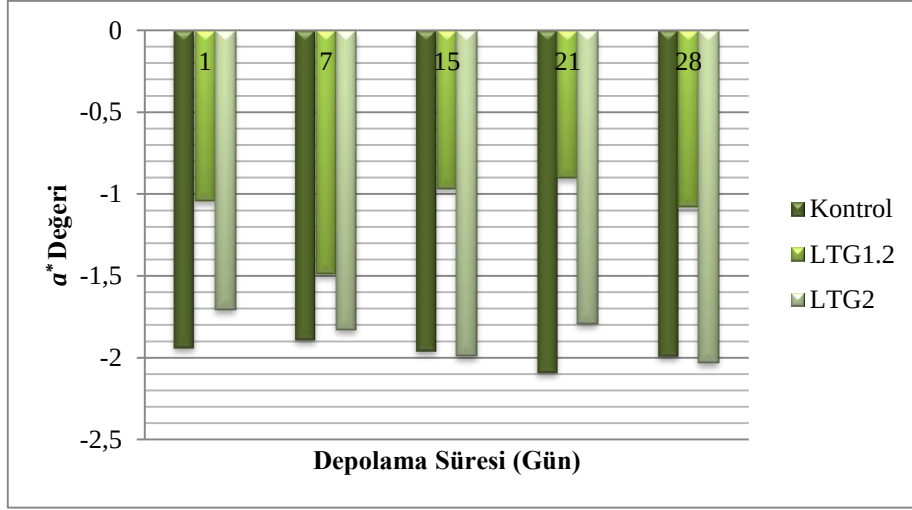
Çizelge 4.2’den da görülebildiği gibi, depolama süresi boyunca örneklerin L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 86,21 ve 88,39, -0,90 ve -2,09, 7,35 ve 11,04 aralığında değişim göstermiştir. Elde edilen renk parametrelerine göre, lor peynirlerinin yeşil (negatif a^* değeri) ve hafif sarımtırak (pozitif b^* değeri) tonlarda kremi beyaz (yüksek L^*) bir görünüme sahip olduğu belirtilebilir. Bununla birlikte, enzim ilavesinin depolamanın 1. gününde örneklerin L^* değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı söylenebilir ($P > 0.05$). Depolama süresi boyunca en yüksek L^* değerleri LTG2 grubunda belirlenirken ($P < 0.05$), en düşük değerler ise

LTG1.2 grubunda belirlenmiştir ($P<0.05$). Ek olarak, depolama süresi boyunca örneklerin L^* değerlerinde önemli bir değişiklik tespit edilmediği belirtilebilir (Şekil 4.6) ($P>0.05$). Lor peynirinin yüksek L^* değerleri, protein matrisi ile ilişkilendirilebilir çünkü protein parçacıkları görünür spektrumda ışığı saçarak beyazlatma etkisine sebep olmaktadır (Sameer, Ganguly, Kheta ve Sabikhi, 2020). Bu bağlamda, LTG1.2 grubunun L^* değerinde meydana gelen azalma, enzimin proteinleri çapraz bağlayarak beyazlatma etkisini zayıflatmasından kaynaklanabilir.



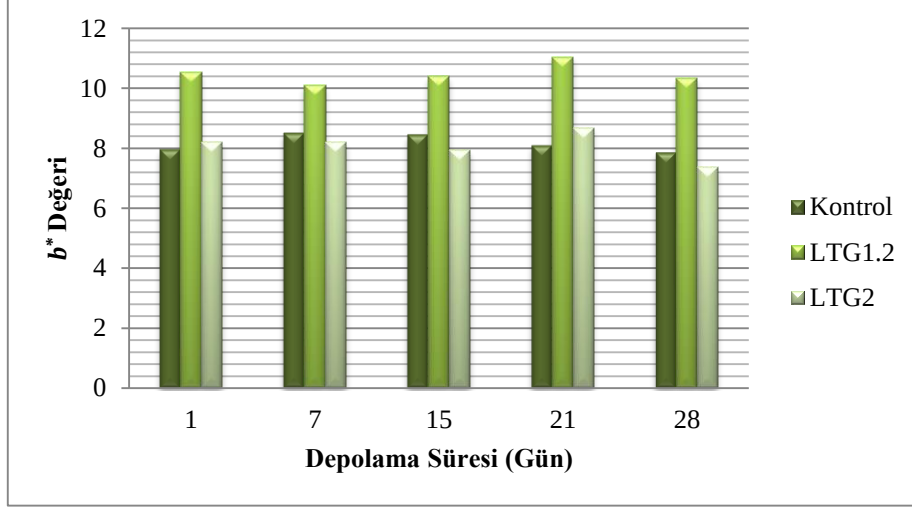
Şekil 4.6. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca L^* değerlerinde meydana gelen değişiklikler

Lor peyniri örneklerinin a^* değerleri incelendiğinde, kontrol ve LTG2 grupları arasında istatistiksel bir fark olmasa da ($P>0.05$), LTG1.2 grubunun diğer iki örnek grubundan önemli ölçüde farklı olduğu gözlemlenmiştir ($P<0.05$). Bununla birlikte, depolama süresi boyunca örnek grubundan bağımsız olarak a^* değerlerinde istatistiksel açıdan önemli bir fark oluşmamıştır (Şekil 4.7) ($P>0.05$). Lor peyniri örneklerinin negatif a^* değerleri, muhtemelen PAS içerisinde bulunan riboflavinin yeşil renk vermesinden kaynaklanmaktadır (Mestdagh, Kerkaert, Cucu ve De Meulenaer, 2011).



Şekil 4.7. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca a^* değerlerinde meydana gelen değişiklikler

Lor peynirinin hafif sarımtırak rengi, üretim sırasında uygulanan yüksek sıcaklık nedeniyle meydana gelen Maillard reaksiyonu sonucu oluşan sarı renkli ara ürünlerden kaynaklanmaktadır (Dattatreya ve Rankin, 2006). Örneklerin b^* değerleri incelendiğinde, özellikle düşük miktarda TG enzimi ilavesinin diğer iki gruba kıyasla b^* değerini önemli ölçüde arttırdığı söylenebilir ($P < 0.05$). Bununla birlikte, depolama süresi boyunca örneklerin b^* değerlerinde kayda değer bir farklılık gözlemlenmemiştir (Şekil 4.8) ($P > 0.05$). Ancak, enzim, üretim esnasında uygulanan yüksek sıcaklar nedeniyle inhibe olduğundan, LTG1.2 grubunda meydana gelen bu artışın, bu örnek grubunun üretimi sırasında Maillard reaksiyonu sonucu daha fazla sarı renkli ara ürünlerin oluşumundan kaynaklandığı öne sürülebilir. Ayrıca, LTG1.2 grubunun daha düşük nem içeriği (Çizelge 4.1), ışık saçılımını etkileyeceğinden dolayı L^* ve b^* değerlerindeki farklılıklara yol açmış olabilir (Ortiz Araque ve diğerleri, 2017).



Şekil 4.8. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca b^* değerlerinde meydana gelen değişiklikler

Toplam renk farkı (ΔE), örnekler arasındaki farkı yansıtmak için kullanışlı bir parametre olup, 1,5 ile 3 aralığındaki değerler çıplak gözle zar zor görülebilir farkları ifade ederken, 3'ün üzerindeki değerler çıplak gözle görülebilir farkları belirtmektedir (Mutlu, Kopuk ve Palabiyik, 2023). Çizelge 4.2'den de görülebileceği gibi, örneklerin ΔE değerleri depolama süresine bağlı olarak 0,296 ile 0,971 aralığında değişiklik göstermiştir. Buna göre, CIE Lab parametreleri arasında istatistiki açıdan kayda değer farklılıklar meydana gelmiş olsa da bu farklılıkların insan gözüne yansımadağı vurgulanabilir.

Ayrıca, bu çalışmada elde edilen renk değerlerinin, literatürde lor ve lor benzeri peynirler için belirtilen değerler ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir. Örnek olarak, Ortiz Araque ve diğerleri (2017) tam yağlı inek sütünden üretilen ricotta peynirlerinin L^* , a^* ve b^* değerlerinin sırasıyla 89,9-94,0, -2,9 ile -3,8 ve 14,4-17,8 aralığında değiştiğini, ancak 10 günlük depolama süresi boyunca önemli bir fark oluşmadığını bildirmiştir. Sameer ve diğerleri (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise ricotta peynirleri için bu değerler sırasıyla 81,34-81,48, -1,70 ile -1,72 ve 9,53-9,55 aralığında değiştiği belirtilmiştir. Farklı bir çalışmada, fermente süt ilaveli lor peyniri örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 83,76-85,07, -1,42 ile 1,99 ve 9,50-10,72 aralığında değiştiği ve depolama süresince istatistiksel açıdan kayda değer bir değişiklik meydana gelmediği vurgulanmıştır (Uysal, 2022).

4.3. Tekstür Profil Analizi

Lor peyniri örneklerinin tekstürel (sertlik, yapışkanlık, elastikiyet, koheziflik, çiğnenebilirlik ve esneklik) değerleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.9-4.14'te verilmiştir. Genel olarak, TG enzimi

ilavesinin, esneklik parametresi hariç lor peynirinin tüm tekstürel parametrelerinde konsantrasyona bağlı önemli farklılıklara yol açtığı tespit edilmiştir ($P<0.05$).

Çizelge 4.3. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen tekstür profil analizi sonuçları

Numune	Sertlik (g)	Yapışkanlık (g.sec)	Elastikiyet (mm)	Koheziflik	Çıgnenebilirlik (g.mm)	Esneklik
1. Gün						
Kontrol	345,067±16,970 ^{cC}	-178,461±11,313 ^{cD}	0,145±0,004 ^{bA}	0,058±0,002 ^{bA}	1,989±0,079 ^{bA}	0,004±0,000 ^a _A
LTG1.2	930,886±39,597 ^{aCD}	-677,703±14,142 ^{aC}	0,203±0,003 ^{aA}	0,100±0,008 ^{aA}	5,793±1,902 ^{aB}	0,004±0,000 ^a _A
LTG2	634,501±48,745 ^{bBC}	-406,652±7,071 ^{bB}	0,187±0,003 ^{bA}	0,084±0,008 ^{ab} _A	3,528±0,500 ^{aB}	0,004±0,000 ^a _A
7. Gün						
Kontrol	543,670±25,816 ^{bB}	-379,213±22,864 ^{bC}	0,133±0,005 ^{bAB}	0,051±0,002 ^{bA}	3,155±0,712 ^{aA}	0,002±0,000 ^a _A
LTG1.2	963,596±76,096 ^{aBC}	-771,386±10,873 ^{aB}	0,156±0,003 ^{aB}	0,078±0,002 ^{aA}	8,526±1,414 ^{aAB}	0,003±0,000 ^a _A
LTG2	691,888±40,305 ^{bB}	-485,015±24,604 ^{bB}	0,143±0,004 ^{abB}	0,063±0,004 ^{bA} _B	6,531±0,046 ^{abA}	0,002±0,000 ^a _A
15. Gün						
Kontrol	742,812±17,901 ^{bA}	-544,256±8,211 ^{bA}	0,118±0,003 ^{abC}	0,050±0,002 ^{bA}	4,299±0,022 ^{bA}	0,003±0,000 ^a _A
LTG1.2	1140,516±129,335 ^{aA} _B	-825,594±9,010 ^{aAB}	0,133±0,005 ^{abC}	0,066±0,002 ^{aA}	9,627±1,810 ^{aA}	0,003±0,000 ^a _A
LTG2	882,022±20,224 ^{bA}	-663,773±27,502 ^{bA}	0,124±0,005 ^{abC}	0,057±0,002 ^{ab} _B	12,025±3,051 ^{abA}	0,003±0,000 ^a _A
21. Gün						
Kontrol	666,638±112,413 ^{aB}	-453,761±50,352 ^{cB}	0,105±0,004 ^{aCD}	0,046±0,003 ^{bA}	3,923±0,009 ^{bA}	0,003±0,000 ^a _A
LTG1.2	1292,420±24,324 ^{aA}	-871,225±10,873 ^{aA}	0,120±0,005 ^{aC}	0,061±0,004 ^{aA}	14,289±1,884 ^{aA}	0,003±0,000 ^a _A
LTG2	712,273±78,522 ^{bAB}	-636,869±34,167 ^{bA}	0,113±0,001 ^{aCD}	0,053±0,001 ^{ab} _A	4,661±0,527 ^{aB}	0,003±0,000 ^a _A
28. Gün						
Kontrol	310,398±29,460 ^{bC}	-372,587±4,099 ^{cC}	0,093±0,005 ^{aD}	0,045±0,003 ^{bA}	1,885±0,144 ^{aA}	0,003±0,000 ^a _A
LTG1.2	759,641±71,702 ^{aD}	-552,147±10,914 ^{aD}	0,108±0,006 ^{aC}	0,055±0,000 ^{aB}	4,060±0,817 ^{aB}	0,003±0,000 ^a _A
LTG2	532,381±44,831 ^{bC}	-410,117±10,708 ^{bB}	0,097±0,001 ^{aD}	0,049±0,001 ^{bB}	2,292±0,099 ^{abB}	0,003±0,000 ^a _A

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P<0.05$). Aynı sütündaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P>0.05$).

4.3.1. Sertlik

Dişler arasında yerleştirilen peynirin ısırılması için gerekli kuvvet olarak tanımlanan ve ilk sıkıştırma esnasında elde edilen maksimum kuvvet olan sertlik (Gunasekaran ve Mehmet, 2003), depolama süresi boyunca 310,398-1292,420 g aralığında değişmiştir (Çizelge 4.4).

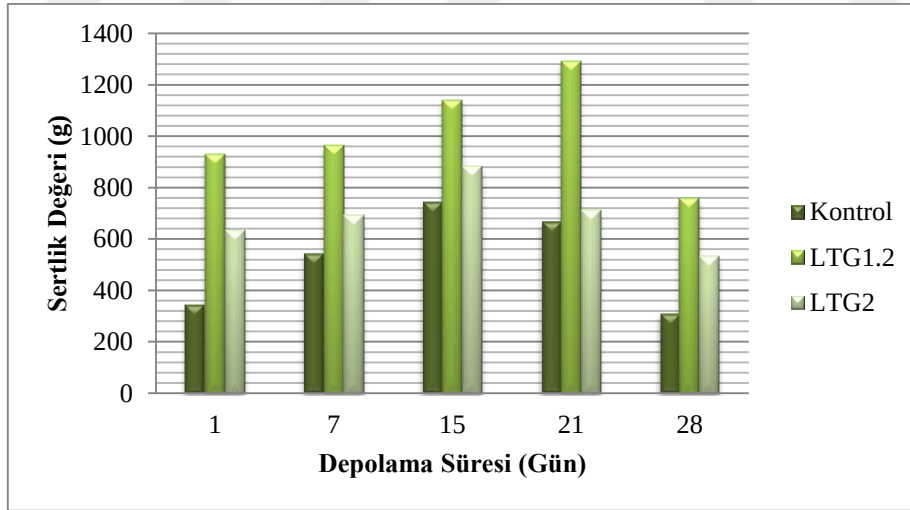
Çizelge 4.4. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen sertlik değerleri

Numune	Depolama Günleri				
	1	7	15	21	28
Kontrol	345,067±16,970 ^{cC}	543,670±25,816 ^{bB}	742,812±17,901 ^{bA}	666,638±112,413 ^{cAB}	310,398±29,460 ^{bC}
LTG1.2	930,886±39,597 ^{aCD}	963,596±76,096 ^{aBC}	1140,516±129,335 ^{aAB}	1292,420±24,324 ^{aA}	759,641±71,702 ^{aD}
LTG2	634,501±48,745 ^{bBC}	691,888±40,305 ^{bB}	882,022±20,224 ^{bA}	712,273±78,522 ^{bAB}	532,381±44,831 ^{bC}

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P<0.05$). Aynı satırdaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P>0.05$).

Depolamanın 1. gününde, düşük miktarda enzim ilavesi ile kontrol grubuna kıyasla sertlik değeri artarken, enzim miktarının artırılması sonucu LTG1.2 grubuna kıyasla sertlik değeri azalmıştır ($P<0.05$). Bununla birlikte, depolama süresi boyunca en yüksek sertlik değerleri LTG1.2 grubunda, en düşük değerler ise kontrol grubunda belirlenmiştir. LTG2 grubu nispeten kontrol grubuna benzer sertlik değerleri sergilese de LTG1.2 grubu için her iki örnek grubundan da önemli ölçüde daha yüksek değerler tespit edilmiştir ($P<0.05$). Enzim ilavesi sonucu artan sertlik değerleri, enzimin peynir matriksindeki proteinleri çapraz bağlayarak izopeptit bağları oluşturmamasından kaynaklanmaktadır (Torabi, Jooyandeh ve Noshad, 2021). Bunun sonucunda, peynir tekstürü daha sıkı ve sert hale gelmektedir (Özer, Hayaloglu, Yaman, Gürsoy ve Şener, 2013). Imm ve Lian (2000), TG enzimi ilavesinin ısı-indüklü süt jellerinin sertliğini arttırdığını bildirmiştir. Lor peynirinin tekstürü, yağ, tuz ve toplam kurumadde içeriği, pH ve olgunlaşma süresi başta olmak üzere mikroyapı ve kimyasal bileşime bağlıdır (Wendin, Langton, Caous ve Hall, 2000; Bowland ve Foegeding, 2001). Özellikle, üretim sırasında yapıya katılan tuz, tekstür geliştirici olarak rol oynamaktadır (Tunick ve diğerleri, 2012). Esasen, lor peyniri matriksinde mevcut olan kazein ve PAS proteinlerinin bağlarının sayısı ve gücünün yanı sıra jel ağındaki yapıları ve uzamsal dağılımları, peynirin sertliğini belirlemektedir (Madadlou, Khosroshahi, Musavi ve Djomeh, 2006). Buna uygun olarak, TG enzimi ilavesini takiben tam yağlı beyaz peynirlerin sertliğinin önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir (Pierro ve diğerleri, 2010). Ancak, araştırmacılar, enzim ilavesinin protein miktarını arttırmadığını ve dolayısıyla artan sertlik değerlerinin enzim ilavesinin bir etkisi olarak proteinlerin arasındaki bağlantı noktalarını arttırmasından kaynaklandığını öne sürmüştür. Bu bağlamda, bu çalışmada enzim ilavesini takiben jel matriksinin deformasyon kuvvetlerine karşı gösterdiği dirençteki artış, proteinler arasında daha fazla çapraz bağlanma ve temas noktası oluşumundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, sertlik değerlerindeki artış, Pierro ve diğerleri (2010) tarafından belirtilenin aksine, Çizelge 4.1'den de görülebileceği gibi, LTG1.2 grubunda belirlenen daha yüksek protein miktarına atfedilebilir. Buna uygun olarak, peynirlerde artan kurumadde ve protein içeriğinin sertlik değerini arttırdığı bildirilmiştir (Farrag ve diğerleri, 2020). Son olarak, nem miktarının tekstürel parametreler üzerindeki etkisi dikkate alınarak, LTG1.2 grubunda enzim ilavesini takiben azalan nem miktarının da sertlik değerindeki artışa yol açabileceği belirtilmelidir. Akal (2023), 2 U/g protein enzim ilavesi sonrası lor peyniri örneklerinin sertlik değerinin arttığını, enzim miktarının 5 U/g protein'e yükseltildiği takdirde sertliğin azaldığını bildirmiştir. Araştırmacı, düşük miktarda enzim ilavesi sonrası sertlik değerindeki artışın proteinlerin çapraz bağlanmasından, ancak artan enzim miktarıyla azalan sertlik değerinin

protein ağının bozulmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Artan enzim miktarına bağlı olarak azalan sertlik değerleri, TG enziminin mozzarella peyniri analogları üzerindeki etkisini inceleyen Hebishy ve diğerleri (2022) tarafından da desteklenmektedir. Cadavid ve Bohigas (2019) TG enzimi kullanarak üretilen peynir analoglarının tekstürel özelliklerini incelemiş ve yüksek miktara kıyasla düşük miktarda enzim ilavesi sonucu daha yüksek sertlik değerleri elde edildiğini bildirmiştir. Bu sonuçlarla uyumlu olarak, bazı çalışmalarda, LTG2 grubunda görüldüğü gibi, yüksek miktarda enzim kullanılması sonucu meydana gelen aşırı çapraz bağlanma aktivitesinin gözenekliliği arttırdığı ve dolayısıyla protein jel ağını zayıflattığı öne sürülmüştür (Hu ve diğerleri, 2013; García-Gómez ve diğerleri, 2019; Cadavid ve diğerleri, 2020). Hebishy ve diğerleri (2022), artan enzim miktarı nedeniyle azalan sertlik değerlerinin, polimerik matriksteki su moleküllerinin sayısının artmasıyla ilişkili olabileceğini, bunun da peynir matriksi içerisindeki su-protein ilişkisini arttırarak protein ağını kayganlaştıran yapısal esneklik sağlayacağını öne sürmüştür. Buna göre, LTG1.2 grubuna kıyasla daha yüksek miktarda enzim içermesine rağmen LTG2 grubunda tespit edilen daha düşük sertlik değerleri, belirli bir optimal konsantrasyonun üzerinde enzim miktarının iyi yapılanmış jel yapısının bozulmasına yol açmasına bağlanabilir (Imm ve Lian, 2000; Cadavid ve diğerleri, 2020; Akal, 2023).



Şekil 4.9. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca sertlik değerlerinde meydana gelen değişiklik

Bunlara ek olarak, kontrol ve LTG2 gruplarının sertlik değerleri depolamanın 15. gününe kadar kayda değer ve sürekli bir şekilde artış gösterirken ($P < 0.05$), depolama süresinin 15 günden 21 güne uzamasıyla bu iki örnek grubu için sertlik değerlerinde düşüş gözlemlenmiş olup 28. günde önemli ölçüde daha düşük sertlik değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.9) ($P < 0.05$).

Bunun aksine, LTG1.2 grubu için 21 günlük depolama sürecinde sertlik değerleri sürekli artış gösterirken, 28. günde kayda değer bir azalma görülmüştür ($P<0.05$). Benzer şekilde, Şeker (2024) lor peyniri örneklerinin sertlik değerlerinin 30 günlük depolama süresi boyunca istatistiksel açıdan önemli artış gösterdiğini bildirmiştir ($P<0.05$). Ayrıca, araştırmacı, vakumsuz paketlenmiş lor peyniri örneklerinin depolama boyunca vakumlu muadillerine kıyasla daha yüksek sertlik değeri sergilediğini ve bu farklılığı, vakumsuz ambalajlanmış örneklerin kurumadde değerlerine meydana gelen ciddi değişikliklere bağlamıştır. Bununla uyumlu olarak, Uysal (2022) tarafından fermente süt ilaveli PAS'tan üretilen lor peyniri örneklerinde 21 günlük depolama süresi boyunca sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Kontrol ve yüksek miktarda enzim ilaveli gruplarda 15. günden sonra bir yumuşama meydana gelirken, düşük miktarda enzim ilavesinin diğer iki örnek grubuna kıyasla lor peynirlerinin yumuşamasını 7 gün geciktirdiği söylenebilir. Proteoliz, peynirlerin sertlik değerinde değişikliklere yol açan önemli bir faktördür (Pereira, Diaz ve Cobos, 2002). Bu bağlamda, kontrol ve LTG2 grubuna kıyasla LTG1.2 grubunda depolama süresince gözlemlenen daha yüksek sertlik değerleri, daha düşük proteoliz derecesi ile ilişkilendirilebilir. Proteazlar tarafından kazein ve PAS proteinlerinin enzimatik hidrolizi, suda çözünür birtakım peptitlerin oluşmasına ve dolayısıyla peynir sertliğinden sorumlu protein matriksine katkısının azalmasına yol açmaktadır (Elgamal, Nasser, Hassabo ve Basiony, 2023). Buna göre, sertlik değerleri baz alınarak, LTG1.2 grubuna kıyasla kontrol ve LTG2 gruplarında depolama süresince protein bağları proteazlar tarafından daha hızlı zayıflatıldığı söylenebilir. Bu sonuçlarla uyumlu olarak, Pierro ve diğerleri (2010), TG enzimi ilave edilen tam yağlı beyaz peynirin depolamanın 21. gününe kadar sertlik değerini arttırdığını, depolama süresinin 35 güne uzatılması durumunda ise kontrol grubuna kıyasla proteolizi yavaşlatarak daha yüksek sertlik değerleri gösterdiğini vurgulamıştır. Bu nedenle, TG enzimi indüklü oluşan daha sıkı ve iyi yapılanmış jel yapısı sayesinde proteazların substratlarına ulaşmasının yavaşlatılması sonucu LTG1.2 grubunun depolama süresince sertliğini daha iyi muhafaza ettiği söylenebilir.

4.3.2. Yapışkanlık

Peynir yapışkanlığı (g.sec^{-1}), peynir numunesinin bir yüzeyden alınırken uygulanması gereken işi ifade etmekte olup, tekstür analizöründe numune ile prob arasındaki yapışkan kuvvetlerin üstesinden gelmek için gerekli iştir. Yapışkanlık, ilk sıkıştırma esnasında elde edilen negatif kuvvet alanıdır ve negatif yönde arttıkça numunenin daha yapışkan hale geldiği söylenebilir (Shamsia ve El-Ghannam, 2017). TG enzimi ihtiva eden ve etmeyen lor peyniri örnekleri için 28 günlük depolama süresi boyunca tespit edilen yapışkanlık değerleri Çizelge 4.5 ve Şekil

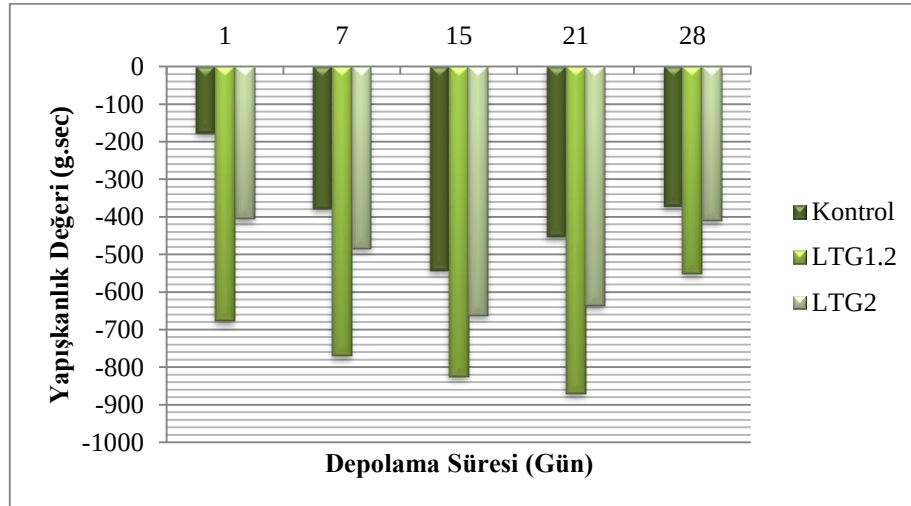
4.10'da verilmiştir. Buna göre, örneklerin yapışkanlık değerleri -178,461 ile -871,225 aralığında değişiklik göstermiştir.

Çizelge 4.5. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen yapışkanlık değerleri

Numune	Depolama Günleri				
	1	7	15	21	28
Kontrol	-178,461±11,313 ^{cD}	-379,213±22,864 ^{bc}	-544,256±8,211 ^{ba}	-453,761±50,352 ^{eb}	-372,587±4,099 ^{ec}
LTG1.2	-677,703±14,142 ^{ac}	-771,386±10,873 ^{ab}	-825,594±9,010 ^{aAB}	-871,225±10,873 ^{aA}	-552,147±10,914 ^{aD}
LTG2	-406,652±7,071 ^{bb}	-485,015±24,604 ^{bb}	-663,773±27,502 ^{ba}	-636,869±34,167 ^{ba}	-410,117±10,708 ^{bb}

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P<0.05$). Aynı satırdaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P>0.05$).

Enzim ilavesinin konsantrasyona bağlı olarak örneklerin yapışkanlık değeri üzerinde önemli bir artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir ($P<0.05$). Literatürde, TG enzimi ilavesi ile farklı peynir örneklerinin yapışkanlık değerinin arttığı bildirilmiştir. Örnek olarak, García-Gómez ve diğerleri (2019), TG enziminin beyaz taze peynirin tekstürel özellikleri üzerindeki etkisini incelemiş ve enzim ilavesi ile yapışkanlık değerinin -49,96'dan -167,93'e arttığını vurgulamıştır. TG enziminin yarı yumuşak taze peynirin tekstürü üzerindeki etkisini inceleyen Monsalve-Atencio ve diğerleri (2022), enzim ilavesi ile yapışkanlık değerinin önemli ölçüde arttığını belirtmiştir. Tekstür geliştirici olarak TG enzimi ilavesiyle üretilen mozzarella peynirinin özelliklerini inceleyen Li ve diğerleri (2019), kontrol örneğine kıyasla enzim ihtiva eden örnek için daha yüksek sertlik ve yapışkanlık değerleri tespit etmiştir.



Şekil 4.10. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca yapışkanlık değerlerinde meydana gelen değişiklik

Dahası, lor peyniri örneklerinin yapışkanlık değerlerinde depolamaya bağlı olarak önemli farklılıklar meydana geldiği tespit edilmiştir ($P<0.05$). Bununla birlikte, depolama süresinden

bağımsız olarak en yüksek yapışkanlık değerleri LTG1.2 grubunda, en düşük değerler ise kontrol grubunda belirlenmiştir. Ayrıca, sertlik değerleri ile paralel olarak, kontrol ve LTG2 gruplarının yapışkanlık değerleri 15 günlük depolama boyunca artış gösterirken, depolama süresinin uzamasıyla önemli ölçüde azalmıştır ($P<0.05$). Bunun aksine, LTG1.2 grubu için yapışkanlık değeri depolamanın 21. gününe kadar kayda değer bir şekilde artmış, sonrasında azalmıştır ($P<0.05$). Tekstürel yapışkanlık parametresinin, sertliğin bir türevi olduğu ve sertlik ile paralel olarak değiştiği bilinmektedir. Bu bağlamda, depolama süresi boyunca meydana gelen farklılıklar, sertlik değerindeki değişiklikler ile ilişkilendirilebilir. Benzer şekilde, Akal (2023), TG enzimi ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresince yapışkanlık değerlerinin dalgalandığını bildirmiştir. Araştırmacı, depolamanın 1. gününde enzim ihtiva eden örneklerin daha yüksek yapışkanlık değerleri sergilediğini, 10 günlük depolama süresince yapışkanlığın önemli ölçüde azaldığını, ancak depolamanın 20 güne uzatılmasıyla değerlerin kayda değer şekilde arttığını ($P<0.05$) ve bu değişikliklerin sertlik ile paralel olduğunu vurgulamıştır. Bununla uyumlu olarak, Şeker (2024), 30 günlük depolama boyunca lor peyniri örneklerinin sertlik değeri ile paralel olarak yapışkanlık değerinin de arttığını bildirmiştir.

4.3.3. Elastikiyet

Elastikiyet (mm), peynir numunesinin dil ve damak arasında kısmi sıkıştırılmasından sonra orijinal şekline geri dönme derecesi olarak tanımlanmakta olup, tekstür analizinde numunenin geri kazandığı yüksekliktir (Shamsia ve El-Ghannam, 2017). Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi, lor peyniri örneklerinin depolama süreci boyunca elastikiyet değerleri 0,093-0,203 mm aralığında değişmiştir.

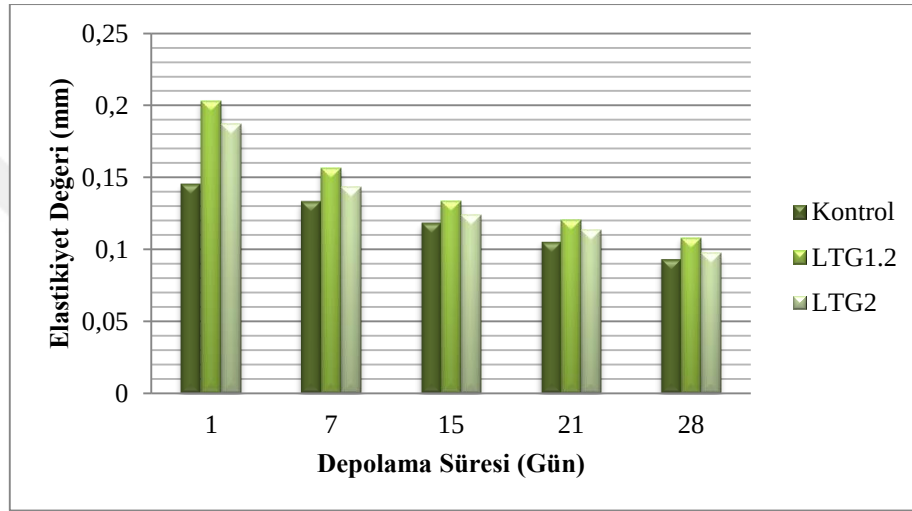
Çizelge 4.6. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen elastikiyet değerleri

Numune	Depolama Günleri				
	1	7	15	21	28
Kontrol	0,145±0,004 ^{bA}	0,133±0,005 ^{bAB}	0,118±0,003 ^{aBC}	0,105±0,004 ^{aCD}	0,093±0,005 ^{aD}
LTG1.2	0,203±0,003 ^{aA}	0,156±0,003 ^{aB}	0,133±0,005 ^{aBC}	0,120±0,005 ^{aC}	0,108±0,006 ^{aC}
LTG2	0,187±0,003 ^{bA}	0,143±0,004 ^{abB}	0,124±0,005 ^{aBC}	0,113±0,001 ^{aCD}	0,097±0,001 ^{aD}

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P<0.05$). Aynı satırdaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P>0.05$).

Enzim ilavesinin elastikiyet üzerindeki etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuş ($P<0.05$) ve özellikle en yüksek değer (0,203 mm) LTG1.2 grubunda belirlenmiştir. Bununla birlikte, sertlik ve yapışkanlık ile benzer olarak, depolama süresi boyunca en yüksek değerler LTG1.2 grubunda, en düşük değerler ise kontrol grubunda tespit edilmiştir. Enzim ilavesiyle artan

esneklik değerlerinin, proteinlerin çapraz bağlanması sonucunda daha esnek bir jel matriksi oluşum ile ilişkilendirilebilir. Ancak, yine sertlik değerinde gözlemlendiği gibi, enzim miktarının artmasıyla, LTG2 grubunda muhtemelen jel yapının bozulmasından kaynaklı olarak, elastikiyet değeri LTG1.2 grubuna kıyasla azalmıştır. Ayrıca, enzim miktarından bağımsız olarak, depolama süresi boyunca elastikiyet değerleri sürekli bir düşüş göstermiştir. Elastikiyet değerlerindeki bu düşüş, depolamanın 1. gününe kıyasla 21. gününe kadar istatistiksel açıdan önemli bulunsa da ($P<0.05$), depolamanın 21 günden 28 güne uzatılmasıyla önemsiz hale gelmiştir ($P>0.05$).



Şekil 4.11. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca elastikiyet değerlerinde meydana gelen değişiklik

Akal (2023), yüksek miktarda TG enzimi ihtiva eden lor peyniri örneğinin düşük miktarda enzim ihtiva eden örneğe göre daha yüksek elastikiyet değeri sergilediğini bildirmiş ama bu farklılığın istatistiksel açıdan önemli olmadığını belirtmiştir. Ek olarak, 20 günlük depolama süresi boyunca elastikiyet değerlerinin sürekli düşüş gösterdiği bildirilmiştir (Akal, 2023). Şeker (2024) farklı bitki ekstraktlarının lor peynirlerinin elastikiyet değerleri üzerindeki etkisinin önemli olduğunu belirtmiş ve depolama boyunca elastikiyet değerlerinin önemli ölçüde azaldığını bulmuştur ($P<0.05$). Ayrıca, araştırmacı, elastikiyet değerinin olgunlaşma oranı ile negatif bir korelasyon gösterdiğini ve olgunlaşma düzeyi düşük olan peynirlerin daha yüksek elastikiyet değerlerine sahip olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde, kurkumin ile zengileştirilen ricotta peynirlerinin özelliklerini inceleyen Elgamal ve diğerleri (2023), 28 günlük depolama süresi boyunca elastikiyet değerlerinin önemli ölçüde azaldığını bildirmiştir. Chevanan, Muthukumarappan, Upreti ve Metzger (2006) tarafından yapılan bir çalışmada ise proteoliz oranı daha düşük olan cheddar peynirlerinin daha yüksek elastikiyet değerleri

sergilediği bulunmuştur. Buna göre, enstrümental sertlik değerlerindeki değişiklikler de dikkate alınarak, özellikle düşük miktarda enzim ilavesi sonucu lor peynirlerinde depolama süresince meydana gelen proteolizin yavaşlatıldığı öne sürülebilir.

4.3.4. Koheziflik

Moleküller arası etkileşimlerin bir sonucu olan koheziflik (birimsiz), iç bağların sıklığını ve kuvvetini ifade eden bir tekstürel parametredir. Genel olarak, bir gıda matriksi çapraz bağlandığı takdirde moleküller arası etkileşim artacağından ve güçleneceğinden dolayı koheziflik değerinin artması beklenmektedir (Çelebi ve Şimşek, 2020). Lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca koheziflik değerleri 0,045-0,100 aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.7).

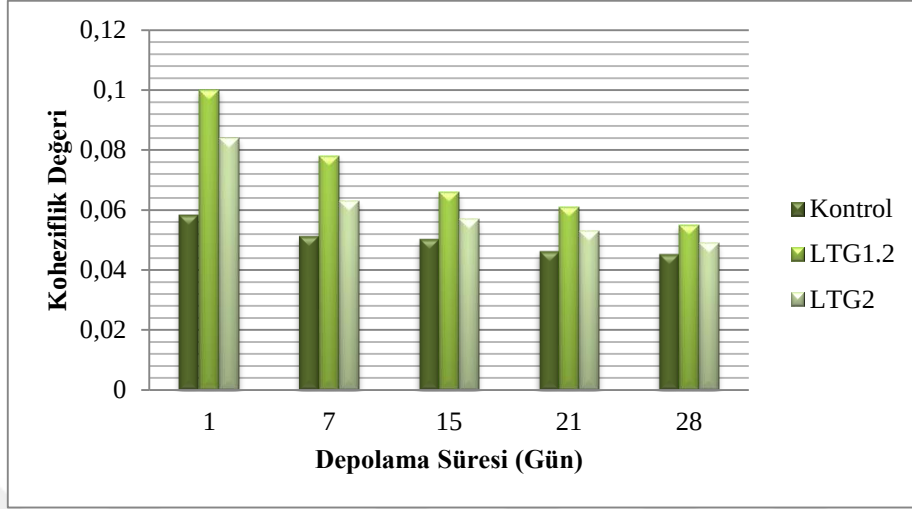
Çizelge 4.7. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen koheziflik değerleri

Numune	Depolama Günleri				
	1	7	15	21	28
Kontrol	0,058±0,002 ^{bA}	0,051±0,002 ^{bA}	0,050±0,002 ^{bA}	0,046±0,003 ^{bA}	0,045±0,003 ^{bA}
LTG1.2	0,100±0,008 ^{aA}	0,078±0,002 ^{aA}	0,066±0,002 ^{aA}	0,061±0,004 ^{aA}	0,055±0,000 ^{aB}
LTG2	0,084±0,008 ^{abA}	0,063±0,004 ^{abB}	0,057±0,002 ^{abB}	0,053±0,001 ^{abA}	0,049±0,001 ^{bB}

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P<0.05$). Aynı satırdaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P>0.05$).

Bununla birlikte, enzim ilavesinin peynir örneklerinin koheziflik değerleri üzerinde etkisi önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Depolama süresinden bağımsız olarak en yüksek değerler LTG1.2 grubunda, en düşük değerler ise kontrol grubunda tespit edilmiştir. Buna göre, enzim ilavesiyle örneklerin iç bağlarının kuvvetinin arttığı söylenebilir. Daha önce de bahsedildiği gibi, TG enziminin proteinleri çapraz bağlayarak izopeptit bağları oluşturma kabiliyeti bulunmaktadır. Bu bağlamda, daha fazla moleküller arası etkileşim nedeniyle koheziflik değerinin artması beklenmektedir. Yapılan bazı araştırmalarda, peynirlerin nem içeriği ile koheziflik değerleri arasında ilişki olduğu bildirilmiştir (Koca ve Metin, 2004; Çelebi ve Şimşek, 2020). Enzim ilaveli örneklerin kurumadde ve protein değerleri baz alındığında (Çizelge 4.1), örneklerin daha az nem ihtiva etmesinden dolayı oluşan matrikste suyun bağları zayıflatıcı etkisinin daha az olduğu ve bu nedenle, protein ağında daha fazla etkileşim noktası olması da koheziflik değerlerindeki artışın sebeplerinden birisi olabilir. Benzer şekilde, Li ve diğerleri (2019) ve Akal (2023) tarafından yapılan çalışmalarda, TG enzimi ilavesi sonrası sırasıyla mozzarella ve lor peynirlerinin koheziflik değerlerinin arttığı bildirilmiştir. Bu sonuçlarla uyumlu olarak, García-Gómez ve diğerleri (2019), beyaz taze peynir üretiminde

TG enzimi kullanılması sonucu koheziflik değerlerinin yaklaşık %11.11 arttığını vurgulamıştır.



Şekil 4.12. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca koheziflik değerlerinde meydana gelen değişiklik

Bununla birlikte, enzim ilavesinden bağımsız olarak, depolama süresi boyunca tüm örneklerin koheziflik değerlerinde azalma meydana gelmiş ve kontrol grubu hariç ($P>0.05$), enzim ilaveli gruplarda bu azalma önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Benzer çalışmalarda da depolama süresi boyunca koheziflik değerlerinin azaldığı bildirilmiştir. Şeker (2024) tarafından yapılan çalışmada, vakum ambalajlanan lor peyniri örnekleri vakumsuz muadillerine kıyasla daha yüksek koheziflik değerleri sergilemiş ve bu durum, kurumadde ve sertlik değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, depolama süresi boyunca koheziflik değerlerinde önemli bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiş ve proteolitik aktivite ile ilişkilendirilmiştir (Şeker, 2024). Elgamal ve diğerleri (2023) tarafından yapılan çalışmada, kurkumin ile zenginleştirilmiş ricotta peynirlerinin 15 günlük depolama süresi boyunca koheziflik değerinin arttığı, depolama süresinin uzatılması durumunda ise azaldığı vurgulanmıştır. Benzer şekilde, Akal (2023), TG enzimi ilaveli lor peynirlerinin 20 günlük depolama süresi boyunca koheziflik değerlerinde sürekli bir düşüş tespit etmiştir. Bu bağlamda, lor peyniri örneklerinde depolama süresi boyunca gözlemlenen düşüş, proteolitik aktivite sonucu moleküller arası bağların zayıflamasına bağlanabilir. Yine de, kontrol ve LTG2 grubuna kıyasla LTG1.2 grubunda tespit edilen daha yüksek koheziflik değerleri, proteolitik aktivitenin yavaşlatıldığına bir göstergesi olarak öne sürülebilir. Ayrıca, depolama süresi arttıkça azalan koheziflik değerleri pH'daki düşüşle de ilgili olabilir. Gül (2023) tarafından sürülebilir lor peyniri üretimine dair yapılan bir çalışmada, pH 6,7'den 5,2'ye doğru azalırken

koheziflik değerlerinde de önemli düşüş meydana geldiği bildirilmiş ve bu düşüşün, makromolekül zincirindeki bağların sayısı veya gücünde bir zayıflamadan kaynaklandığı vurgulanmıştır.

4.3.5. Çiğnenebilirlik ve Esneklik

Tekstür analizinde iki sıkıştırma için gerekli iş olarak tanımlanan çiğnenebilirlik, katı gıdaların yutmaya hazır hale gelene kadar çiğnenmesi için gerekli enerjidir (Shamsia ve El-Ghannam, 2017). Ayrıca, çiğnenebilirlik, ikincil tekstür parametrelerinden biri olarak kabul edilmekte ve sertlik, elastikiyet ve kohezifliğin bir ürünü olarak ortaya çıkmaktadır (Chevanan ve diğerleri, 2006). Sıkıştırma kuvveti ve mastikasyon için gerekli enerji ile ilişkili olan bu parametrelerin sıkı jel yapılarında artması beklenmektedir. Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi, lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca çiğnenebilirlik değerleri sırasıyla 1,885-14,289 aralığında değişim göstermiştir.

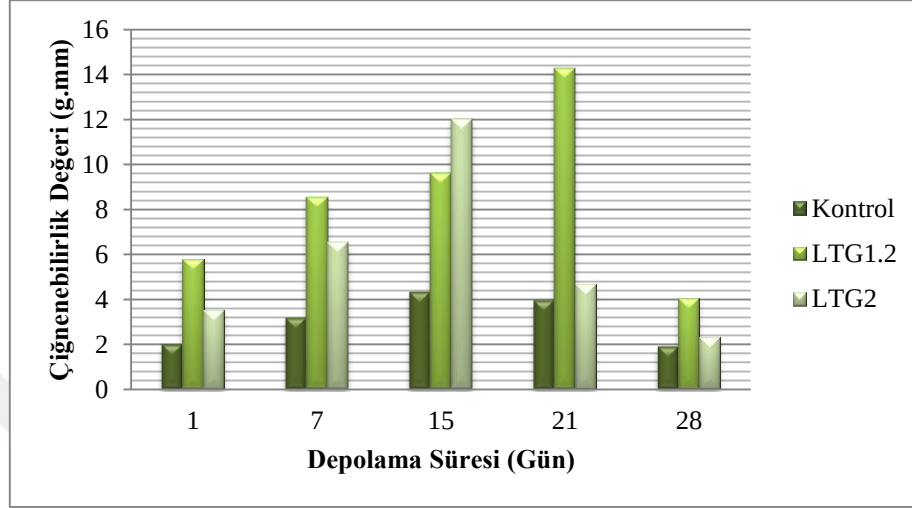
Çizelge 4.8. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tespit edilen çiğnenebilirlik ve esneklik değerleri

Tekstürel Parametre	Numune	Depolama Günleri				
		1	7	15	21	28
Çiğnenebilirlik (g.mm)	Kontrol	1,989±0,079 ^{ba}	3,155±0,712 ^{aA}	4,299±0,022 ^{ba}	3,923±0,009 ^{ba}	1,885±0,144 ^{aA}
	LTG1.2	5,793±1,902 ^{aB}	8,526±1,414 ^{aAB}	9,627±1,810 ^{aA}	14,289±1,884 ^{aA}	4,060±0,817 ^{aB}
	LTG2	3,528±0,500 ^{aB}	6,531±0,046 ^{aBA}	12,025±3,051 ^{abA}	4,661±0,527 ^{aB}	2,292±0,099 ^{abB}
Esneklik	Kontrol	0,004±0,000 ^{aA}	0,002±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}
	LTG1.2	0,004±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}
	LTG2	0,004±0,000 ^{aA}	0,002±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}	0,003±0,000 ^{aA}

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır (P<0.05). Aynı satırdaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır (P>0.05).

Enzim ilavesi ile lor peyniri örneklerinin çiğnenebilirlik değerleri kayda değer bir şekilde artmıştır (P<0.05). Ayrıca, depolamanın 15. günü hariç, en yüksek değerler LTG1.2 grubunda, en düşük değerler ise kontrol grubunda belirlenmiştir. Enzim ilavesi ile çiğnenebilirlik değerinde meydana gelen artış, sertlik değerindeki artış ile ilişkilendirilebilir. Bu bağlamda, enzim indüklü çapraz bağlanma sonucu oluşan daha sıkı jel yapısı nedeniyle örneği parçalamak için gerekli enerji miktarının arttığı söylenebilir. TG ihtiva eden Gouda peyniri (Domagała, Pluta-Kubica, Wieteska-Śliwa ve Duda, 2022), kaşar peyniri (Topcu, Bulat ve Ozer, 2020) ve mozzarella peyniri (Li ve diğerleri, 2019) için sertlik değerine paralel olarak çiğnenebilirlik değerlerinde benzer değişiklikler bildirilmiştir. Bu sonuçlarla uyumlu olarak, Akal (2023), TG enzimi ilavesiyle lor peynirinin çiğnenebilirlik parametresinin arttığını bildirmiştir. Ayrıca, araştırmacı, en yüksek sertlik değerini gösteren düşük miktarda enzim içeren örneğin aynı zamanda en yüksek çiğnenebilirlik değerine sahip olduğunu da vurgulamıştır. Bu bilgiler ışığında, lor peyniri sertliği ile çiğneme sırasında gerekli efor

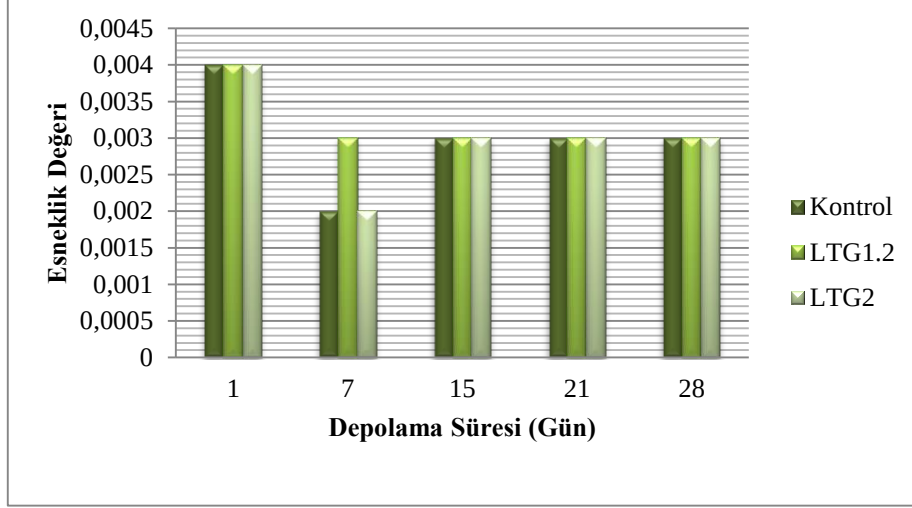
arasında direkt bir ilişki olduğu öne sürülebilir. Bu sonuçlar, yumuşak peynirlerde daha düşük çiğnenebilirlik değerleri tespit eden ve bu durumu, peynir tekstürü yumuşadığında çiğneme için gereken kuvvetin azalmasına bağlayan Kaminarides, Zagari ve Zoidou (2020) tarafından da desteklenmektedir.



Şekil 4.13. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca çiğnenebilirlik değerlerinde meydana gelen değişiklik

Bununla birlikte, sertlik değerleri ile uyumlu olarak, kontrol ve LTG2 gruplarının çiğnenebilirlik ve sakımsızlık değerleri 15 günlük depolama süresince önemli bir artış gösterirken ($P<0.05$), depolama süresinin artmasıyla kayda değer bir şekilde düşmüştür ($P>0.05$). Bunun aksine, LTG1.2 grubunda çiğnenebilirlik değerlerindeki artış 21. güne kadar devam etmiş, sonrasında azalmıştır ($P<0.05$). Benzer şekilde, Şeker (2024), lor peynirlerinin çiğnenebilirlik değerlerinin 30 günlük depolama süresince dramatik olarak arttığını ve bu artış eğiliminin sertlik değerlerine paralel olarak gerçekleştiğini bildirmiştir.

Esneklik, uygulanan kuvvet kaldırılmasını takiben lor peyniri örneklerinin orijinal boyutlarını geri kazanma derecesi olarak tanımlanabilir (Kapoor ve Metzger, 2008). Lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca esneklik değerleri 0,002-0,004 gibi dar bir aralıkta değişiklik göstermiştir. Ayrıca, enzim ilavesinin esneklik üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($P>0.05$). Depolama süresi boyunca meydana gelen farklılıklar da istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($P>0.05$).



Şekil 4.14. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca esneklik değerlerinde meydana gelen değişiklik

Tekstür profil analizine göre lor peyniri, hafif, yumuşak bir kıvama sahip, hamur gibi veya ufalanabilir değil, sıkıştırılabilir ve aşırı kohezif olmayan, kırılğan özelliklere sahip viskoelastik bir gıda olarak sınıflandırılabilir (Tunick ve diğerleri, 2012). Bununla birlikte, enzim ilavesi ile lor peynirlerinin tekstür profilindeki gelişmeler dikkate alındığında, enzim konsantrasyonuna göre sertlik başta olmak üzere teksürel özelliklerin ve dolayısıyla yeme deneyiminin geliştirilebileceği söylenebilir. Ancak, tekstürdeki gelişmelerin esasen enzim konsantrasyonuna bağlı olduğunun vurgulanması gerekmektedir. 28 günlük depolama süresi boyunca düşük miktarda enzim ihtiva eden grubun en iyi tekstürel sonuçları vermesi, maliyet gibi endüstriyel açıdan düşünülebilecek potansiyel dezavantajları da ortadan kaldırmaktadır. Düşük konsantrasyonda enzim kullanılması, daha iyi yapılanmış bir protein jel ağı oluşumunu desteklemesi sonucu lor peynirlerinin sertliğini ve kohezif, adhezif, elastikiyet ve çiğnenebilirlik özelliklerini geliştirmiştir. Dahası, sertlik ve çiğnenebilirlik arasındaki etkileşimin daha iyi anlaşılmasıyla, lor peyniri üreticileri, tüketici tercihlerine göre ürün tekstürünü değiştirebilir ve duyuşal hissiyatı geliştirebilir. Bu sayede markete farklı ürünler kazandırılarak ürün pazarının çeşitlendirilebileceği de söylenebilir.

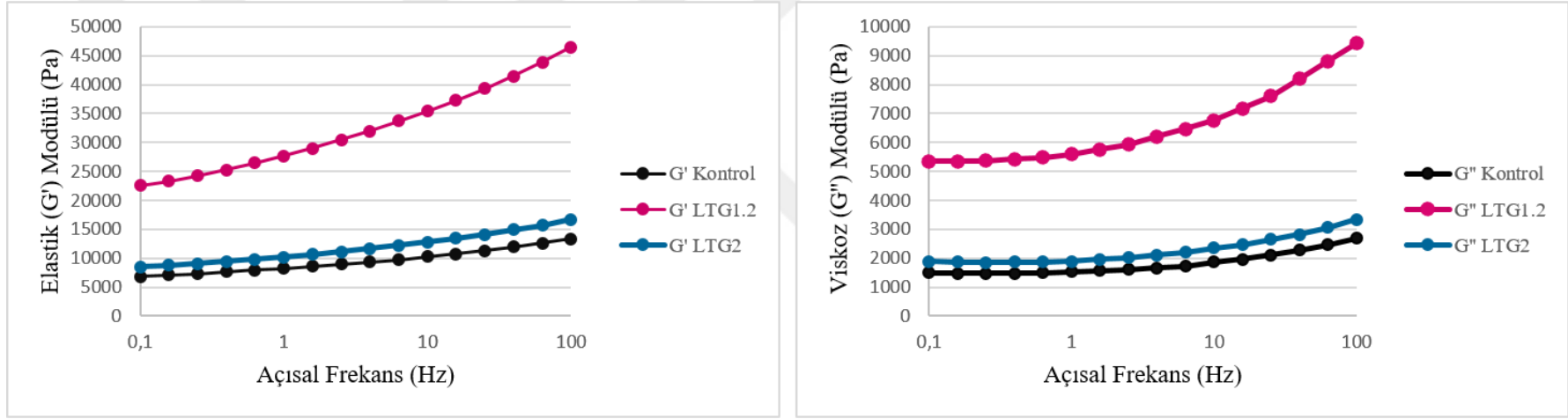
4.4. Reoloji

Gıdaların viskoelastik davranışı frekans tarama testleri ile değerlendirilebilmektedir. Bu amaçla, gıdaya sabit bir genlik uygulanmakta ve belirli bir frekans aralığı boyunca depo (G') ve kayıp (G'') modülleri kaydedilmektedir. Elde edilen grafik, gıdaya ait mekanik spektrum olarak da ifade edilmektedir (Sameer ve diğerleri, 2020). Burada, G' , depolanan ve deformasyon döngüsü başına salınan enerjinin bir ölçüsüdür ve viskoelastik yapının elastik

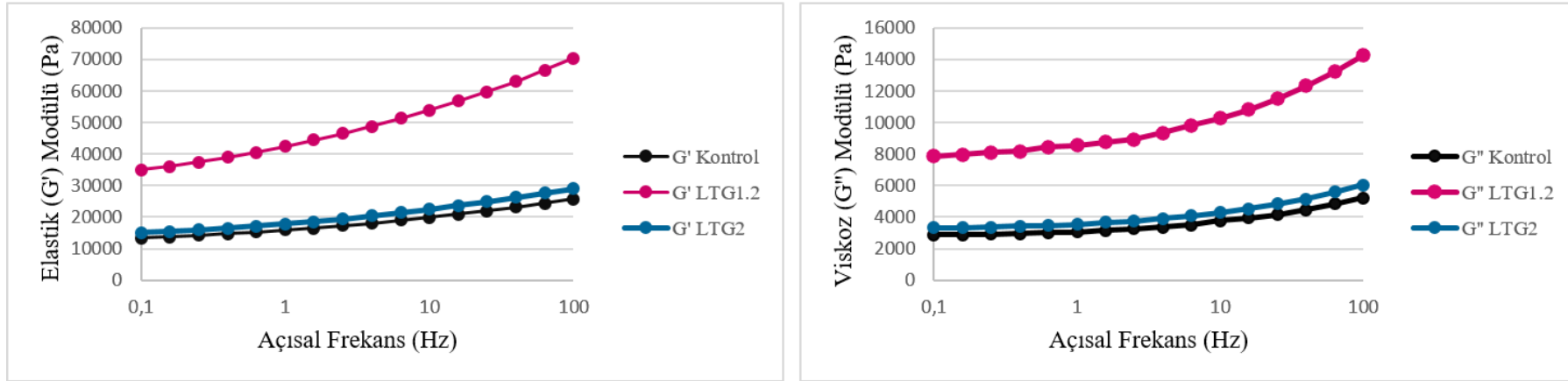
kısmı ile ilgilidir. G'' ise her bir deformasyon döngüsünde birim hacim başına ısı olarak yayılan enerjinin bir ölçüsü olarak tanımlanmakta olup viskoelastik yapının viskoz kısmı ile ilgilidir (Gunasekaran ve Ak, 2000). Bu bağlamda, G' modülünün G'' modülünden yüksek olduğu durumlarda harcanan enerjiden daha fazlasının depolandığı ve dolayısıyla elastik yapının hakim olduğu ifade edilebilir. Aksine, G'' modülünün G' modülünden yüksek olduğu durumda ise depolanan enerjiden daha fazlasının harcandığı ve dolayısıyla viskoz yapının hakim olduğu söylenebilir (Kopuk, 2022).

Daha önce de bahsedildiği gibi, lor peyniri viskoelastik özellikler sergileyen bir gıda matriksi olduğundan, frekansa bağlı olarak elastikiyetinin nasıl değiştiğinin ve enzimin jel ağının elastikiyeti üzerindeki etkisinin incelenmesi, raf ömrü, tüketilebilirlik, duyu hissiyat ve aroma algısı açısından önem taşıdığı düşünülmektedir. Lor peyniri örneklerinin viskoelastik davranışı bir frekans tarama testi ile incelenmiştir. Enzim ilavesi sonucu oluşan ve depolama süresi boyunca farklılaşan jel yapısının karakterizasyonu için Şekil 4.15-4.19'da G' ve G'' modüllerinin büyüklükleri frekansa karşı grafiğe aktarılmıştır. Buna göre, incelenen frekans aralığı boyunca elastik modülün viskoz modülü domine ettiği ve dolayısıyla tüm örneklerin viskoelastik bir reolojik davranış sergilediği söylenebilir. Dahası, artan frekans ile her iki modülün de artış göstermesi ve çapraz geçiş noktası (viskoz modülün elastik modülü domine ettiği nokta) gözlemlenmemesi, lor peyniri örneklerinin zayıf jel davranışı gösterdiğini vurgulamaktadır. Bu, viskoelastik peynir matriksleri için tipik olarak karşılaşılan bir durumdur (Kahyaoglu ve Kaya, 2003). Artan frekans ile yükselen modül değerleri, jel yapıdaki bağların relaksasyonu ile ilgilidir. Düşük frekanslarda, daha uzun süre gerilim uygulandığından daha fazla bağ relaksasyona uğrayarak yapısal olarak yeniden düzenlenmekte ve dolayısıyla daha düşük modül değerleri gözlemlenmektedir. Aksine, artan frekanslarda yapıdaki bağlar relaksasyon için yeterince vakit bulamamakta ve numune, daha sıkı ve katı bir yapıyı benimsemektedir. Benzer şekilde, Sameer, Ganguly ve Khatri (2020), incelenen frekans aralığı boyunca ricotta peyniri için G' modülünün G'' modülünü domine ederek viskoelastik davranış gösterdiğini ve artan frekansa bağlı olarak her iki modülün de arttığını bildirmiştir. Bununla birlikte, tekstürel parametreler ile uyumlu olarak (Çizelge 4.4), özellikle düşük miktarda enzim ilavesi sonucu depo ve viskoz modüllerinin arttığı ve 21 günlük depolama süresi boyunca diğer iki örnek grubuna kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek miktarda enzim ilavesi ile modüllerin arttığı görülse de nispeten kontrol grubuna benzer sonuçlar elde edilmiştir. Enzim miktarı açısından kıyaslandığında LTG1.2 grubunda görülen daha yüksek modül değerleri için birkaç sebep öne sürülebilir.

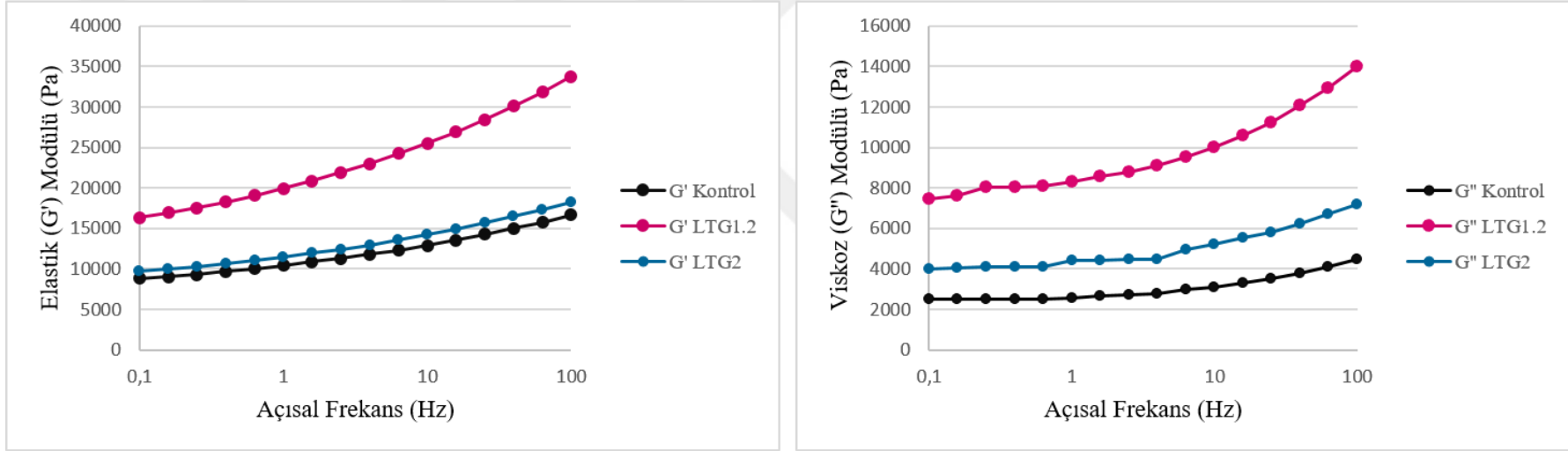
Bunlardan ilki, düşük miktarda enzim ilavesi ile meydana gelen çapraz bağlanmaların daha sıkı ve viskoelastik yapı oluşturmalarıdır. Ek olarak, Çizelge 4.1’de belirtilen sonuçlara dayanarak, LTG1.2 grubu için tespit edilen daha yüksek kurumadde ve protein değerleri sayesinde suyun yapı üzerindeki zayıflatıcı etkisinin azaltıldığı ve dolayısıyla daha fazla protein-protein etkileşimi nedeniyle daha iyi yapılanmış bir jel ağı olduğu vurgulanabilir. TG enziminin protein ve yağ geri kazanımını arttırması, tekstür ve reoloji analizi sonuçlarından da görülebileceği gibi, enzimin lor peynirinin jel gücünü arttırmasından kaynaklanmaktadır. Pek çok araştırmacı, TG enziminin kovalent bağlar oluşturarak süt ürünlerinin jel gücünü arttırabileceğini bildirmiştir (Lorenzen, Neve, Mautner ve Schlimme, 2002; Bönisch, Heidebach ve Kulozik, 2008). Bu bağlamda, enzim ilavesi ile mikroyapıda meydana gelen değişikliklerin örneklerin reolojik davranışına pozitif yönde yansıdığı belirtilebilir. Bu sonuçlarla uyumlu olarak, Sayadi, Madadlou ve Khosrowshahi (2013), TG enzimi kullanılarak üretilen düşük yağlı beyaz peynirlerin depo ve viskoz modüllerinin artan frekans ile artış gösterdiğini bildirmiştir. Aksine, araştırmacılar, enzim ilaveli örneklerin kontrol grubuna kıyasla daha düşük modül değerleri sergilediğini gözlemlemiş ve bu farklılığı daha düşük protein içeriği ile açıklamışlardır. Peynirlerde G' değeri, protein içeriğinin bir fonksiyonu olarak düşünülebilir dolayısıyla daha düşük protein miktarı daha düşük G' değerleri anlamına gelmektedir. Peynirin yapısındaki proteinlerin arasındaki etkileşim protein miktarı ile artmakta ve numunenin elastik yapısını güçlendirmektedir. Enzim miktarının artmasıyla modül değerlerindeki gözlemlenen düşüş ise aşırı çapraz bağlanma kaynaklı jel yapının zayıflamasından ve su moleküllerinin artması nedeniyle protein-protein etkileşimi azalarak su-protein ilişkisinin artması sonucunda jel ağ kuvvetinin azalmasından kaynaklı olabilir (Hebishy ve diğerleri, 2022). Kahyaoglu ve Kaya (2003), protein molekülleri için daha az hareket özgürlüğü sağladığından dolayı nem içeriği daha düşük olan Gaziantep peynirlerinin daha yüksek modül değerleri sergilediğini bildirmişlerdir. Ayrıca, kayganlaştırıcı etkisinden dolayı matrikste bulunan yağın da yapı üzerine etkisi son derece önemli olup jel ağın viskoz doğasına katkıda bulunduğundan, bu farklılıklar yapıda bulunan nem ve yağın yapı üzerindeki etkilerinden de kaynaklanmaktadır.



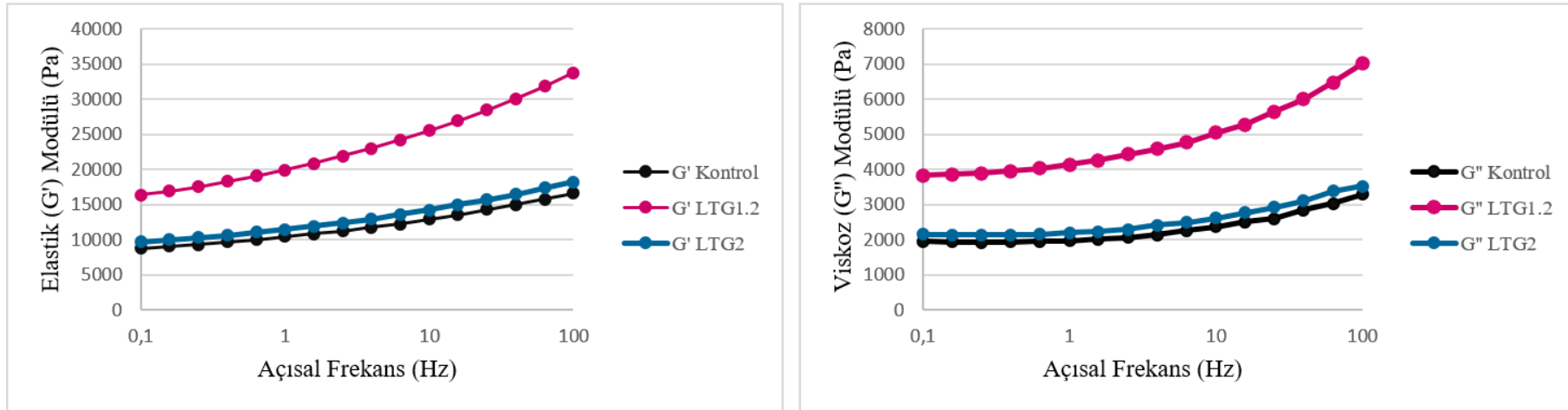
Şekil 4.15. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 1. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri



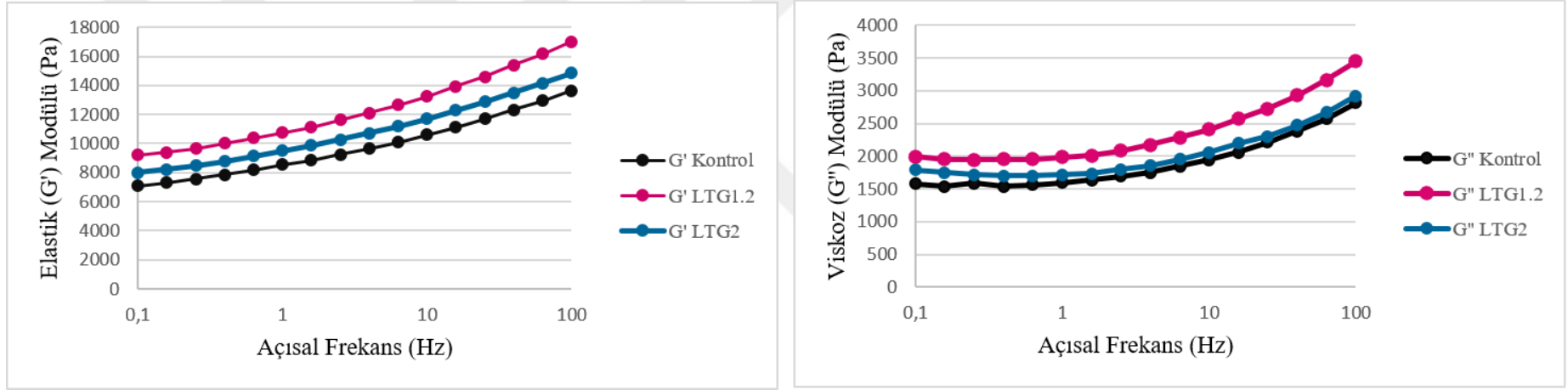
Şekil 4.16. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 7. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri



Şekil 4.17. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 15. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri



Şekil 4.18. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 21. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri

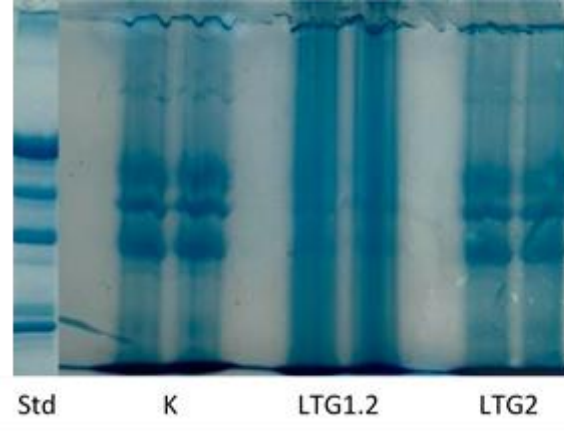


Şekil 4.19. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolamanın 28. gününde elde edilen depo (G') ve kayıp (G'') modülleri

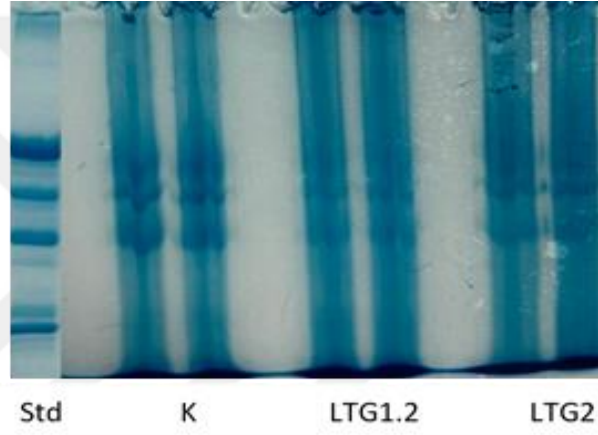
Depolama süresi boyunca lor peyniri örneklerinin modül değerleri dalgalanma göstermiş ve 28. günde en düşük değerler tespit edilmiştir. Bununla birlikte, her daim en yüksek değerler LTG1.2 grubunda belirlenmiştir. Reolojik davranışın gıda matriksinin mikroskopik ve makroskopik özelliklerinin bir sonucu olduğu bilinmektedir. Buna göre, depolama süresi boyunca değerlerde meydana gelen farklılıklarda, kurumadde ve proteindeki değişikliklerin yanı sıra proteolitik aktivitenin ilerlemesi önemli bir etken olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlara dayanarak, kontrol ve LTG2 gruplarına kıyasla LTG1.2 grubunun depolamanın 21. gününe kadar yapısını daha iyi muhafaza ettiği, ancak 28. günde tüm grupların yapısını tamamen kaybettiği söylenebilir. Kontrol ve LTG2 gruplarında 15. günden, LTG1.2 grubunda ise 21. günden itibaren gözlemlenen kayda değer düşüş, proteolitik aktivitenin dominant hale gelerek matrikste bulunan proteinler arasındaki etkileşimlerin ve bağların kırılması ve yeni oluşan polipeptitlerin protein jel ağına yeteri kadar katkıda bulunamamasından kaynaklanmaktadır.

4.5. SDS-PAGE

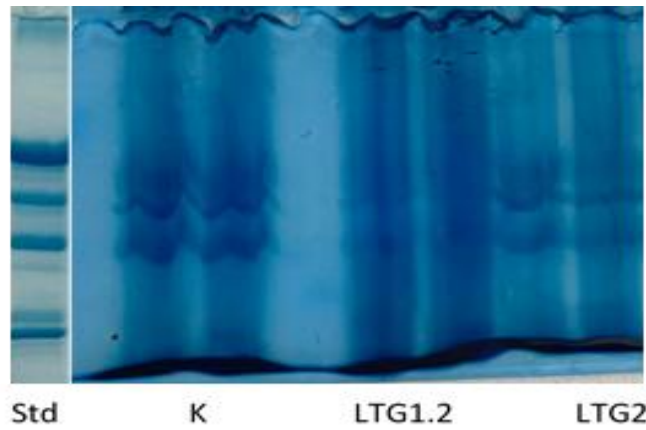
Farklı oranlarda TG enzimi ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca elektroforez görüntüleri Şekil 4.20-4.24'te verilmiştir. Süt proteinleri, kazeinler ve PAS proteinleri genel olarak 9-120 kDa aralığında moleküler ağırlığına sahip bir bant profili sergilemektedir (Bekiroğlu, 2023). Bununla birlikte, PAS kullanılarak üretilen peynirlerde elektroforez profili başta β -laktoglobulin ve α -laktoalbumin olmak üzere PAS proteinleri ve kazein varlığı ile karakterize edilmektedir. Ayrıca, özellikle mekaniksel etkiler başta olmak üzere üretim prosesinin süt yağı globül membranlarına hasar vermesinden dolayı laktadherin gibi süt yağ globüllerinin membranlarında bulunan belirli proteinler lor ve lor benzeri peynirlerde tespit edilememektedir (Salvatore ve diğerleri, 2014). Lor peyniri üretimi sırasında yüksek sıcaklık uygulaması, PAS proteinlerinin denatürasyonuna ve kazein ile tiyol-disülfid reaksiyonları sonucu misel kompleksleri oluşturarak β -laktoglobulin ve α -laktoalbumin bant yoğunluğunda azalmaya yol açmaktadır (Donato ve Guyomarc'h, 2009).



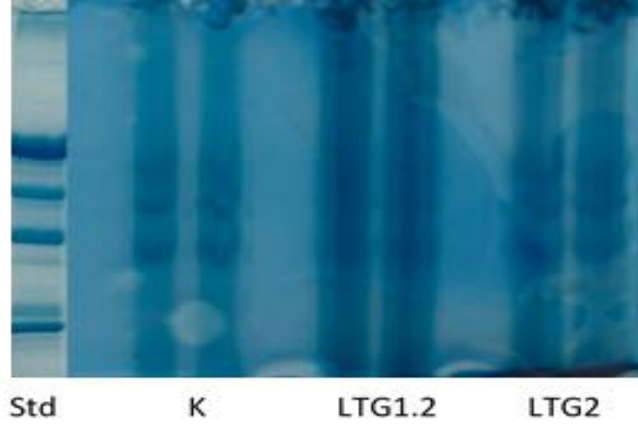
Şekil 4.20. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 1. gününe ait elektroforez bant görüntüsü



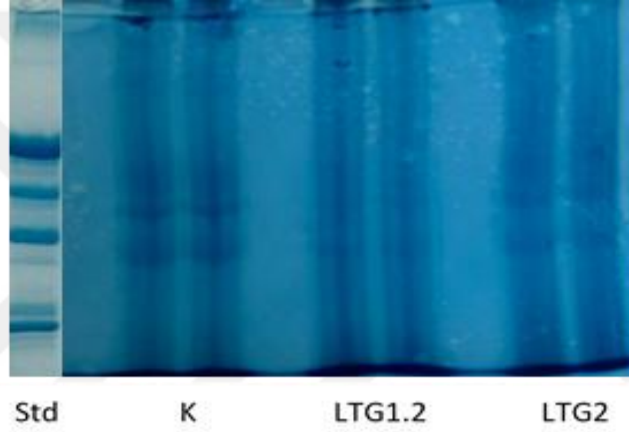
Şekil 4.21. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 7. gününe ait elektroforez bant görüntüsü



Şekil 4.22. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 15. gününe ait elektroforez bant görüntüsü



Şekil 4.23. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 21. gününe ait elektroforez bant görüntüsü



Şekil 4.24. Lor peyniri örnekleri için depolamanın 28. gününe ait elektroforez bant görüntüsü

Lor peyniri örneklerine ait elektroforez profilleri incelendiğinde, kontrol ve LTG2 gruplarının nispeten benzer bant dağılımı gösterdiği, ancak LTG1.2 grubunda diğer iki gruba kıyasla bant yoğunluğunun azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum açıkça enzim indüklü polimerizasyon reaksiyonları sonucu yüksek moleküler ağırlıklı komplekslerin oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, LTG1.2 grubunda kazein bant yoğunluğu da azaldığından, kazeinlerin de çapraz bağlanma reaksiyonlarına katıldığı öne sürülebilir. Benzer sonuçlar, Karzan ve diğerleri (2016) tarafından TG enzimi ihtiva eden keçi lor peynirleri için bildirilmiştir. Araştırmacılar, enzim ilavesi ile PAS proteinlerinin yanı sıra kazein bant yoğunluklarında azalmalar meydana geldiğini ve bu durumun enzim indüklü çapraz bağlanma sonucu yüksek moleküler ağırlıklı bileşiklerin oluşmasından kaynaklı olduğunu ileri sürmüş ve protein, toplam katı, verim ve sertlik değerlerindeki değişikliklerden sorumlu olduğunu vurgulamıştır. PAS proteinlerinin TG enzimi ile çapraz bağlanmasını inceleyen Gauche, Vieira, Ogliari & Bordignon-Luiz (2008), 15 dakikalık reaksiyon sırasında β -laktoglobulin ve

α -laktoalbumin bantlarının yoğunluğunda azalma olduğunu ve enzimatik reaksiyon süresi arttıkça yüksek moleküler ağırlıklı protein bantlarının yoğunlaştığını belirtmiştir. Araştırmacılar, meydana gelen bu değişikliklerin ϵ -(γ -glutamil)lisil çapraz bağlarının oluşmasından ve bunu takiben glutamat ve lisine hidrolize olmasından veya direkt olarak glutamil kalıntılarının glutamata hidrolize olmasından kaynaklı olabileceğini bildirmiştir. Aloglu ve Öner (2013) TG ile muamele edilen labne peynirlerinin monomerik PAS proteinlerinin bant yoğunluğunda azalma olduğunu ve pek çok yeni bileşik oluştuğunu, ancak bu bileşiklerin yüksek moleküler ağırlıklarından dolayı istif jeline katılamadığını öne sürmüştür. Benzer durumun bu çalışma için de geçerli olduğu savunulabilir. Ayrıca, enzim ihtiva eden iki grup kendi içerisinde karşılaştırıldığında, LTG1.2 grubunda daha az yoğunluklu bantların eldesi, daha fazla proteinin çapraz bağlanma reaksiyonu verdiğini göstermektedir. Buna uygun olarak, Akal (2023), yüksek miktara kıyasla düşük miktarda TG ilavesi ile üretilen lor peynirlerinde daha fazla proteinin çapraz bağlandığını ve daha az yoğunlukta protein bantları elde edildiğini vurgulamış ve depolama süresi boyunca bant yoğunluklarının değişmediğini bildirmiştir. Aksine, bu çalışmada depolama süresi boyunca özellikle kontrol ve LTG2 gruplarının bant yoğunluklarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Depolama süresi arttıkça kazein ve PAS proteinlerinin bant yoğunluklarında azalmalar meydana geldiği bulunmuştur. Bu durum, diğer analiz bulgularına dayanarak, bu iki grupta daha ileri proteoliz meydana gelmesi sonucu proteinlerin degradasyonu ile ilişkilendirilebilir. Bu bulgular, aynı zamanda, enzim ilavesi ve depolama süresi boyunca örnek gruplarının sertlik, reolojik modüller, verim ve protein miktarlarında gözlemlenen değişiklikleri de açıklamaktadır.

4.6. Mikrobiyoloji

Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin 28 günlük depolama süresi boyunca TMAB sayılarında meydana gelen farklılıklar Çizelge 4.9 ve Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Tez çalışmasında toplam küf-maya ve toplam koliform analizi de yapılmıştır. Ancak, depolama boyunca örneklerde küf-maya ve toplam koliform tespit edilemediğinden dolayı çizelge veya şekil olarak gösterilmemiştir. Bunun sebebi olarak, üretim prosesinde 95°C'de yaklaşık 45 dakikalık ısıtmanın küf-maya varlığını tamamen inhibe etmesi, üretim koşullarının hijyenik olması, tuz ilavesi ve vakum paketlemenin depolama süresi boyunca küf-maya gelişimi için elverişsiz koşullar yaratması öne sürülebilir. Benzer şekilde, Yalçın (2016), 60 günlük depolama süresi boyunca lor peyniri örneklerinde küf-maya tespit edilmediğini bildirmiştir. Ekin (2016) tarafından lor peynirine yönelik yapılan çalışmada 35

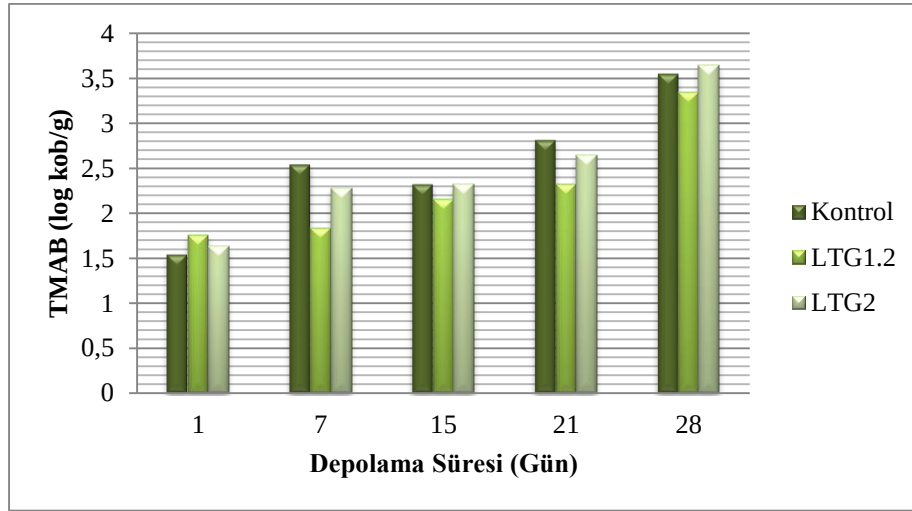
günlük depolama süresince küf ve koliform bakteri tespit edilmemiş, ancak depolama başlangıcında 0,49 log kob/g olarak tespit edilen maya sayısının depolama süresince önemli ölçüde arttığı ve 5,76 log kob/g'a yükseldiği belirlenmiştir. TG kullanılarak üretilen quark peynirlerinin mikrobiyolojik özelliklerini inceleyen Seyed-Moslemini, Hesari, Peighambardoust ve Peighambardoust (2021), küf-maya ve koliform bakteri sayılarının 21 günlük depolama süresince arttığını, ancak enzim ilavesinin küf-maya ve koliform üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını vurgulamıştır.

Çizelge 4.9. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolama süresince elde edilen TMAB sayıları

Numune		Depolama Günleri				
		1	7	15	21	28
TMAB	Kontrol	1,54±0,22 ^{aB}	2,32±0,03 ^{aAB}	2,54±0,33 ^{aAB}	2,81±0,05 ^{aAB}	3,55±0,49 ^{aA}
(log	LTG1.2	1,76±0,15 ^{aB}	1,84±0,09 ^{aB}	2,15±0,04 ^{aB}	2,32±0,21 ^{aAB}	3,34±0,35 ^{aA}
kob/g)	LTG2	1,63±0,25 ^{aB}	2,28±0,18 ^{aAB}	2,32±0,21 ^{aAB}	2,65±0,49 ^{aAB}	3,65±0,21 ^{aA}

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P < 0.05$). Aynı satırdaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama günleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır ($P > 0.05$).

Lor peyniri örneklerinin TMAB sayıları incelendiğinde, depolama süresince 1,54-3,65 log kob/g aralığında değiştiği bulunmuştur. Bununla birlikte, 1. gün hariç, TMAB sayıları genel olarak LTG1.2 grubunda daha düşük olsa da, bu farklılığın istatistiksel açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir ($P > 0.05$). Bu bağlamda, enzimin lor peyniri örneklerinin TMAB sayıları üzerinde bir etkisi olmadığı söylenebilir. Ayrıca, beklendiği üzere, depolama süresi boyunca TMAB sayıları artış göstermiştir. Bu artış, örnek grubundan bağımsız olarak, depolamanın 21. gününe kadar istatistiksel açıdan önemsiz bir şekilde gerçekleşirken ($P > 0.05$), depolamanın 28. gününde önemli hale gelmiştir ($P < 0.05$). Bu sonuçlarla uyumlu olarak, Akal (2023), lor peyniri üretiminde TG enzimi kullanılmasının örneklerin TMAB sayılarını önemli bir şekilde etkilemediğini bildirmiştir.



Şekil 4.25. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca TMAB sayılarında meydana gelen değişiklikler

4.7. Duyusal Değerlendirme

Gıda ürünlerinin tüketiciler tarafından tercihinde, organoleptik özellikler ve özellikle de aroma algısı son derece önemli bir rol oynamaktadır. Aroma bileşenlerinin algılanabilmesi için gıdanın çiğnenmesi esnasında ağızda salınmaları ve sonrasında koku reseptörlerine ulaşması için geniz boşluğuna taşınmaları gerekmektedir. Gıda tüketimi esnasında salınan aroma bileşenlerinin miktarı, gıda matriksi ve yapısının yanı sıra çiğneme davranışından da önemli ölçüde etkilenmektedir (Guichard, 2002; Tarrega, Yven, Sémon ve Salles, 2008). Bununla birlikte, *in vivo* aroma salınımına dair yapılan bir çalışmada, aroma algısının yalnızca aroma bileşenlerinin miktarından değil, aynı zamanda çiğneme esnasında bunların salınım oranı ve şekli ile yakından ilişkili olduğu kanıtlanmıştır (Taylor, 2002). Dahası, gıda tüketildiği süreçte, tekstür, tat ve aromayı kapsayan genel duyusal algı eş zamanlı ve/veya ardışık olarak meydana gelmekte ve sonrasında bir global ve kompleks duyu oluşturmak için beyinde bütünleşmektedir (Gierczynski, Guichard ve Laboure, 2010). Bu bağlamda, bir gıda ürününe ait formülasyonda, ürünün kıvamını veya yapısını değiştirmeye/geliştirmeye yönelik yapılan bir çalışmada, tekstürel parametrelerin değişeceği gerçeği nedeniyle duyusal parametrelerin de değişeceği belirtilebilir. Duyusal açıdan bakıldığında, lor peyniri üretiminde TG enzimi kullanımı sonucu beklenen esas çıktı, tekstürel özelliklerinin iyileşerek duyusal deneyimi geliştirmesinin yanı sıra depolama süresi boyunca mikrobiyolojik aktivite nedeniyle meydana gelen proteolitik aktivitenin yavaşlatılarak acılaşmayı engellemesidir. Buna uygun olarak, TG enzimi ilavesi ile duyusal özelliklerde pozitif yönde gelişmeler gözlemlenmiştir.

Enzim ihtiva eden ve etmeyen lor peyniri örneklerinin duysal değerdendirme sonuçları arasındaki değışiklikler izelge 4.10 ve Şekil 4.26-4.31’de gösterilmiştir.

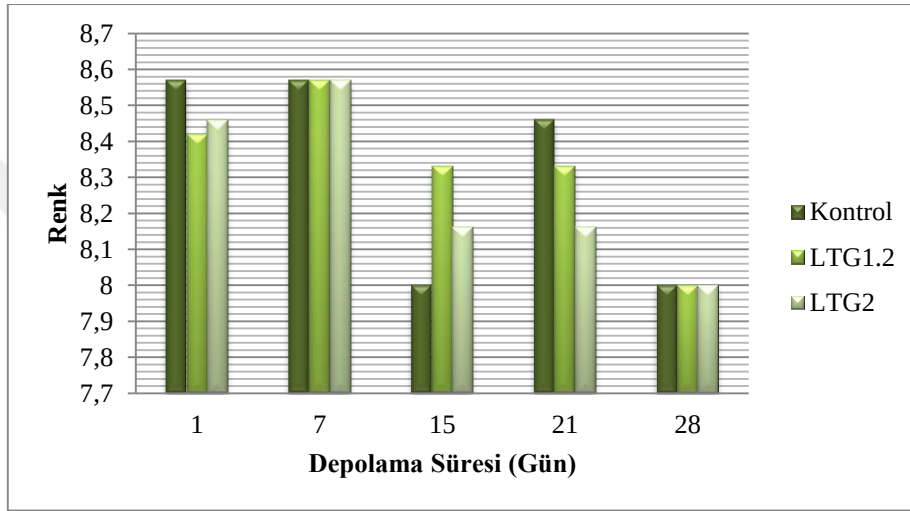
Çizelge 4.10. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örnekleri için depolama süresi boyunca elde edilen duysal analiz sonuçları

Numune	Renk beğenisi	Yapı ve görünüş	Tat	Acımsılık	Koku	Genel kabul edilebilirlik
1.Gün						
Kontrol	8,57±0,53 ^{aA}	6,42±0,78 ^{bA}	7,64±0,78 ^{abA}	7,65±0,67 ^{aD}	9,00±0,00 ^{aA}	7,77±0,57 ^{aA}
LTG1.2	8,42±0,97 ^{aA}	8,33±0,58 ^{aA}	8,35±0,74 ^{aA}	7,72±0,48 ^{aB}	9,00±0,00 ^{aA}	8,28±0,75 ^{aA}
LTG2	8,46±0,53 ^{aA}	7,25±0,35 ^{bA}	7,07±0,83 ^{bA}	7,58±0,72 ^{aC}	9,00±0,00 ^{aA}	7,66±0,45 ^{aA}
7.Gün						
Kontrol	8,57±0,53 ^{aA}	6,33±0,98 ^{bA}	7,57±0,48 ^{abA}	7,29±0,55 ^{aCD}	8,29±0,15 ^{aA}	7,50±0,50 ^{aA}
LTG1.2	8,57±0,79 ^{aA}	8,29±0,91 ^{aA}	8,29±1,11 ^{aA}	7,43±0,79 ^{aB}	8,33±0,28 ^{aA}	8,29±0,77 ^{aA}
LTG2	8,57±0,77 ^{aA}	7,00±0,50 ^{bA}	6,93±0,93 ^{bA}	7,35±0,28 ^{aBC}	8,33±0,13 ^{aA}	7,29±0,99 ^{aAB}
15.Gn						
Kontrol	8,00±0,63 ^{aA}	5,83±0,75 ^{bA}	6,50±1,05 ^{bAB}	5,79±1,42 ^{aBC}	7,33±0,52 ^{aB}	7,08±0,32 ^{aA}
LTG1.2	8,33±0,82 ^{aA}	8,28±1,11 ^{aA}	7,58±0,80 ^{aAB}	6,50±0,82 ^{aAB}	8,00±0,63 ^{aAB}	7,83±0,41 ^{aA}
LTG2	8,16±0,41 ^{aA}	6,71±0,76 ^{bA}	6,42±1,02 ^{bAB}	6,15±1,72 ^{aBC}	7,83±0,16 ^{aBC}	7,00±0,28 ^{aAB}
21.Gn						
Kontrol	8,46±0,00 ^{aA}	5,00±0,86 ^{bAB}	4,66±0,21 ^{bBC}	4,00±1,54 ^{aAB}	6,45±0,58 ^{bC}	4,33±0,52 ^{cB}
LTG1.2	8,33±0,58 ^{aA}	8,00±0,63 ^{aA}	7,00±0,35 ^{aAB}	6,22±0,57 ^{bAB}	7,92±0,73 ^{aBC}	7,66±0,45 ^{aA}
LTG2	8,16±0,00 ^{aA}	6,47±0,78 ^{bAB}	5,05±0,15 ^{bB}	5,00±0,76 ^{aAB}	7,15±0,63 ^{abCD}	6,35±0,72 ^{bBC}
28.Gün						
Kontrol	8,00±0,63 ^{aA}	3,50±0,75 ^{bB}	3,50±0,70 ^{bC}	1,50±0,70 ^{aA}	5,50±0,70 ^{cD}	3,25±0,64 ^{cB}
LTG1.2	8,00±0,82 ^{aA}	7,50±0,53 ^{aA}	6,12±0,17 ^{aB}	4,75±0,75 ^{bA}	7,50±0,63 ^{aC}	6,75±0,88 ^{aB}
LTG2	8,00±0,40 ^{aA}	5,85±0,80 ^{bB}	4,50±0,35 ^{bB}	2,25±0,43 ^{aA}	6,66±0,35 ^{bD}	5,25±0,35 ^{bC}

Ortalama sonuçlar ± standart sapmayı göstermektedir. Aynı sütündaki aynı üstel küçük harfler, aynı depolama günü için ilgili lor peyniri örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır (P<0.05). Aynı sütündaki aynı üstel büyük harfler, aynı örnek için farklı depolama gnleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını yansıtmaktadır (P>0.05).

Duysal renk parametresi dikkate alındığında, depolama süresi boyunca değerdler 8,00-8,57 aralığında değışmiştir. Bununla birlikte, enzim ihtiva eden ve etmeyen gruplar arasında önemli bir fark bulunmamıştır (P>0.05). Bu bağlamda, enzim ilavesinin lor peyniri örneklerinin rengine herhangi bir farklılığa yol amadığı söylenbilir. Bunun sebebi, enzimin beyaz toz halde olması ve şeffaf bir çözelti oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Enstrümental renk sonuçları ile kıyaslandığında, düşük miktarda enzim ilavesi ile özellikle b* değerdinin arttığı görülmüş olsa da (izelge 4.2), bu artışın çıplak göze yansımadığı ve duysal açıdan bir fark yaratmadığı ortaya konmuştur. Ayrıca, enzim konsantrasyonundan bağımsız olarak, örneklerin depolama süresi boyunca duysal renk değerdleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır (P>0.05). Bu bulgular, depolama süresi boyunca çok az değışiklik gözlemlenen enstrümental renk bulgularıyla uyumluluk göstermektedir. Lor peyniri kremi beyaz renkte olduğundan dolayı enzim ilavesiyle meydana gelecek herhangi bir değışiklik tüketicici kabul açısından olumsuz karşılanabilir, bu nedenle duysal renk değerdlerinin değışmemesi pozitif olarak kabul edilmektedir. Buna uygun olarak, Fişekçi (2013) tarafından

karbondioksit uygulamasının ve modifiye atmosfer ortamında paketlemenin lor peyniri örneklerinin görünüş kriterleri üzerine önemli bir etkisi olmadığı ve 14 günlük depolama süresi boyunca bu parametrede kayda değer farklılıklar meydana gelmediği bildirilmiştir. Benzer şekilde, TG enzimi ilave edilerek keçi PAS'ından yapılan peynirin özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, duyu renk değerinin önemli ölçüde değişmediği belirtilmiştir (Karzan ve diğerleri, 2016). Bunun aksine, serbest ve enkapsüle TG enziminin beyaz peynirin duyu özellikleri üzerindeki etkisini inceleyen Razeghi ve Yazdanpanah (2020), en yüksek renk skorunun 60 ppm serbest enzim katılan örneklerde elde edildiğini bildirmiştir.

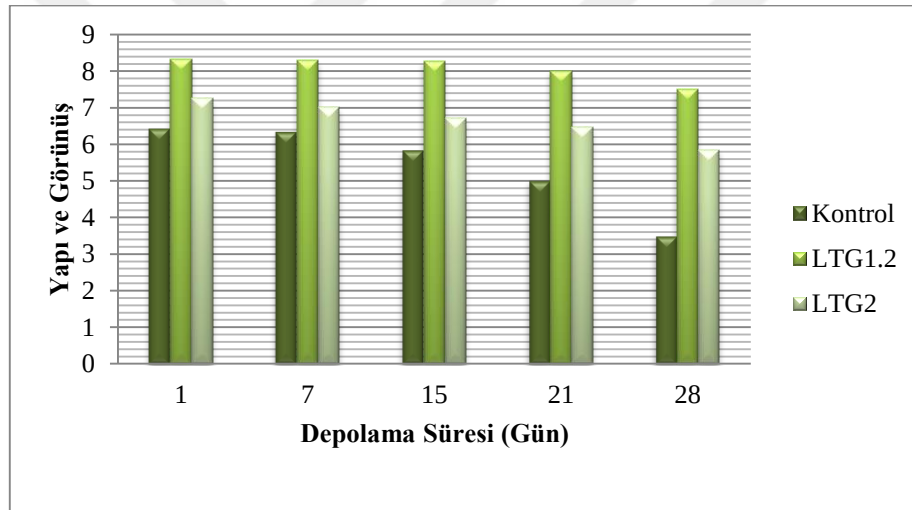


Şekil 4.26. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca duyu renk skorlarında meydana gelen değişiklikler

Lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca elde ettiği yapı ve görünüş skorları 3,50-8,33 aralığında değişiklik göstermiştir. Enzim ilavesi konsantrasyona bağlı olarak örneklerin yapı ve görünüş skorları üzerine önemli bir etki etmiş ($P < 0.05$) ve enstrümental tekstür sonuçları ile uyumlu olarak, diğer iki gruba kıyasla düşük miktarda enzim içeren grup daha yüksek skorlar elde etmiştir. Enzim ihtiva eden gruplara kıyasla kontrol grubu çok daha yumuşak bulunmuştur. Ayrıca, depolama süresi boyunca bu duyu parametre için elde edilen skorlar sürekli bir düşüş göstermiştir. Ancak, kontrol ve LTG2 grupları için depolamanın 1. gününe kıyasla 28. gününde istatistiksel açıdan daha düşük değerler görülsede, LTG1.2 grubu için depolama süresince önemli bir fark oluşmamıştır. Bu durum, açıkça enzimin proteinleri çapraz bağlayarak daha iyi bir yapı oluşturması ve bu yapıyı muhafaza etmesinden kaynaklanmaktadır. Buna uygun olarak, Akal (2023) TG enzimi ilavesi ile çapraz bağlanma sonucu daha pürüzsüz ve düz görünüş oluşması nedeniyle lor peyniri örneklerinin görünüş skorlarının arttığını vurgulamıştır. Aloğlu ve Öner (2013) tarafından TG enzimi ile muamele

edilen keçi sütünden elde edilen labnelerin duysal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, örneklerin görünüş ve parlaklık değerlerinin enzim ilavesi ile arttığı ve en yüksek değerlerin 2 U/g enzim ilave edilen örnekte olduğu bildirilmiştir.

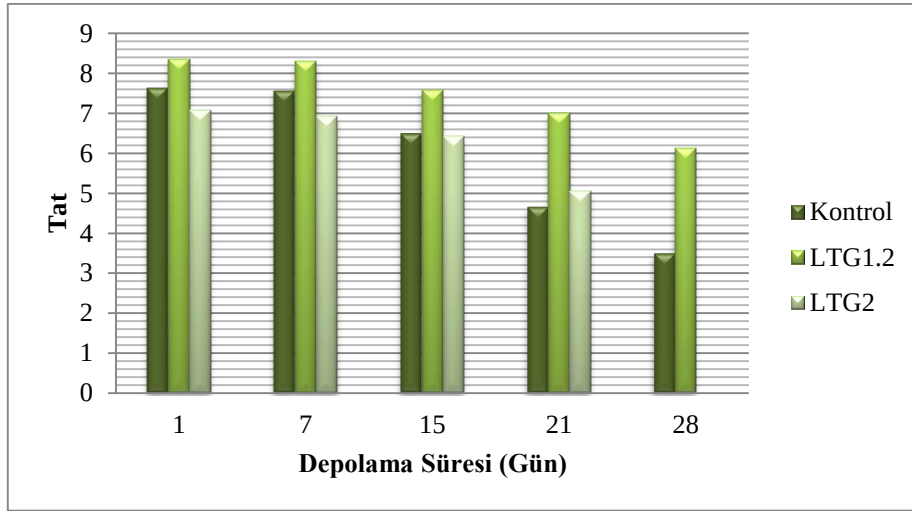
Lor peyniri örneklerine ek olarak, panelistler tarafından kontrol grubunda 7. günden, LTG2 grubunda ise 15. günden sonra sinerezis nedeniyle PAS ayrışması gözlemlenmiş ve örneklerin viskoelastik kıvamını yitirerek daha sulu bir kıvama büründüğü vurgulanmıştır. LTG1.2 grubunda ise böyle bir durumun gözlemlenmediği belirtilmiştir. Benzer durum, TG enzimi ihtiva eden keçi lor peyniri (Karzan ve diğerleri, 2016) ve yumuşak beyaz peynir (Mahmood ve Sebo, 2009) için de bildirilmiştir. Araştırmacılar, enzim ihtiva etmeyen örneklerde depolama sırasında sinerezis meydana gelerek PAS sızması sonucu sulu bir kıvam ve görüntü oluştuğunu vurgulamış ve bunu enzimin daha yüksek molekül ağırlıklı bir protein ağı oluşturması sonucu su ve diğer bileşenleri içine hapsedmesine bağlamıştır.



Şekil 4.27. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca yapı ve görünüş skorlarında meydana gelen değişiklikler

Tat parametresi ile ilgili olarak, depolama süresi boyunca örneklerin duysal değerlendirme skorları 3,50-8,35 aralığında değişim göstermiştir. Renk parametresinin aksine, enzim ilavesi ile tat parametresi için konsantrasyona bağlı olarak pozitif ve negatif gelişmeler gözlemlenmiştir. Düşük miktarda enzim ilavesi ile tat skoru önemli ölçüde artarken ($P<0.05$), enzim miktarı arttıkça kayda değer bir düşüş göstermiştir ($P<0.05$). LTG1.2 grubu için elde edilen tat skorundaki bu artış, enzim ilavesi ile meydana gelen çapraz bağlanma ile ilişkilendirilebilir. TG indüklü çapraz bağlanma sonucu matrikste bulunan proteinler arası etkileşimlerin artması nedeniyle daha homojen, tekdüze ve küçük boşluklu bir yapı oluşmaktadır. Enstrümental tekstür ve reoloji bulgularında da gözlemlendiği gibi, oluşan bu

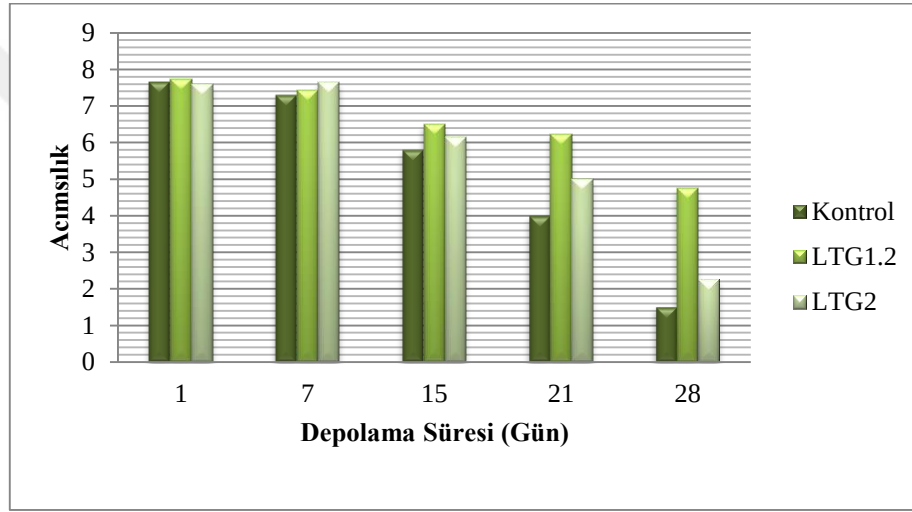
daha sıkı yapı sayesinde numune ağıza alındığı takdirde yapısını hemen kaybetmemekte ve dolayısıyla aroma salınımı daha uzun sürdüğünden ağız içi davranışı gelişmektedir. Ayrıca, panelistler, özellikle LTG1.2 grubunda, kontrol ve LTG2 gruplarına kıyasla süt ve peynir aromasının daha yoğun hissedildiğini belirtmiştir. Benzer şekilde, García-Gómez ve diğerleri (2020) TG ilavesi sonucu beyaz peynirlerin tat ve aroma skorlarının arttığını, süt ve peynir aromasının daha yoğun hissedildiğini bildirmiştir. Ek olarak, panelistler tarafından belirtilen bir diğer önemli husus, kontrol ve LTG2 gruplarına kıyasla LTG1.2 grubunda daha kremamsı bir lezzet, ağız hissiyatı olduğu ve dolayısıyla ürünün ağız içi davranışının geliştiğidir. Tat kriteri için gözlemlenen bu artış ve aromanın daha yoğun hissedilmesi, kurumadde ve protein sonuçlarında gösterildiği gibi (Çizelge 4.1), enzimin lor peynirlerinin üretimi esnasında protein geri kazanımını arttırmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, yapı ve görünüş parametresinde belirtildiği gibi, enzimin lor peynirinin su tutma kapasitesini arttırarak daha kremamsı bir lezzet ve gelişmiş ağız hissiyatına yol açabileceği öne sürülebilir. Bu sonuçlar ayrıca TG enziminin keçi PAS'ından elde edilen lor peynirleri üzerindeki etkisini inceleyen Karzan ve diğerleri (2016) tarafından da bildirilmiştir. LTG2 grubunda, artan enzim miktarıyla meydana gelen aşırı çapraz bağlanma sonucu jel yapısının gevşemesi ve protein-su etkileşiminin artmasının yanı sıra enzimin kendisinden gelen kimyasal acı tat hissiyatı, daha düşük tat skorlarının sebebi olarak öne sürülebilir. Akal (2023) ise düşük miktarda TG enzimi içeren lor peyniri örneklerinin yüksek miktarda enzim içeren muadillerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek tat skorları elde ettiğini bildirmiştir ve bu farkı mikrobiyolojik sonuçlara dayanarak açıklamıştır. Araştırmacı, enzimatik aktivitesi nedeniyle proteoliz ve lipoliz prosesleri sayesinde aromatik bileşiklerin oluşumuna katkıda bulunan *Lactococcus* spp. miktarının yüksek enzim içeren örnekte daha az olduğunu ve dolayısıyla lor peynirinin özel duyuusal karakteristiklerinden sorumlu spesifik aroma bileşiklerinin oluşumuna daha az katkıda bulunduğunu vurgulamıştır. Ek olarak, depolama süresi boyunca en yüksek tat skorları LTG1.2 grubunda, en düşük skorlar ise LTG2 grubunda tespit edilmiştir. Ayrıca, depolama süresi boyunca tüm örneklerin tat skorları sürekli azalma göstermiş ve en düşük değerler 28. günde gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kontrol ve LTG2 grupları için gözlemlenen düşüş 21. günde anlamlı hale gelse de ($P<0.05$), LTG1.2 grubu için bu düşüş 28. günde anlamlı bulunmuştur ($P<0.05$). Bu bağlamda, daha önce de belirtildiği gibi, depolama süresi boyunca proteoliz ve lipoliz olgularının ilerlediği ve örneklerin tadını olumsuz yönde etkilediği söylenebilir. Ancak, elde edilen bulgulara dayanarak, düşük miktarda enzim ilavesi ile proteolizin yavaşlatılarak örneklerin tadını daha uzun süre muhafaza etmek mümkün görülmektedir.



Şekil 4.28. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca tat skorlarında meydana gelen değişiklikler

Lor peynirleri için tat ve acımsılık parametreleri direkt olarak ilişkilendirilebilir. Depolama süresi boyunca örneklerin acımsılık skorları incelendiğinde, depolamanın 1., 7. ve 15. günleri için enzim ilavesinin acımsılığa bir etkisi olmadığı ($P < 0.05$) ve tüm örneklerin düşük puan aldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, artan depolama süresi boyunca acımsılık skorları da artış göstermiş ve özellikle kontrol ve LTG2 grupları için 15. günden sonra bu artış anlamlı hale gelmiştir ($P < 0.05$). Bunun aksine, LTG1.2 grubu için depolama süresi boyunca sürekli bir artış olsa da, 1. güne kıyasla sadece 28. günde istatistiksel bir fark oluşmuştur ($P < 0.05$). Ek olarak, panelistler tarafından depolamanın 21. ve 28. günlerinde kontrol ve LTG2 gruplarına kıyasla LTG1.2 grubunun daha az acılaştığı vurgulanmış ve önemli ölçüde daha düşük acılık skorları verilmiştir ($P < 0.05$). Lor peynirinde depolama süresince proteolitik ve lipolitik mikroorganizmalar tarafından indüklenen proteoliz ve lipoliz sonucu meydana gelen acılaşıma, raf ömrünün kısaltan en önemli faktördür. Bu bağlamda, daha önce belirtilen diğer enstrümental ve duyuşal sonuçlarla da uyumlu olarak, düşük miktarda enzim kullanımı sayesinde meydana gelen daha sıkı jel yapı, proteolitik ve lipolitik enzimlerin substratlara ulaşımını geciktirmiş ve bu sayede örneğin yapısı, tadı, aroması ve acılığı kontrol altına alınmış ve dolayısıyla raf ömrü en az 7 gün uzatılmıştır. TG ilavesinin yumuşak peynirlerin duyuşal özelliklerini olumlu yönde etkilediği farklı çalışmalarda da bildirilmiştir. Mahmood ve Sebo (2009), TG katılan yumuşak beyaz peynirlerin kontrol grubuna kıyasla duyuşal açıdan daha yüksek skorlar aldığını ve 8 günlük depolama süresince daha az acılaşıma meydana geldiğini belirtmiştir. Benzer şekilde, keçi PAS'ından TG enzimi ilavesi ile üretilen peynirlerde enzim ihtiva eden gruplarda daha az acılık hissedildiği ve ayrıca kontrol grubunun 1 haftalık depolama sonrasında daha düşük aroma skorları elde ettiği vurgulanmıştır (Karzan

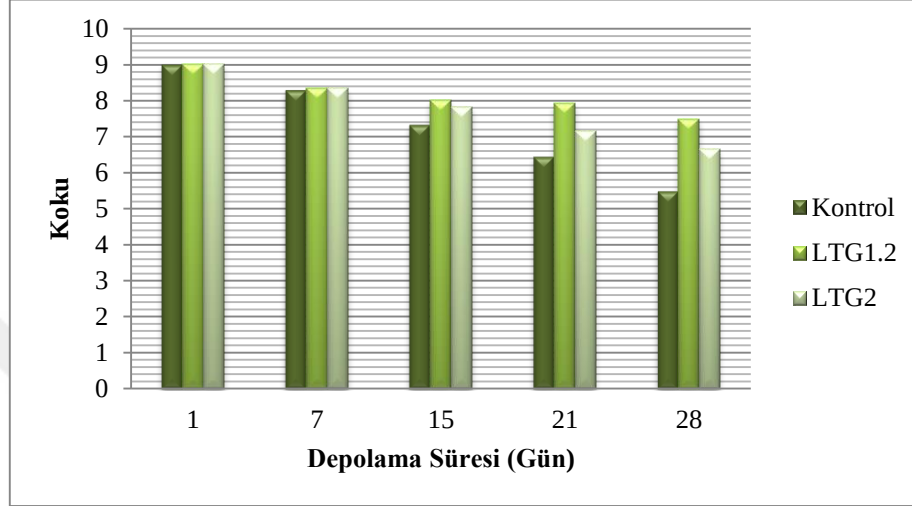
ve diğerleri, 2016). Yapı ve görünüş parametresinde belirtildiği gibi, LTG1.2 grubunu diğer iki gruptan ayıran ve ilk göze çarpan en önemli özelliklerden birisi, sinerezis sonucu PAS ayrışması ve dolayısıyla sulu bir yapının gözlemlenmemesidir. Bu bağlamda, LTG1.2 grubu için elde edilen düşük acımsılık değerleri, bu sonuçlarla da ilişkilendirilebilir. Çünkü düşük enzim miktarı ile elde edilen çapraz bağlı sıkı yapının, bozulma yapıcı mikroorganizmaların gelişimi için bazı esansiyel besinlerin erişilebilirliğini kısıtlamasının yanı sıra PAS seperasyonunu engelleyerek mikroorganizmalar tarafından kullanımını engellemiştir (Mahmood ve Sebo, 2009). Benzer sonuçlar Han, Pfeifer, Lincourt ve Schuerman (2003) tarafından da bildirilmiş ve krem peynirlerin TG ile muamele edilmesi sonucu laktik asit bakterilerinin gelişiminin yavaşlatıldığı ve daha düşük miktarda asit ürettiği vurgulanmıştır.



Şekil 4.29. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca acımsılık skorlarında meydana gelen değişiklikler

Lor peynirlerinde bozulmanın bir diğer göstergesi, depolama süresi boyunca meydana gelen mikrobiyal aktivite sonucu oluşan kötü kokudur. Lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca elde ettiği koku skorları 5,50-9,00 aralığında değişiklik göstermiştir. Depolamanın 15. gününe kadar enzim ihtiva eden ve etmeyen örnekler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark görülme de ($P>0.05$), depolamanın uzamasıyla önemli farklılıklar oluşmuş ve özellikle LTG1.2 grubu diğer iki gruptan önemli ölçüde daha yüksek puanlanmıştır ($P<0.05$). Ayrıca, depolama süresi boyunca koku değerleri sürekli olarak düşüş göstermiş ve bu düşüş kontrol ve LTG2 grupları için 15. günde, LTG1.2 grubu için ise 21. günde önemli hale gelmiştir ($P<0.05$). Ek olarak, bu sonuçlar, tat ve acımsılık parametreleri ile uyumluluk göstermiş ve depolama süresi boyunca ilerleyen proteoliz nedeniyle örneklerin kokusunda negatif yönde önemli değişiklikler oluşmuştur. Yine de, düşük miktarda enzim ilavesi ile bu

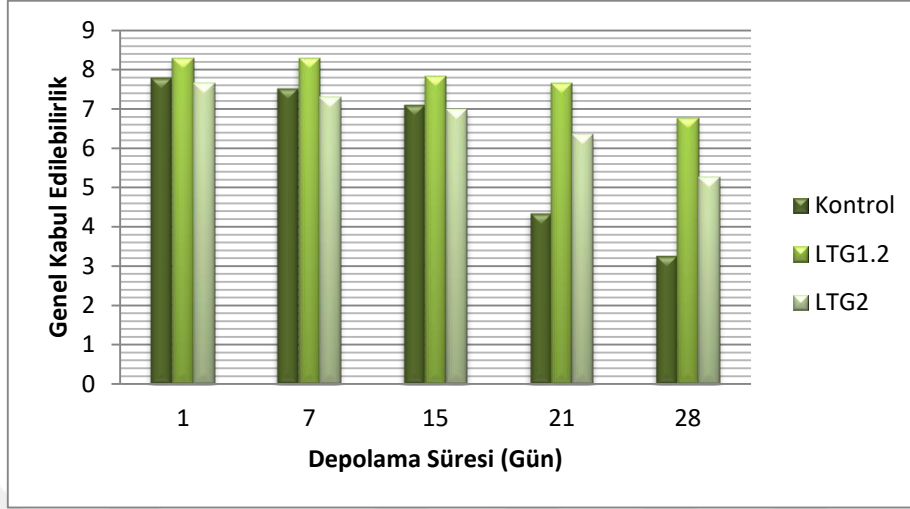
kötü koku oluşumu geciktirilmiş ve muhtemelen daha yüksek protein geri kazanımı nedeniyle, panelistler tarafından daha zengin bir süt ve peynir kokusu hissedildiği vurgulanmıştır. Enzim ilavesi ile koku kriterinde meydana gelen pozitif yönlü gelişmeler, farklı çalışmalarda da bildirilmiştir (Mahmood ve Sebo, 2009; Aloğlu ve Öner, 2013; Karzan ve diğerleri, 2016; Razeghi ve Yazdanpanah, 2020).



Şekil 4.30. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca koku skorlarında meydana gelen değişiklikler

Duyusal sonuçların bir bütünü olarak, lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca genel kabul edilebilirlik skorları 3,25-8,28 aralığında değişiklik göstermiştir. Depolamanın ilk 15 günü boyunca örnekler arasında istatistiksel bir fark bulunmasa da ($P>0.05$), LTG1.2 grubu diğer iki gruptan daha yüksek genel kabul edilebilirlik değerlerine sahip olmuştur. Ancak, depolamanın uzamasıyla aradaki fark önemli hale gelmiştir ($P<0.05$). Ayrıca, depolama süresi boyunca değerler sürekli olarak azalma göstermiş ve kontrol grubu en düşük değerlere sahip olurken, en yüksek değerler LTG1.2 grubunda tespit edilmiştir. Ek olarak, depolamanın 15. gününe kadar istatistiksel açıdan önemsiz ($P>0.05$) bir şekilde seyreden düşüş, kontrol ve LTG2 grupları için 21. günden itibaren önemli hale gelmiştir ($P<0.05$). Bundan farklı olarak, LTG1.2 grubunda depolamanın 1. gününe kıyasla yalnızca 28. günde kayda değer bir düşüş belirlenmiştir ($P<0.05$). Kolektif olarak bakıldığında, fizikokimyasal sonuçlardaki gelişmelerin yanı sıra enstrümental tekstür, reoloji ve duyusal analiz bulgularındaki gelişmeler de dikkate alınarak, düşük miktarda enzim ilavesinin hem endüstriyel hem de ürün kalitesi açısından son derece pozitif çıktılar verdiği gözlemlenmiştir. Lor peyniri üreticilerinin yaşadığı en büyük problem kısa raf ömrüdür. Dolayısıyla enzim ilavesi ile raf ömründe

sağlanan en az 1 haftalık gelişmenin endüstriyel ve tüketici açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.31. Farklı oranlarda enzim ihtiva eden lor peyniri örneklerinin depolama süresi boyunca genel kabul edilebilirlik skorlarında meydana gelen değişiklikler

4.8. Verim ve Maliyet Hesabı

PAS'ın lor peynirine işlenmesi sırasında ilave edilen TG enziminin son ürünün randımanına etkisi Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Buna göre, düşük miktarda enzim ilavesi sonucu yaklaşık 38 g (%8,63) artış olurken, enzim miktarının artırılması sonucu 26 g (%5,91) artış meydana gelmiştir. Bu bağlamda, düşük miktarda enzim kullanılması sonucu verimin artırılabilirliği, ancak enzim miktarının artması sonucu verimin azaldığı söylenebilir. Bu sonuçlarla uyumlu olarak, Cadavid ve diğerleri (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, TG enzimi ilavesi ile yarım yağlı inek sütünden üretilen lor benzeri peynirlerin veriminin kontrol grubuna kıyasla %19'a kadar arttığı bildirilmiş ve verimdeki bu artışların peynir üretimi sırasındaki kayıpların azaltılmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, araştırmacılar, verim artışını, enzimatik muamelenin tutulan su miktarı ve protein polimerizasyon seviyesi üzerine etkisinin yanı sıra peynir mikroyapısındaki değişiklikler ile ilişkilendirmiştir (Cadavid ve diğerleri, 2020). Benzer şekilde, Razeghi ve Yazdanpanah (2020), serbest ve enkapsüle TG enzimi ilavesinin beyaz peynirin verimini arttırdığını tespit etmiş ve bu artışı, enzim ilavesi sonucu süt protein molekülleri arasında kovalent bağlanma nedeniyle artan protein miktarı ile ilişkilendirmiştir. Karzan ve diğerleri (2016) tarafından yapılan başka bir çalışmada, TG enziminin keçi sütünden elde edilen PAS peynirinin verimi üzerindeki etkisi araştırılmış ve enzim ilavesi sonucu enzim konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak verimin arttığı bulunmuştur. Araştırmacılar, verimdeki bu artışın, toplam kurumadde ve toplam protein içeriğindeki artışın

yanı sıra PAS'ta bulunan proteinlerdeki azalmadan kaynaklı olduğunu öne sürmüştür (Karzan ve diğerleri, 2016).

Kazeinler, TG enzimi ile enzimatik reaksiyon için iyi substratlar olsa da sıkı yapıları nedeniyle globüler PAS proteinlerinin enzimatik reaksiyon için zayıf substratlar olduğu bilinmektedir (Gauche, Vieira, Oglari ve Bordignon-Luiz, 2008). Bununla birlikte, PAS proteinleri, indirgeyici ajanların varlığında veya bir ön ısıtma uygulandığında, aktif bölgeyi (sülfidril grupları) indirgenmiş hale getirerek enzimin NH₂ gruplarını erişimi arttırması nedeniyle, çapraz bağlanmaya karşı daha duyarlı hale getirdiği bildirilmektedir (Kuraishi, Yamazaki ve Susa, 2001). Dolayısıyla, üretim verimindeki bu artış, peynirin pıhtılaşma sürecinde kimozin etkisi altında kırılan ve PAS içerisinde çözünmüş halde kalan κ -kazeinin hidrofilik kısmının çapraz bağlanmasından kaynaklı da olabilir. Tolkach ve Kulozik (2005) ve Zhang ve Zhong (2009) κ -kazeinin bu kısmının TG enzimine karşı son derece reaktif olduğunu ve PAS proteinlerinin 50°C gibi bir sıcaklıkta ön ısıtılmasının, proteinlerin TG enzimine karşı erişilebilirliklerinin arttırılmasında önemli bir rol oynadığını bildirmiştir. Bunun sebebi, PAS proteinlerinin ısıtma sonucu denatürasyonundan kaynaklı olarak yapılarının açılması ve doğal formlarında erişilemez haldeki ek bölgelerinin erişilebilir hale gelmesidir (Jooyandeh, 2009). Bunun nihayetinde, verim artışı, ek kovalent bağlarla güçlendirilmiş serumun jel ağına bağlanmasındaki artış ve kazein ince taneciklerinin jel ağına dahil olması ile açıklanabilir (Bönisc ve diğerleri, 2008). Bu bilgiler ışığında, TG enzimi ilavesi sonucu lor peynirlerinin veriminde meydana gelen artış, PAS proteinlerinin koagülasyonu sırasında protein ve yağda meydana gelen kayıpların azalmasına ve kurumadadaki artışa, 50°C'deki ön ısıtma sonucu PAS proteinlerinin yapılarının açılarak enzim ile reaksiyona elverişli hale gelmesi nedeniyle proteinlerin çapraz bağlanmasına, daha güçlü bir jel ağı oluşumuna ve mikroyapıdaki değişikliklere bağlanabilir. Peynir endüstrisi için ürün veriminin artması, ekonomik verimliliğin yanı sıra çevresel açıdan da önem taşımaktadır. Endüstriyel bakış açısından, diğer yöntemler ile kıyaslandığında, lor peyniri üretimi sırasında TG enzimi kullanımının avantajları şu şekilde sıralanabilir; operasyonel kolaylık ve esneklik, herhangi bir ekipman veya cihaz gerektirmemesi, proses akışını değiştirmemesi, düşük doz gereksinimi ve yüksek reaksiyon seçiciliği (Özrenk, 2006).

Çizelge 4.11. Farklı oranlarda enzim ilavesi sonucu elde edilen verim artışı

Numune	Verim (g)	Verim (%)	Yüzdesel Artış (%)
Kontrol	440	5,500	-
LTG1.2	478	5,975	8,63
LTG2	466	5,825	5,91

Verim artışına dair elde edilen veriler süt endüstrisi açısından dikkate alındığında, TG enziminin lor peyniri üretiminde kullanımı ve sağlayacağı katkılar için temel bir hesaplama yapılabilir. Bu amaçla;

8 litre PAS: 0 g TG (Kontrol)

8 litre PAS: 1,2 g TG (LTG1.2)

6700 litre PAS için 1 kg TG katılması gerektiği ve

1 kg TG maliyeti yaklaşık 1700 ₺ olarak düşünüldüğünde:

Enzim ilave edilmediği takdirde 6700 litre PAS'tan yaklaşık 368 kg lor peyniri elde edilirken, 1 kg enzim ilave edildiği takdirde 6700 litre PAS'tan yaklaşık 400 kg lor peyniri elde edilebileceği düşünülmektedir. Buna göre, 6700 litre PAS için 1 kg enzim ilave edilerek kontrol grubuna kıyasla fazladan yaklaşık 32 kg lor peyniri elde edilebilmektedir. 1 kg yağlı lor peynirinin piyasa satış fiyatı 120 ₺ olarak baz alındığında, enzim ilavesi ile 6700 litre PAS'tan yaklaşık brüt olarak 3840 ₺, net olarak ise 2140 ₺ kar elde edilmesi ön görülmektedir. Bunun yanı sıra herhangi bir proses değişikliği ve yeni bir ekipman veya cihaz tedariki gerektirmemesi, son üründe olumsuz bir reaksiyon meydana getirmemesi, nispeten basit ve kolay kullanılabilmesi ve ürünün raf ömrünü ve duyuşsal karakteristiğini geliştirmesi, bu yöntemin avantajları olarak belirtilebilir. Son olarak, yıllık üretimde %0,1 gibi düşük bir artışın bile ekonomik sürdürülebilirlik üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu dikkate alındığında (McSweeney, 2007), bu tez çalışması sonucu elde edilen verim artışının son derece önemli olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Peynir endüstrisinin en önemli yan ürünü olan PAS, yüksek organik madde içeriği nedeniyle su kaynaklarına boşaltıldığı takdirde hem çevresel hem de ekonomik zararlara yol açmaktadır. Bununla birlikte, PAS, başta β -Lg ve α -La olmak üzere beslenme açısından önemli proteinlerin iyi bir kaynağı olarak kabul edilmekte ve protein izolatları ve konsantreleri gibi ürünlerin üretiminde hammadde görevi görmektedir. Ancak, bu izolat ve konsantrelerin üretimi için gerekli ekipman ve proseslerin yüksek yatırım maliyeti, yalnızca büyük süt işletmeleri tarafından karşılanabilmektedir. Aksine, küçük ve orta ölçekli süt işletmelerinde, PAS'ın bir kısmı hâlâ arıtılmadan boşaltılmakta ya da özellikle yerel işletmelerde, lor peyniri üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. PAS proteinlerinin yüksek sıcaklıklarda denatürasyonu ile üretilen lor peyniri, düşük yağ içeriği nedeniyle diyetetik bir ürün olarak görülmekte ve börek ve çörek gibi ürünlerde bir dolgu maddesi olarak kullanılmasının yanı sıra kahvaltılarda, bebek beslenmesinde ve sporcu atıştırmalıklarında tüketilmektedir. Ancak, lor peynirinin düşük ürün verimi ve kısa raf ömrü, endüstriyel üretimde en sık karşılaşılan 2 önemli problemdir. Lor peyniri üretiminde yalnızca tuz kullanıldığından ve herhangi bir pıhtılaştırıcı katılmadığından, ısıtma sonrası ürün yüzeyinde toplanan denatüre protein parçacıkları küçük olmakta ve düşük ürün verimi elde edilmektedir. Ayrıca, fermentasyona maruz bırakılmaması nedeniyle pH değerinin yüksek olmasının yanı sıra yüksek organik bileşen içeriği ve uygun olmayan hijyen koşullarında üretilebilmesi, mikrobiyal gelişim açısından uygun koşullar yaratarak mikrobiyal bozulma ve proteolitik acılaşmadan dolayı raf ömrü kısalmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, lor peyniri üretiminde ürün yapısını geliştirici ve ürün verimini artırma kapasitesine sahip TG enzimi kullanılmış ve üretilen örnekler vakum ambalajlanarak 4°C'de 28 günlük depolama süresi boyunca çeşitli analizlere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, özellikle düşük miktarda enzim ilavesi ile örneklerin kurumadde ve protein değerlerinde önemli bir artış meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak, kontrol grubuna kıyasla LTG1.2 grubunda %8,63, LTG2 grubunda ise %5,91 verim artışı elde edilmiştir. Ancak, enzim konsantrasyonundan bağımsız olarak, örneklerin kül ve renk değerlerinde ve mikrobiyolojik sayım sonuçlarında (TMAB) bir farklılık oluşmamıştır. Elektroforez sonucu elde edilen elektroforez profilleri incelendiğinde, enzim ilavesi ile çapraz bağlanma sonucu β -

Lg, α -La ve kazein proteinlerine karşılık gelen bantların yoğunluğunda bir azalma olduğu belirlenmiş ve özellikle düşük miktarda enzim katılan örnekte daha etkili bir çapraz bağlanma meydana geldiği bulunmuştur. Bu çapraz bağlanma reaksiyonlarının sonucunda, örneğin yapısı sıkılaşmış ve kıvamı gelişmiştir. Bu durum, tekstür profil analizi sonuçlarıyla desteklenmiş ve kontrol grubuna kıyasla daha yüksek sertlik, yapışkanlık, elastikiyet, koheziflik ve çiğnenebilirlik değerleri elde edilmiştir. Enzim ihtiva eden örnekler kendi içerisinde kıyaslandığında, düşük miktarda enzim ilavesi ile önemli ölçüde daha yüksek tekstür değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca, depolama süresi boyunca incelendiğinde, kontrol ve LTG2 grupları, depolamanın 15. gününe kadar yapısını koruyabilirken, LTG1.2 grubu ise 21 güne kadar korumuştur. Bu sonuçlar, dinamik reolojik analiz sonuçları ile paralellik göstermiş ve kontrol grubuna kıyasla enzim ihtiva eden örneklerin frekans taraması sonucu elde edilen G' ve G'' değerleri daha yüksek bulunmuştur. Lor peynirinde en önemli bozulmalardan biri, mikrobiyal proteazların proteolitik aktivitesi sonucu üründe acılaşıma meydana gelmesidir. Proteoliz sonucunda pH düşmekte ve asitlik artmaktadır. Yapı ve tekstürdeki bu gelişmeler, örneklerde daha sıkı bir yapı oluştuğunun göstergesi niteliğinde olup, bu sıkılaşıma, mikrobiyal kaynaklı proteazların substratlarına ulaşımını kısıtlamıştır. Bu durum, kontrol grubuna kıyasla LTG1.2 grubu için depolama süresi boyunca tespit edilen önemli ölçüde daha yüksek pH ve düşük asitlik değerleri ile desteklenmiştir. Ayrıca, bu sonuçlarla paralel olarak, duyuşal açıdan değerlendirilen örneklerde, özellikle LTG1.2 grubunda, depolama süresi boyunca daha iyi bir yapı oluştuğu, sinerezis olmadığı, daha fazla süt ve peynir aroması ve kokusu hissedildiği ve daha az acımsılık hissedildiği vurgulanmış ve bu örnek grubu, genel kabul edilebilirlik açısından önemli ölçüde daha yüksek puanlanmıştır. Süt ve peynir tadı ve kokusundaki gelişmelerin, enzim ilavesi ile çapraz bağlanma sonucu üretim sırasında daha fazla protein geri kazanımı sağlanarak, artan kurumadde ve protein miktarlarının yanı sıra yağ gibi bileşenlerin yapı içerisine hapsedilmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak, özellikle düşük miktarda enzim ilavesi sonucu çapraz bağlanma kaynaklı verim artışı ve yapısal gelişmelerin yanı sıra raf ömrünün en az 7 gün uzatılabileceği öne sürülmektedir.

Bu tez çalışmasında yürütölen analizler neticesinde, 75°C ve üzeri sıcaklıklarda inhibisyon gereksiniminin yanı sıra pıhtıda kalması ve pıhtılaştırıcı ile rekabete girmesi gibi faktörler nedeniyle sert peynirlerde kullanımı çok tercih edilmeyen TG enziminin, PAS'tan lor peyniri üretim prosesinde 85°C ve üzeri sıcaklıklarda ısıtılması gerektiği dikkate alınarak, proses dizaynında bir değışikliğe gitmeden, sadece belli sıcaklıkta enzimatik reaksiyon sağlanarak ürün veriminin artırılması ve raf ömrünün uzatılması mümkün gözökmektedir. Endüstriyel

Üretimde %0,1 gibi düşük bir artışın dahi yıllık çok önemli ıktıları olacağı faktörü göz önüne alındığında, düşük miktarda enzimin ürün veriminde %8,63'lk bir artış meydana getirmesi sayesinde, minimal enzim maliyeti ile üretim verimliliğinde ciddi bir gelişme sağlandığı söylenebilir. Bu çerçevede, bu tez çalışmasının hedeflerine ulaılmı, lor peyniri üretiminde proses verimliliği arttırılarak ve raf ömrü geliştirilerek, peynir marketi bazında ulusal üreticilerimizin ve ülkemizin rekabet gücüne katkıda bulunulmuştur.





KAYNAKLAR

- Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Ur Rahman, U., Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q., Pimentel, T. C., Scudino, H., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Almada, R. B., Vendramel, S. M. R., Silva, M. C. & Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 361-372.
- Akal, H. C. (2023). Transglutaminase induced whey cheese production: impact of different ratios on yield, texture, and sensory properties. *Mljekarstvo: časopis za Unaprjeđenje Proizvodnje i Prerade Mlijeka*, 73, 225-237.
- Akpınar, A., Yerlikaya, O., Akan, E., Karagozlu, C., Kinik, O. & Uysal, H. R. (2022). The effect of packaging materials on physicochemical, microbiological, and sensorial properties of Turkish whey (Lor) cheese with some plants. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, 1-10.
- Aloğlu, H. Ş. & Öner, Z. (2013). The effect of treating goat's milk with transglutaminase on chemical, structural, and sensory properties of labneh. *Small Ruminant Research*, 109, 31-37.
- Ando, H., Adachi, M., Umeda, K., Matsuura, A., Nonaka, M., Uchio, R., Tanaka, H. & Motoki, M. (1989). Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53, 2613-2617.
- Anli, E. A. (2020). Possibilities for using microwave-vacuum drying in Lor cheese production. *International Dairy Journal*, 102, 104618.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis, 15th edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C., USA.
- Argenta, A. B. & Sheer, A. D. P. (2019). Membrane separation processes applied to whey: A review. *Food Reviews International*, 36, 1-30.
- Arshad, U. T., Hassan, A., Ahmad, T., Naeem, M., Chaudhary, M. T., Abbas, S. Q., Randhawa, M. A., Pimentel, T. C., Cruz, A. G. & Aadil, R. M. (2023). A recent glance on the valorisation of cheese whey for industrial prerogative: high-value-added products development and integrated reutilising strategies. *International Journal of Food Science and Technology*, 58, 2001-2013.
- Aydogdu, T., O'Mahony, J. A. & McCarthy, N. A. (2023). pH, the fundamentals for milk and dairy processing: A review. *Dairy*, 4, 395-409.
- Bekiroğlu, H. (2023). *Süt proteinlerinin farklı enzimlerle hidrolizasyonu sonucu üretilen peptidlerin teknolojik ve fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi* (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bintsis, T. & Papademas, P. (2023). Sustainable approaches in whey cheese production: a review. *Dairy*, 4, 249-270.

- Bowland, E. L. & Foegeding, E. A.** (2001). Small strain oscillatory shear and microstructural analyses of a model processed cheese. *Journal of Dairy Science*, 84, 2372-2380.
- Bönisch, M. P., Heidebach, T. C. & Kulozik, U.** (2008). Influence of transglutaminase protein cross-linking on the rennet coagulation of casein. *Food Hydrocolloids*, 22, 288-297.
- Bönisch, M. P., Tolkach, A. & Kulozik, U.** (2006). Inactivation of an indigenous transglutaminase inhibitor in milk serum by means of UHT-treatment and membrane separation techniques. *International Dairy Journal*, 16, 669-678.
- Buchanan, D., Martindale, W., Romeih, E., & Hebishy, E.** (2023). Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. *International Journal of Dairy Technology*, 76, 291-312.
- Cadavid, A. & Bohigas, L.** (2019). Cheese analogue-making process using microbial transglutaminase: effects on texture and syneresis. *International Journal of Food Engineering*, 5, 104-110.
- Cadavid, A. M., Bohigas, L., Toldrà, M., Carretero, C., Parés, D. & Saguer, E.** (2020). Improving quark-type cheese yield and quality by treating semi-skimmed cow milk with microbial transglutaminase. *LWT*, 131, 109756.
- Castelli, H. & Du Vale, L.** (2013). Valorisation of whey in small and medium dairy industries: production and incorporation of liquid whey protein concentrates in fresh cheeses and evaluation of the physicochemical and sensorial properties. In H. Casteli, L. Du Vale (Eds.), *Handbook on cheese: production, chemistry and sensory properties* (1st ed., pp. 535-546). Hauppauge, New York, USA: Nova Science Publishers.
- Chen, G. Q., Leong, T. S., Kentish, S. E., Ashokkumar, M. & Martin, G. J.** (2019). Membrane separation in the dairy industry. In C. M. Galanakis (Ed.), *Separation of functional molecules in food by membrane technology* (1st ed., pp. 267-304). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Chevanan, N., Muthukumarappan, K., Upreti, P. & Metzger, L. E.** (2006). Effect of calcium and phosphorus, residual lactose and salt-to-moisture ratio on textural properties of cheddar cheese during ripening. *Journal of Texture Studies*, 37, 711-730.
- Clark, S. & Costello, M.** (2016). Dairy products evaluation competitions. In S. Clark, M. Costello, M.A. Drake, F. Bodyfelt (Eds.), *The sensory evaluation of dairy products* (1st ed., pp. 43-729). Springer Science Business Media.
- Considine, T., Patel, H. A., Anema, S. G., Singh, H. & Creamer, L. K.** (2007). Interactions of milk proteins during heat and high-hydrostatic-pressure treatments-a review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 1-23.
- Çelebi, M. & Şimşek, B.** (2020). Taze ve olgunlaşmış kaşar peynirlerinde bazı kimyasal ve tekstürel özelliklerin belirlenmesi. *Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25, 64-74.

- Darnay, L., Králik, F., Oros, G., Koncz, Á. & Firtha, F.** (2017). Monitoring the effect of transglutaminase in semi-hard cheese during ripening by hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering*, 196, 123-129.
- Date, M., Yokoyama, K., Umezawa, Y., Matsui, H. & Kikuchi, Y.** (2003). Production of native-type *Streptoverticillium mobarensense* transglutaminase in *Corynebacterium glutamicum*. *Applied & Environmental Microbiology*, 69, 3011-3014.
- Dattatreya, A. & Rankin, S. A.** (2006). Moderately acidic pH potentiates browning of sweet whey powder. *International Dairy Journal*, 16, 822-828.
- Dinika, I., Verma, D. K., Balia, R., Utama, G. L. & Patel, A. R.** (2020). Potential of cheese whey bioactive proteins and peptides in the development of antimicrobial edible film composite: A review of recent trends. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 57-67.
- Domagała, J., Pluta-Kubica, A., Wieteska-Śliwa, I. & Duda, I.** (2022). The influence of milk protein cross-linking by transglutaminase on technology, composition and quality properties of Gouda-type cheese. *International Dairy Journal*, 130, 105364.
- Donato, L. & Guyomarc'h, F.** (2009). Formation and properties of the whey protein/κ-kazein complexes in heated skim milk – A review. *Dairy Science & Technology*, 89, 3-29.
- Donovan, M. & Mulvihill, D. M.** (1987). Thermal denaturation and aggregation of whey proteins. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 11, 87-100.
- Duarte, R., Moreira, S. A., Fernandes, P. A. R., Santos, D., Inacio, R. S., Alves, S. P., Bessa, R. J. B. & Saraiva, J. A.** (2017). Whey cheese longer shelf-life achievement at variable uncontrolled room temperature and comparison to refrigeration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e13307.
- Dullius, A., Goetttert, M. I. & De Souza, C. F. V.** (2018). Whey protein hydrolysates as a source of bioactive peptides for functional foods-Biotechnological facilitation of industrial scale-up. *Journal of Functional Foods*, 42, 58-74.
- Ekin, D.** (2016). *Probiyotik lor peyniri üretiminde modifiye atmosfer paketlenmenin (MAP) ürünün raf ömrü ve kalite özellikleri üzerine etkisi.* (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Elgami, N. B., Nasse, A. A., Hassabo, R. M. & Basiony, M. M.** (2023). Improvement of physicochemical properties of ricotta cheese fortified with curcumin. *Egyptian Journal of Food Science*, 51, 91-99.
- Farrag, A. F., Zahran, H., Al-Okaby, M. F., El-Sheikh, M. M. & Soliman, T. N.** (2020). Physicochemical properties of white soft cheese supplemented with encapsulated olive phenolic compounds. *Egyptian Journal of Chemistry*, 63, 2921-2931.
- FDA** (2001a). Food and Drug Administration – Aerobic plate count. *Bacteriological Analytical Manual*, Chapter 3.
- FDA** (2001b). Food and Drug Administration – Yeasts, molds and mycotoxins. *Bacteriological Analytical Manual*, Chapter 18.

- FDA** (2001c). Food and Drug Administration – Enumeration of *Escherichia coli* and the coliform bacteria. *Bacteriological Analytical Manual*, Chapter 4.
- Fee, C.J., Billakanti, J. & Saufi, S.** (2013). Methods for purification of dairy nutraceuticals. In S.S.H. Rizvi (Ed.), *Separation, extraction and concentration processes in the food, beverage and nutraceutical industries* (1st ed., pp. 1148-1180). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Fişekçi, B.** (2013). *Lor peynirinin raf ömrü üzerine modifiye atmosfer paketlenmenin ve CO₂ uygulamasının etkilerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. & McSweeney, P. L. H.** (2017). Whey and whey products. In P.F. Fox, T.P. Guinee, T. M. Cogan, P.L.H. McSweeney (Eds.), *Fundamentals of cheese science* (2nd ed., pp. 755-770). New York, USA: Springer.
- García-Gómez, B., Vázquez-Oderiz, L., Muñoz-Ferreiro, N., Romero-Rodríguez, M. A. & Vázquez, M.** (2020). Rennet type and microbial transglutaminase in cheese: effect on sensory properties. *European Food Research and Technology*, 246, 513-526.
- García-Gómez, B., Vázquez-Oderiz, M. L., Muñoz-Ferreiro, N., Romero-Rodríguez, M. A. & Vázquez, M.** (2019). Interaction between rennet source and transglutaminase in white fresh cheese production: effect on physicochemical and textural properties. *LWT – Food Science and Technology*, 113, 108279.
- Gauche, C., Vieira, J. T. C., Ogliari, P. J. & Bordignon-Luiz, M. T.** (2008). Crosslinking of milk whey proteins by transglutaminase. *Process Biochemistry*, 43, 788-794.
- Gauche, C., Vieira, J. T. C., Ogliari, P. J. & Bordignon-Luiz, M. T.** (2008). Crosslinking of whey proteins by transglutaminase. *Process Biochemistry*, 43, 788-794.
- Gierczynski, I., Guichard, E. & Laboure, H.** (2010). Aroma perception in dairy products: the roles of texture, aroma release and consumer physiology. A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 26, 141-152.
- Guichard, E.** (2002). Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food Reviews International*, 18, 49-70.
- Gunasekaran, S. & Ak, M. M.** (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods – selected applications. *Trends in Food Science & Technology*, 11, 115-127.
- Gunasekaran, S. & Methmet, A. K. M.** (2003). *Cheese rheology and texture* (1st ed., 456 pages). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Gül, U.** (2023). *Sürülebilir lor peyniri üretimi* (Yüksek lisans tezi). Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Han, X. Q., Pfeifer, J. K., Lincourt, R. H. & Schuerman, J. M.** (2003). Process for making a cheese product using transglutaminase. US Patent No. 0054069A1.
- Hassan, A. N. & Frank, J. F.** (2001). Starter cultures and their use in applied dairy microbiology. In E.H. Marth, J.L. Steele (Eds.), *Applied dairy microbiology* (2nd ed., pp. 151-206). New York, USA: CRC Press.

- Hebishy, E., Nagarajah, J., Thompson, L. S., Shennan, S., Best, L., Ajayi, O. M., Iheozor-Eijofor, P. & Onarinde, B. A.** (2022). Impact of microbial transglutaminase and cooking time on functional properties of mozzarella cheese analogues. *International Journal of Dairy Technology*, 75, 201-213.
- Hernández-Ledesma, B., Ramos, M. & Gómez-Ruiz, J. Á.** (2011). Bioactive components of ovine and caprine cheese whey. *Small Ruminant Research*, 101, 196-204.
- Hu, Y. N., Ge, K. S., Jang, L., Guo, H. Y., Luo, J., Wang, F. & Ren, F. Z.** (2013). Effect of transglutaminase on yield, compositional and functional properties of low-fat Cheddar cheese. *Food Science and Technology Research*, 19, 359-367.
- Imm, J. Y. & Lian, P.** (2000). Gelation and water binding properties of transglutaminase-treated skim milk powder. *Journal of Food Science*, 65, 200-205.
- Irkin, R.** (2011). Shelf-life of unsalted and light “Lor” whey cheese stored under various packaging conditions: microbiological and sensory attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35, 163-178.
- Jaros, D., Partschefeld, C., Henle, T. & Rohm, H.** (2006). Transglutaminase in dairy products: Chemistry, physics, applications. *Journal of Texture Studies*, 37, 113-155.
- Jelen, P.** (2011). Whey processing – Utilization and products. In H. Roginski, J.W. Fuquay, P.F. Fox (Eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2nd ed., pp. 731-737). Academic Press.
- Jeličić, I., Božanić, R. & Tratnik, L.** (2008). Whey based beverages-new generation of dairy products. *Mljekarstvo*, 58, 257-274.
- Jooyandeh, H.** (2009). Effect of fermented whey protein concentrate on texture of Iranian whey cheese. *Journal of Texture Studies*, 40, 497-510.
- Jovanović, S., Barać, M. & Maćej, O.** (2005). Whey proteins-properties and possibility of application. *Mljekarstvo*, 55, 215-233.
- Kahyaoglu, T. & Kaya, S.** (2003). Effects of heat treatment and fat reduction on the rheological and functional properties of Gaziantep cheese. *International Dairy Journal*, 13, 867-875.
- Kahyaoglu, T. & Kaya, S.** (2003). Effects of heat treatment and fat reduction on the rheological and functional properties of Gaziantep cheese. *International Dairy Journal*, 13, 867-875.
- Kamber, U.** (2007). The traditional cheeses of Turkey: cheeses common to all regions. *Food Reviews International*, 24, 1-38.
- Kaminarides, S., Zagari, H. & Zoidou, E.** (2020). Effect of whey fat content on the properties and yields of whey cheese and serum. *Journal of Hellenic Veterinary Medical Society*, 71, 2149-2156.
- Kapoor, R. & Metzger, L. E.** (2008). Process cheese: scientific and technological aspects – Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 194-214.

- Karzan, T. M., Nawal, H. S. & Ashna, T. A.** (2016). The effect of microbial transglutaminase enzyme on some physicochemical and sensory properties of goat's whey cheese. *International Food Research Journal*, 23, 688-693.
- Koca, N. & Metin, M.** (2004). Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers. *International Dairy Journal*, 14, 365-373.
- Kopuk, B.** (2022). *Ultrason destekli kristalizasyon ile çiğnenebilir şekerleme prosesi geliştirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Krešić, G., Lelas, V., Jambrak, A. R., Herceg Z. & Brnčić, S. R.** (2008). Influence of novel food processing technologies on the rheological and thermophysical properties of whey proteins. *Journal of Food Engineering*, 87, 64-73.
- Kuraishi, C., Yamazaki, K. & Susa, Y.** (2001). Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 2, 221-246.
- Li, H., Liu, Y., Sun, Y., Li, H. & Yu, J.** (2019). Properties of polysaccharides and glutamine transaminase used in mozzarella cheese as texturizer and crosslinking agents. *LWT*, 99, 411-416.
- Lorenzen, P. C., Neve, H., Mautner, A. & 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.
- Macedo, A., Duarte, E. & Pinho, M.** (2011). The role of concentration polarization in ultrafiltration of ovine cheese whey. *Journal of Membrane Science*, 381, 31-40.
- Madadlou, A., Khosroshahi, A., Musavi, E. Z. M. & Djomeh, Z. E.** (2006). Microstructure and rheological properties of Iranian white cheese coagulated at various temperatures. *Journal of Dairy Sciences*, 89, 2359-2364.
- Madureira, A. R., Pintado, A. I., Gomes, A. M., Pintado, M. E. & Malcata, F. X.** (2011). Rheological textural and microstructural features of probiotic whey cheeses. *LWT – Food Science and Technology*, 44, 75-81.
- Madureira, A., Tavares, T., Gomes, A. M., Pintado, M. & Malcata, F. X.** (2010). Physiological properties of bioactive peptides obtained from whey proteins. *Journal of Dairy Science*, 93, 437-455.
- Mahmood, W. A. & Sebo, N. H.** (2009). Effect of microbial transglutaminase treatment on soft cheese properties. *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 37, 1-11.
- Mangano, K. M., Bao, Y. & Zhao, C.** (2019). Nutritional properties of whey proteins. In M. Guo (Ed.), *Whey protein production, chemistry, functionality, and applications* (1st ed., pp. 103-140). Oxford, England: John Wiley & Sons Ltd.
- McSweeney, P. L. H.** (2007). Cheese problems solved. In P.L.H. McSweeney (Ed.), *Cheese problems solved* (1st ed., pp. 100-114). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

- Mestdagh, F., Kerkaert, B., Cucu, T. & De Meulenaer, B.** (2011). Interaction between whey proteins and lipids during light-induced oxidation. *Food Chemistry*, 126, 1190-1197.
- Mollea, C., Marmo, L. & Bosco, F.** (2013). Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry. In I. Muzzalupo (Ed.), *Food Industry*. Intechopen.
- Monsalve-Atencio, R., Sanchez-Soto, K., Chica, J., Echavarría, J. A. C. & Vega-Castro, O.** (2022). Interaction between phospholipase and transglutaminase in the production of semi-soft fresh cheese and its effect on the yield, composition, microstructure and textural properties. *LWT*, 154, 112722.
- Mutlu, S., Kopuk, B. & Palabiyik, I.** (2023). Effect of cold atmospheric pressure argon plasma jet treatment on the freeze-dried mucilage of chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Foods*, 12, 1563.
- Ortiz Araque, L. C., Darré, M., Ortiz, C. M., Massolo, J. F. & Vicente, A. R.** (2017). Quality and yield of Ricotta cheese as affected by milk fat content and coagulant type. *International Journal of Dairy Technology*, 71, 340-346.
- Ostertag, F., Schmidt, C. M., Berensmeier, S. & Hinrichs, J.** (2021). Development and validation of an RP-HPLC DAD method for the simultaneous quantification of minor and major whey proteins. *Food Chemistry*, 342, 128176.
- Ozrenk, E.** (2006). The use of transglutaminase in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 59, 1-7.
- Özer, B., Hayaloglu, A. A., Yaman, H., Gürsoy, A. & Şener, L.** (2013). Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production. *International Dairy Journal*, 33, 129-134.
- Özrenk, E.** (2006). The use of transglutaminase in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 59, 1-10.
- Panesar, P. S., Kennedy, J. F., Gandhi, D. N. & Bunko, K.** (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry*, 105, 1-14.
- Papademas, P., Bintsis, T., Alichanidis, E. & Ardö, Y.** (2018). Whey cheeses (heat coagulated). In P. Papademas, T. Bintsis (Eds.), *Global cheesemaking technology* (1st ed., pp. 446-451). Oxford, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Pereira, C. D., Diaz, O. & Cobos, A.** (2002). Valorization of by-products from ovine cheese manufacture: clarification by thermocalcic precipitation/microfiltration before ultrafiltration. *International Dairy Journal*, 12, 773-783.
- Pereira, P. C. & Vicente, F.** (2018). Milk nutritive role and potential benefits in human health. In R.R. Watson, R.J. Collier, V.R. Preedy (Eds.), *Nutrients in dairy and their implications for health and disease* (1st ed., pp. 161-176). Academic Press.
- Pierro, P. D., Mariniello, L., Sorrentino, A., Giosafatto, C. V. L., Chianese, L. & Porta, R.** (2010). Transglutaminase-induced chemical and rheological properties of cheese. *Food Biotechnology*, 24, 107-120.
- Pihlanto, A.** (2011). Whey proteins and peptides: Emerging properties to promote health. *Nutrafoods*, 10, 29-42.

- Pires, A. F., Marnotes, N. G., Rubio, O. D., Garcia, A. C. & Pereira, C. D.** (2021). Dairy by-products: a review on the valorization of whey and second cheese whey. *Foods*, 10, 1067.
- Razeghi, F. & Yazdanpanah, S.** (2020). Effects of free and encapsulated transglutaminase on the physicochemical, textural, microbial, sensorial and microstructural properties of white cheese. *Food Science and Nutrition*, 8, 3750-3758.
- Ricciardi, F. E., Del Nobile, M. A., Conte, A., Fracassi, F. & Sardella, E.** (2022). Effects of plasma treatment applied to fresh ricotta cheese. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 76, 102935.
- Ricciardi, F. E., Plazzotta, S., Conte, A. & Manzocco, L.** (2021). Effect of pulsed light on microbial inactivation, sensory properties and protein structure of fresh ricotta cheese. *LWT – Food Science and Technology*, 139, 110556.
- Rivas, J., Prazeres, A. R., Carvalho, F. & Beltrán, F.** (2010). Treatment of cheese whey wastewater: combined coagulation-flocculation and aerobic biodegradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 7871-7877.
- Rojas, V. M., Inácio, A. G., Fernandes, I. P. M., Leimann, F. V., Gozzo, A. M., Fuchs, R. H. B., Barreiro, M. F. F., Barros, L., Ferreira, I. C. & Tanamati, A. A. C.** (2020). Whey protein supplement as a source of microencapsulated PUFA-rich vegetable oils. *Food Bioscience*, 37, 100690.
- Romeih, E. & Walker, G.** (2017). Recent advances on microbial transglutaminase and dairy application. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 133-140.
- Ryan, M. P. & Walsh, G.** (2016). The biotechnological potential of whey. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15, 479-498.
- Salvatore, E., Pes, M., Falchi, G., Pagnozzi, D., Furesi, S., Fiori, M., Roggio, T., Addis, M. F. & Pirisi, A.** (2014). Effect of whey concentration on protein recovery in fresh ovine ricotta cheese. *Journal of Dairy Science*, 97, 4686-4694.
- Sameer, B., Ganguly, S., Khetra, Y. & Sabikhi, L.** (2020). Development and characterization of probiotic buffalo milk ricotta cheese. *LWT – Food Science and Technology*, 121, 108944.
- Sayadi, A., Madadlou, A. & Khosrowshahi, A.** (2013). Enzymatic cross-linking of whey proteins in low fat Iranian white cheese. *International Dairy Journal*, 29, 88-92.
- Seyed-Moslemi, S. A., Hesari, J., Peighambaroust, S. H. & Peighambaroust, S. J.** (2021). Effect of microbial lipase and transglutaminase on the textural, physicochemical, and microbial parameters of fresh quark cheese. *Journal of Dairy Science*, 104, 7489-7499.
- Shamsia, S. M. & El-Ghannam, M.** (2017). Production and evaluation of processed cheese analogue using ricotta cheese prepared from sweet whey. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 14, 1-11.
- Sharma, R., Lorenzen, P. & Qvist, K.** (2001). Influence of transglutaminase treatment of skim milk on the formation of ϵ -(γ -glutamyl) lysine and susceptibility of individual proteins towards crosslinking. *International Dairy Journal*, 11, 785-793.

- Sönmez, A., İncili, G. K. & Çalıcıoğlu, M.** (2019). Elazığ ilinde vakum ambalajlı ve açıkta satışı sunulan lor peynirlerinin kimyasal özelliklerinin ve mikrobiyolojik kalitesinin değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 33, 169-175.
- Şeker, F. D.** (2024). *Bazı bitki ekstraktlarının koyun sütünden üretilen yağsız lor peynirinde antifungal ajan olarak kullanılması ve raf ömrü üzerine etkilerinin araştırılması*. (Doktora tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Tarrega, A., Yven, C., Sémon, E. & Salles, C.** (2008). Aroma release and chewing activity during eating different model cheeses. *International Dairy Journal*, 18, 849-857.
- Taylor, A. J.** (2002). Release and transport of flavors *in vivo*: physicochemical, physiological, and perceptual considerations. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1, 45-57.
- Temiz, H., Aykut, U. & Hurşit, A. K.** (2009). Shelf life of Turkish whey cheese (Lor) under modified atmosphere packaging. *International Journal of Dairy Technology*, 62, 378-386.
- Tolkach, A. & Kulozik, U.** (2005). Fractionation of whey proteins and caseinomacropeptide by means of enzymatic crosslinking and membrane separation techniques. *Journal of Food Engineering*, 67, 13-20.
- Topcu, A., Bulat, T. & Ozer, B.** (2020). Process design for processed Kashar cheese (a pasta-filata cheese) by means of microbial transglutaminase: Effect on physical properties, yield and proteolysis. *Lwt – Food Science and Technology*, 125, 109226.
- Torabi, F., Jooyandeh, H. & Noshad, M.** (2021). Evaluation of physicochemical, rheological, microstructural, and microbial characteristics of synbiotic ultrafiltrated white cheese treated with transglutaminase. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, 15572.
- Toro-Sierra, J., Tolkach, A. & Kulozik, U.** (2013). Fractionation of α -lactalbumin and β -lactoglobulin from whey protein isolate using selective thermal aggregation, an optimized membrane separation procedure and resolubilization techniques at pilot plant scale. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1032-1043.
- Tostivint, C., De Veron, S., Jan, O., Lanctuit, H., Hutton, Z. V. & Loubière, M.** (2017). Measuring food waste in a dairy supply chain in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 145, 221-231.
- Tunick, M. H., Van, Hekken, D. L., Iandola, S. K. & Tomasula, P. G.** (2012). Characterization of queso fresco during storage at 4 and 10°C. *Journal of Food Research*, 1, 308.
- TÜİK** (2024). Türkiye İstatistik Kurumu Süt ve Süt Ürünleri Üretimi İstatistikleri. (Erişim tarihi; 11.04.2025)
- Urgu-Ozturk, M.** (2022). Possibilities of using the continuous type of UV light on the surface of lor (whey) cheese: Impacts on mould growth, oxidative stability,

sensory and colour attributes during storage. *Journal of Dairy Research*, 89, 335-341.

Url-1 <<http://www.trademap.org>>, erişim tarihi 11.04.2025.

- Uysal, C. A. (2022). *Lor peyniri üretiminde peyniraltı suyuna fermente süt ilavesinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Venetsaneas, N., Antonopoulou, G., Stamatelatos, K., Kornaros, M. & Lyberatos, G. (2009). Using cheese whey for hydrogen and methane generation in a two-stage continuous process with alternative pH controlling approaches. *Bioresource Technology*, 100, 3713-3717.
- Wagner, J., Billiaderis, C. G. & Moschakis, T. (2020). Whey proteins: Musings on denaturation, aggregate formation and gelation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60, 3793-3806.
- Wendin, K., Langton, M., Caous, L. & Hall, G. (2000). Dynamic analyses of sensory and microstructural properties of cream cheese. *Food Chemistry*, 71, 363-378.
- Wijayanti, H. B., Bansal, N. & Deeth, H. C. (2014). Stability of whey proteins during thermal processing: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Technology*, 13, 1235-1251.
- Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D. & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: a potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33, 756-774.
- Yalçın, O. (2016). *Lor peynirine probiyotik bakteri ilavesinin ürünün mikrobiyal ve duyuşal kalitesi üzerine etkilerinin araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Yokoyama, K., Nio, N. & Kikuchi, Y. (2004). Properties and applications of microbial transglutaminase. *Applied Microbiology & Biotechnology*, 64, 447-454.
- Zandona, E., Blažić, M. & Jambrak, A. R. (2021). Whey utilization: Sustainable uses and environmental approach. *Food Technology and Biotechnology*, 59, 147-161.
- Zhang, W. & Zhong, Q. (2009). Microemulsions as nanoreactors to produce whey protein nanoparticles with enhanced heat stability by sequential enzymatic cross-linking and thermal pretreatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 9181-9189.