

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

***Bifidobacterium bifidum* BB-12 ve *Lactobacillus rhamnosus* GG İÇEREN
YENİLEBİLİR FİLMLEİN GELİŞTİRİLMESİ VE KAPLAMA
MATERYALİ OLARAK DİLİMLENMiŞ ERİTME PEYNİRİNDE
KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Huriye Gözde CEYLAN

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
2.1. Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar	5
2.2. Yenilebilir Filmler ve Kaplamaların Tarihçesi	6
2.3. Yenilebilir Filmler ve Kaplamaların Fonksiyonları	7
2.4. Yenilebilir Film ve Kaplama Üretiminde Kullanılan Ana Bileşenler	9
2.4.1. Protein esaslı filmler ve kaplamalar	10
2.4.2. Karbonhidrat esaslı filmler ve kaplamalar	11
2.4.3. Lipit esaslı yenilebilir filmler ve kaplamalar	12
2.4.4. Kompozit esaslı yenilebilir filmler ve kaplamalar	13
2.5. Yenilebilir Film ve Kaplama Üretiminde Kullanılan Yardımcı Bileşenler	14
2.5.1. Çözücüler	14
2.5.2. Plastikleştiriciler	14
2.5.3. Diğer yardımcı bileşenler	15
2.6. Yenilebilir Film ve Kaplama Hazırlama Yöntemleri	17
2.7. Yenilebilir Film ve Kaplama Uygulama Yöntemleri	18
2.8. Probiyotikler	20
2.9. Prebiyotikler	21
2.10. Yenilebilir Filmlerde ve Kaplamalarda Probiyotik ve Prebiyotiklerin Kullanımı	22
2.10.1. Yenilebilir filmlerde probiyotik mikroorganizmaların canlılığı	26
2.11. Yenilebilir Filmlerin ve Kaplamaların Peynirlerde Kullanımı	30
2.12. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi TOPSIS	33
3. MATERYAL ve YÖNTEM	35
3.1. Materyal	35
3.1.1. Mikroorganizmalar, besiyerleri ve dilüsyon sıvıları	35
3.2. Yöntem	36
3.2.1. Probiyotik kültürlerin hazırlanması, çoğaltılması ve ayrılması	36
3.2.2. Film çözeltisinin hazırlanması ve film üretimi	37
3.2.3. Film çözeltisinde yapılan analizler	38
3.2.4. Film çözeltisinde ve filmde probiyotik bakteri sayımı	38
3.2.5. Film analizleri	39
3.2.5.1. Ağırlık	39
3.2.5.2. Kalınlık	39
3.2.5.3. Nem içeriği	39
3.2.5.4. Işık bariyer özellikleri	39
3.2.5.5. Mekaniksel özellikler	40
3.2.6. TOPSIS yöntemi ile en iyi film formülasyonunun belirlenmesi	41
3.2.7. TOPSIS yöntemi ile belirlenen en iyi filmlerin karakterizasyonu	43
3.2.7.1. Kalınlık	43
3.2.7.2. Suda çözünürlük	43
3.2.7.3. Su buharı geçirgenliği	44
3.2.7.4. Oksijen geçirgenliği	44
3.2.7.5. Renk özellikleri	45
3.2.7.6. Mikroyapısal özellikler	45
3.2.7.7. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	45
3.2.7.8. Filmlerde depolama boyunca probiyotik canlılığı	45

3.2.8. Peynirin en iyi film formülasyonları ile kaplanması	46
3.2.9. Peynir örneklerinde yapılan analizler	47
3.2.9.1. pH tayini	47
3.2.9.2. Titrasyon asitliği tayini	47
3.2.9.3. Nem tayini	47
3.2.9.4. Yağ analizi	47
3.2.9.5. Protein tayini	48
3.2.9.6. Su aktivitesi tayini	48
3.2.9.7. Ağırlık kaybı	48
3.2.9.8. Renk analizi	48
3.2.9.9. Tekstür profili analizi	49
3.2.9.10. Peynirde depolama boyunca probiyotik bakteri canlılığı	49
3.2.9.11. Duyusal analiz	49
3.2.10. İstatistiksel analizler	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	51
4.1. <i>B. bifidum</i> BB-12 ve <i>L. rhamnosus</i> GG İçeren Filmlerin Özellikleri	51
4.1.1. Film ağırlığı	51
4.1.2. Film kalınlığı	53
4.1.3. Film nem içeriği	57
4.1.4. Film ışık bariyer özellikleri	61
4.1.5. Film mekaniksel özellikleri	64
4.1.6. Filmde kuruma sonrası probiyotik bakteri canlılığı	73
4.1.7. TOPSIS yöntemi ile filmlerde en iyi FOS ve IN konsantrasyonunun belirlenmesi	80
4.2. TOPSIS Yöntemi ile En İyi Alternatif Olarak Belirlenen Filmlerin Karakterizasyonu	82
4.2.1. Kalınlık	82
4.2.2. Suda çözünürlük	84
4.2.3. Su buharı geçirgenliği	86
4.2.4. Oksijen geçirgenliği	89
4.2.5. Renk özellikleri	90
4.2.6. Mikroyapısal özellikler	93
4.2.7. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	98
4.2.8. Filmlerde depolama boyunca probiyotik bakteri canlılığı	102
4.3. Kaplanmış Peynirlerin Özellikleri	108
4.3.1. pH değeri	108
4.3.2. Titrasyon asitliği	111
4.3.3. Ağırlık kaybı	113
4.3.4. Nem	116
4.3.5. Su aktivitesi	118
4.3.6. Renk analizi	121
4.3.6.1. L^* değeri	121
4.3.6.2. a^* değeri	124
4.3.6.3. b^* değeri	126
4.3.6.4. Beyazlık indeksi (WI) değeri	127
4.3.6.5. Sarılık indeksi (YI) değeri	129
4.3.6.6. Chroma (C^*) değeri	132
4.3.6.7. Hue (h°) değeri	133
4.3.6.8. ΔE değeri	135
4.3.7. Tekstür profili analizi	138
4.3.7.1. Sertlik (Hardness)	138
4.3.7.2. Dış yapışkanlık (Adhesiveness)	142
4.3.7.3. Elastikiyet (Springiness)	144
4.3.7.4. İç yapışkanlık (Cohesiveness)	147
4.3.7.5. Çiğnenebilirlik (Chewiness)	149
4.3.8. Depolama boyunca peynir örneklerinde probiyotik bakteri canlılığı	151
4.3.9. Duyusal analiz	157
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	160
5.1. Sonuçlar	160
5.2. Öneriler	169

KAYNAKLAR	171
EKLER.....	190
EK 1. Eritme peynir üretimi.....	190
EK 2. Taze peynirin bileşimi	191
EK 3. Peynir dilimlerinin kaplanması	192
EK 4. Duyusal değerlendirme formu	193



ÖZET

Doktora Tezi

***Bifidobacterium bifidum* BB-12 ve *Lactobacillus rhamnosus* GG İÇEREN YENİLEBİLİR FİLMLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE KAPLAMA MATERYALİ OLARAK DİLİMLENMİŞ ERİTME PEYNİRİNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Huriye Gözde CEYLAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Ferit ATASOY
YIL: 2022, Sayfa: 197

Bu çalışma, sodyum kazeinat esaslı *Bifidobacterium bifidum* BB-12 ve *Lactobacillus rhamnosus* GG içeren yenilebilir filmler için en uygun fruktooligosakkarit ve inülin konsantrasyonunun belirlenmesi, optimize filmlerin karakterizasyonu ve en iyi film formülasyonları ile kaplanan dilimlenmiş Eritme peynirlerinin depolama sırasında bazı özelliklerinin incelenmesi olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Formülasyona FOS ve IN ilavesinin genel olarak filmlerin kalınlık ve nem değerlerinde artışa neden olduğu saptanmıştır. IN konsantrasyonunun artışına paralel olarak örneklerin opaklık değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Formülasyondaki FOS ve IN oranlarındaki artışa bağlı olarak filmlerin gerilme direnci değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ancak, FOS içeren örneklerde %1'den fazla IN ilavesinin ve %2-3 IN içeren örneklerde FOS ilavesinin film elastikiyetinde azalmaya neden olduğu saptanmıştır. *B. bifidum* BB-12'nin kuruma sonrası canlılık değerlerinin FOS ve IN ilavesi ile arttığı, *L. rhamnosus* GG'nin kuruma sonrası canlılık değerlerinin ise toplam prebiyotik konsantrasyonun yüksek olması durumunda azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, her iki probiyotik bakteriyi içeren örneklerde %0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN en iyi film formülasyonları olarak belirlenmiştir. En iyi filmlerin şeffaf renkte ve benzer bariyer özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen film formülasyonlarındaki bileşenlerin iyi bir uyumluluk gösterdiği ve bakteri hücrelerinin film matrisinde homojen şekilde dağıldığı tespit edilmiştir. Ancak, ilave edilen probiyotiklerin az da olsa pürüzlü yüzey oluşumuna neden olduğu saptanmıştır. Bunlara ek olarak, *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin raf ömürleri 51-98 gün aralığında belirlenmiştir. Ancak, FOS ve IN ilavesinin probiyotiklerin depolama stabiliteelerini azalttığı saptanmıştır. FOS ve IN ilavesinin probiyotik stabilitesi üzerindeki etkisine rağmen, filmlerin raf ömrü değerlerinin yüksek olması sebebiyle belirlenen en iyi film formülasyonlarının *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG için uygun birer taşıyıcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kaplama uygulamalarının depolama boyunca peynirden ağırlık kaybını sınırladığı tespit edilmiştir. Depolama süresince peynir renginin ve yapısının (sertliğinin) korunmasında kaplama uygulamalarının etkili olduğu saptanmıştır. Bunlara ek olarak, kaplama uygulamalarının peynirin duysal kabul edilebilirliği üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmadığı belirlenmiştir. Depolama sonunda peynir örneklerinin probiyotik canlı sayılarının 5-6 log kob/g ve tahmini raf ömrü değerlerinin 14-20 gün aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, uzun raf ömrüne sahip peynirlerin probiyotikli ürün haline getirilmesi amacıyla probiyotik içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının istenilen düzeyde etkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Yenilebilir film, *Bifidobacterium bifidum* BB-12, *Lactobacillus rhamnosus* GG, Prebiyotik, Eritme peyniri

ABSTRACT

PhD Thesis

DEVELOPMENT OF EDIBLE FILMS CONTAINING *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus rhamnosus* GG AND INVESTIGATION OF USAGE POSSIBILITIES IN SLICED PROCESSED CHEESE AS COATING MATERIAL

Huriye Gözde CEYLAN

Harran University
Institute of Science and Technology
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Ferit ATASOY
Year: 2022, Page: 197

This study was carried out in three stages: determination of optimal fructooligosaccharide and inulin concentration for sodium caseinate-based edible films containing *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus rhamnosus* GG, characterization of optimized films, and investigation of some properties of sliced processed cheeses coated with the best film formulations during storage.

The addition of FOS and IN generally caused an increase in the thickness and moisture values of the films. The opacity values of the samples increased in parallel with the increase in the IN concentration. It was determined that the tensile strength values of the films increased depending on the increase in the FOS and IN in the formulation. However, the addition of more than 1% IN in the samples containing FOS and the addition of FOS in the samples containing 2-3% IN caused a decrease in the elasticity of the film. The drying stability of *B. bifidum* BB-12 increased with the addition of FOS and IN, but the drying stability of *L. rhamnosus* GG decreased with increasing total prebiotic concentration. In addition, the best film formulations were found 0% FOS + 0% IN, 0% FOS + 1% IN and 1% FOS + 0% IN. The best film samples were transparent and had similar barrier properties. In addition, it was determined that the components in the film formulations showed good compatibility, and the bacterial cells were homogeneously dispersed in the film matrix. However, the probiotics caused a slightly rough surface formation. The estimated shelf life values of the films containing *B. bifidum* BB-12 and *L. rhamnosus* GG were in the range of 51-98 days. However, FOS and IN caused a decrease in the storage stability of the probiotics. Despite the effect of FOS and IN on probiotic stability, it was concluded that the best film formulations due to the high shelf life values of the films were good carriers for *B. bifidum* BB-12 and *L. rhamnosus* GG.

The coating applications limited the weight loss of cheese during storage. The coating of the cheese slice was effective in preserving the color and structure (hardness) of the cheese during storage. In addition, it was determined that coating applications did not cause a negative effect on the sensory acceptability of the cheese. At the end of storage, the probiotic viable numbers of the samples were 5-6 log cfu/g, and the estimated shelf life values were in the range of 14-20 days. For this reason, it was concluded that the coating applications containing probiotics were not satisfactory in the production of cheese with a long shelf life as a probiotic product.

KEYWORDS: Edible film, *Bifidobacterium bifidum* BB-12, *Lactobacillus rhamnosus* GG, Prebiotic, Processed cheese

TEŞEKKÜR

Bilimsel çalışmalar daha önce yapılan araştırmaların varlığı ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle, Gıda Mühendisliği alanında daha önce yapılmış bilimsel çalışmalar ile bu tez çalışmasını mümkün kılan tüm araştırmacılara teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora eğitimim boyunca değerli görüşleri, akademik bilgi birikimi, sabrı ve çalışkanlığı ile bana her daim yol gösteren ve yardımcı olan değerli akademik danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Ferit ATASOY'a teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitemde bulunan, bilgi ve görüşlerini paylaşarak bu çalışmanın yürütülmesinde emeği olan sayın hocalarım Prof. Dr. M. Serdar AKIN ve Dr. Öğr. Üyesi Leyla EREN KARAHAN'a çok teşekkür ederim. Tez savunmamda bulunan jüri üyeleri Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI ve Prof. Dr. Mutlu Buket AKIN hocalarıma önerileri ve değerli katkıları için teşekkür ederim.

Araştırma görevliliğim süresince akademik gelişimime katkı sunan, kişiliği, duruşu ve bilgi birikimi ile bana örnek olan Prof. Dr. Şükrü KURT'a teşekkür ederim. Bölümümüz Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN'a çalışma hayatım ve lisansüstü eğitimim boyunca bilgi birikimi, geri dönütleri ve yardımseverliği sebebiyle çok teşekkür ederim. Yenilebilir film analizlerinin gerçekleştirilmesi sırasında karşılaştığım sorunların çözümü için tecrübesine başvurduğum Doç. Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU'na teşekkür ederim. Doktora eğitimim boyunca arkadaşlıkları ve yardımseverlikleri için Dr. Mehmet Şükrü KARAKUŞ'a, mezun öğrencilerimizden Şeyma ÇETİNTAŞ'a ve Tuba ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Fiziki imkânlarını kullanmama izin veren Adıyaman Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü ve Merkezi Araştırma Laboratuvarı personellerine teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme, özellikle bugün sahip olduğum mesleğimin ve kişiliğimin oluşması için büyük fedakârlık yapan annem Emine YILDIZ'a çok teşekkürü bir borç bilirim. Gece gündüz demeden laboratuvarda yanımda olan, çalışma ve özel hayatımda hiçbir zaman desteğini esirgemeyen sevgili eşim Mehmet CEYLAN'a bu yolda bana eşlik ettiği için çok teşekkür ederim. Son olarak, bu süreçte ailemize katılan, masumiyeti ve gülüşü ile bana tüm dertlerimi unutturan canım oğlum Umut CEYLAN'a tüm kalbimle sarılıyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 4.1. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin ağırlıkları	52
Şekil 4.2. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin ağırlıkları	53
Şekil 4.3. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin kalınlık değerleri	55
Şekil 4.4. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin kalınlık değerleri	56
Şekil 4.5. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin nem değerleri	59
Şekil 4.6. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin nem değerleri	60
Şekil 4.7. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin opaklık değerleri	62
Şekil 4.8. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin opaklık değerleri	63
Şekil 4.9. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin gerilme direnci değerleri	66
Şekil 4.10. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin gerilme direnci değerleri	67
Şekil 4.11. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin uzama katsayısı değerleri	69
Şekil 4.12. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin uzama katsayısı değerleri	70
Şekil 4.13. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin kuruma sonrası canlılık değerleri	74
Şekil 4.14. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin kuruma sonrası canlılık değerleri	75
Şekil 4.15. <i>B. bifidum</i> BB-12 ve <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin kalınlık değerleri	83
Şekil 4.16. <i>B. bifidum</i> BB-12 ve <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin suda çözünürlük değerleri	85
Şekil 4.17. <i>B. bifidum</i> BB-12 ve <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin su buharı geçirgenliği değerleri	88
Şekil 4.18. <i>B. bifidum</i> BB-12 ve <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin peroksit sayısı değerleri	90
Şekil 4.19. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin SEM görüntüleri	94
Şekil 4.20. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin SEM görüntüleri	95
Şekil 4.21. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren filmlerin FTIR spektrumları	99
Şekil 4.22. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin FTIR spektrumları	100
Şekil 4.23. Depolama boyunca <i>B. bifidum</i> BB-12'nin inaktivasyon eğrileri	102
Şekil 4.24. Depolama boyunca <i>L. rhamnosus</i> GG'nin inaktivasyon eğrileri	103
Şekil 4.25. Peynir örneklerinin depolama boyunca pH değerleri	109
Şekil 4.26. Peynir örneklerinin depolama boyunca titrasyon asitliği değerleri	113
Şekil 4.27. Peynir örneklerinin depolama boyunca ağırlık kaybı değerleri	115
Şekil 4.28. Peynir örneklerinin depolama boyunca nem değerleri	117
Şekil 4.29. Peynir örneklerinin depolama boyunca su aktivitesi değerleri	120
Şekil 4.30. Peynir örneklerinin depolama boyunca L^* değerleri	122
Şekil 4.31. Peynir örneklerinin depolama boyunca a^* değerleri	125
Şekil 4.32. Peynir örneklerinin depolama boyunca b^* değerleri	127
Şekil 4.33. Peynir örneklerinin depolama boyunca beyazlık indeksi (WI) değerleri	129
Şekil 4.34. Peynir örneklerinin depolama boyunca sarılık indeksi (YI) değerleri	131
Şekil 4.35. Peynir örneklerinin depolama boyunca C^* değerleri	133
Şekil 4.36. Peynir örneklerinin depolama boyunca h° değerleri	135
Şekil 4.37. Peynir örneklerinin depolama boyunca ΔE değerleri	137
Şekil 4.38. Peynir örneklerinin depolama boyunca sertlik değerleri	139
Şekil 4.39. Peynir örneklerinin depolama boyunca dış yapışkanlık değerleri	143
Şekil 4.40. Peynir örneklerinin depolama boyunca elastikiyet değerleri	146
Şekil 4.41. Peynir örneklerinin depolama boyunca iç yapışkanlık değerleri	148
Şekil 4.42. Peynir örneklerinin depolama boyunca çiğnenebilirlik değerleri	150
Şekil 4.43. <i>B. bifidum</i> BB-12 içeren peynir örneklerinin depolama boyunca probiyotik hücre sayısı	152
Şekil 4.44. <i>L. rhamnosus</i> GG içeren peynir örneklerinin depolama boyunca probiyotik hücre sayısı	153
Şekil 4.45. Depolama boyunca peynir örneklerinde <i>B. bifidum</i> BB-12'nin inaktivasyon eğrileri	154
Şekil 4.46. Depolama boyunca peynir örneklerinde <i>L. rhamnosus</i> GG'nin inaktivasyon eğrileri	155
Şekil 4.47. <i>B. bifidum</i> BB-12 ve kontrol örneklerinin duyuşal puanlarını gösteren radar grafiği	158
Şekil 4.48. <i>L. rhamnosus</i> GG ve kontrol örneklerinin duyuşal puanlarını gösteren radar grafiği	159

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren film formülasyonları	37
Çizelge 4.1. Filmlerin ağırlık değerlerine ait varyans analiz sonuçları	51
Çizelge 4.2. Filmlerin kalınlık değerlerine ait varyans analiz sonuçları	54
Çizelge 4.3. Filmlerin kalınlık, ağırlık ve nem değerleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları	57
Çizelge 4.4. Filmlerin nem değerlerine ait varyans analiz sonuçları	58
Çizelge 4.5. Filmlerin nem, kalınlık ve ağırlık değerleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları	60
Çizelge 4.6. Filmlerin opaklık değerlerine ait varyans analiz sonuçları	61
Çizelge 4.7. Filmlerin gerilme direnci değerlerine ait varyans analiz sonuçları	65
Çizelge 4.8. Filmlerin uzama katsayısı değerlerine ait varyans analiz sonuçları	68
Çizelge 4.9. Film örneklerinde probiyotiklerin % canlılık değerlerine ait varyans analiz sonuçları	73
Çizelge 4.10. Farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren <i>B. bifidum</i> BB-12 filmlerin TOPSIS yöntemi ile belirlenen en iyi alternatif sıralamaları	81
Çizelge 4.11. Farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren <i>L. rhamnosus</i> GG filmlerin TOPSIS yöntemi ile belirlenen en iyi alternatif sıralamaları	82
Çizelge 4.12. <i>B. bifidum</i> BB-12 ve <i>L. rhamnosus</i> GG içeren filmlerin L^* , a^* ve b^* değerleri	91
Çizelge 4.13. Depolama boyunca <i>B. bifidum</i> BB-12'nin inaktivasyon oranları ve raf ömrü değerleri	104
Çizelge 4.14. Depolama boyunca <i>L. rhamnosus</i> GG'nin inaktivasyon oranları ve raf ömrü değerleri	105
Çizelge 4.15. Peynirlerin pH değerlerine ait varyans analizi sonuçları	108
Çizelge 4.16. Peynirlerin titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları	112
Çizelge 4.17. Peynirlerin ağırlık kaybı değerlerine ait varyans analizi sonuçları	114
Çizelge 4.18. Peynirlerin nem değerlerine ait varyans analizi sonuçları	116
Çizelge 4.19. Peynirlerin su aktivitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	119
Çizelge 4.20. Peynirlerin L^* değerlerine ait varyans analizi sonuçları	121
Çizelge 4.21. Peynirlerin a^* değerlerine ait varyans analizi sonuçları	124
Çizelge 4.22. Peynirlerin b^* değerlerine ait varyans analizi sonuçları	126
Çizelge 4.23. Peynirlerin WI değerlerine ait varyans analizi sonuçları	128
Çizelge 4.24. Peynirlerin YI değerlerine ait varyans analizi sonuçları	130
Çizelge 4.25. Peynirlerin C^* değerlerine ait varyans analizi sonuçları	132
Çizelge 4.26. Peynirlerin h^o değerlerine ait varyans analizi sonuçları	134
Çizelge 4.27. Peynirlerin ΔE değerlerine ait varyans analizi sonuçları	136
Çizelge 4.28. Peynirlerin sertlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları	138
Çizelge 4.29. Peynirlerin dış yapışkanlık değerlerine ait varyans analizi sonuçları	142
Çizelge 4.30. Peynirlerin elastikiyet değerlerine ait varyans analizi sonuçları	145
Çizelge 4.31. Peynirlerin iç yapışkanlık değerlerine ait varyans analizi sonuçları	147
Çizelge 4.32. Peynirlerin çiğnenebilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları	149
Çizelge 4.33. Peynir örneklerinde depolama boyunca probiyotik mikroorganizmaların inaktivasyon oranları ve raf ömrü değerleri	156

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a	Ağırlık
a/a	Ağırlık/Ağırlık oranı
A	Absorbans
a/h	Ağırlık/Hacim oranı
Alfa	İstatistiksel önem
ASTM	American Society for Testing and Materials International
a _w	Su aktivitesi
cm	Santimetre
°C	Santigrat
C*	Chroma
dak	Dakika
F	Test istatistiği değeri
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
FOS	Fruktooligosakkarit
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
g	Gram
h	Hacim
h°	Hue açısı
GD	Gerilme direnci
GOS	Galaktooligosakkarit
IN	İnülin
kg	Kilogram
Ko	Kareler ortalaması
Kob	Koloni oluşturan birim
KOS	Kitosanoligosakkarit
kPa	Kilopascal
Kt	Kareler toplamı
log	Logaritma
m ²	Metrekare
meq	Miliekivalen
mL	Mililitre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
N	Newton
NaCl	Sodyum klorür
Nm	Nanometre
NaOH	Sodyum hidroksit
O ₂	Oksijen
OG	Oksijen geçirgenliği
p	İstatistiksel önem
PS	Peroksit sayısı
s	Saniye
SBG	Su buharı geçirgenliği
SÇ	Suda çözünürlük
Sd	Serbestlik derecesi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
spp.	Türler
subsp.	Alt tür
TOPSIS	Çok kriterli karar verme yöntemi
TPA	Tekstür profili analizi
UK	Uzama katsayısı
UV/Visible	UV görünür bölge
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

WI	Beyazlık indeksi
YI	Sarılık indeksi
μm	Mikrometre
ΔE	Toplam renk farkı



1. GİRİŞ

Ambalaj; tarımsal ve endüstriyel tüketim ürünlerini muhafaza etme, taşınmalarını sağlama ve tüketiciyi bilgilendirme amacıyla kullanılmaktadır (Kasapoğlu ve Törnük, 2018). Gıda ambalajının amacı ise ürünü fiziksel, kimyasal ve biyolojik hasarlardan koruyarak üretimden tüketime kadar gıda kalitesini ve güvenliğini sağlamaktır (Kandasamy ve ark., 2021). Günümüzde gıda paketlenmesi için kullanılan materyaller çeşitli petrol türevi plastik malzeme, metal, cam, kâğıt, karton veya bunların kombinasyonlarından oluşmaktadır. Kâğıt ve karton hariç olmak üzere bu ambalaj malzemelerinin tümü aslında yenilenemeyen malzemelere dayanmaktadır. Bu durum, yenilenebilir kaynaklara dayalı alternatif ambalaj malzemelerinin bulunması gerektiğini göstermektedir (Kasapoğlu ve Törnük, 2018).

Geri dönüştürülebilir ve doğal ambalaj malzemelerine olan artan talebi karşılamak amacıyla biyolojik olarak parçalanabilen yenilebilir biyopolimerler kullanılarak üretilen ambalaj malzemeleri geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam edilmektedir (Kandasamy ve ark., 2021). Bu ambalaj malzemeleri arasında yenilebilir filmler veya kaplamalar biyolojik olarak bozunabilir özelliklere sahip biyopolimerler olarak kabul edilmektedir. Yenilebilir filmler ve kaplamalar yeni bir uygulama olmasa da son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Pandhi ve ark., 2019).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar; oksijen, karbondioksit, nem, lipit, tat ve aroma transferini kontrol ederek gıda ürünlerinin kalitesini ve raf ömrünü korumayı amaçlamaktadır. Ayrıca, gıdaya mekanik bir koruma sağlamaları ile gıda bütünlüğüne katkı sağlamaktadırlar. Yenilebilir filmler ve kaplamalar pasif koruma işlevlerinin yanı sıra aktif veya biyoaktif ambalajlar olarak da kullanılabilirler (Díaz-Montes ve Castro-Muñoz, 2021). Aktif gıda ambalajı, tüketicilerin daha güvenli ve daha az işlenmiş, raf ömrü uzatılmış gıda talebine yanıt olarak geliştirilmiştir. Biyoaktif ambalaj sistemleri ise tüketicilere sağlık açısından fayda sağlayabilecek fonksiyonel gıda kavramının yeni bir yaklaşımıdır (Espita ve ark., 2016). Yenilebilir ambalaj materyalleri prebiyotikler ve probiyotikler gibi fonksiyonel bileşenler için

taşıyıcı olarak kullanılmakta ve biyoaktif ambalaj materyalleri olarak fonksiyonel gıda maddelerinin üretilmesine katkıda bulunmaktadır (Pereira ve ark., 2016).

Probiyotik terimi, yeterli sayıda alındığında konakçı üzerinde yararlı etkileri olan canlı mikroorganizmaları tanımlamak için kullanılmaktadır (FAO/WHO, 2006). Probiyotik mikroorganizmaları içeren gıda maddeleri üretim sürecinde gıdanın yapısı, sıcaklık, ozmotik ve mekanik stres, asit-baz değişiklikleri gibi pek çok sınırlayıcı faktör bulunmaktadır. Ayrıca, besin maddeleri, oksijen ve sıcaklık gereksinimleri, pH ve rekabetçi mikroorganizmalar gibi stres faktörleri son üründe probiyotik mikroorganizmaların canlılığını sınırlamaktadır (Zoghi ve ark., 2020). Probiyotiklerin insan sağlığı üzerinde beklenen etkilerinin görülebilmesi için canlılık ve metabolik aktivitenin gıda işleme ve tedarik zinciri boyunca ve aynı zamanda insan gastrointestinal sisteminde muhafaza edilmesi oldukça önemlidir (Guimarães ve ark., 2018). Bu nedenle, son üründe probiyotik canlı hücre sayısını artırmak için birçok yeni yaklaşım ortaya çıkmaktadır (Guimarães ve ark., 2018).

Probiyotiklerin canlılığını iyileştirmeye yönelik en yeni tekniklerden biri, plastikleştirilmiş ince katmanlı biyopolimer yapılar olan yenilebilir filmler ve kaplamaların kullanılmasıdır (De Lacey ve ark., 2012; Romano ve ark., 2014; Soukoulis ve ark., 2014a). Yenilebilir filmler ve kaplamalarda probiyotiklerin kullanımı probiyotiklerin taşınması için alternatif bir yöntem olarak kabul edilmekte ve son yıllarda bu konu üzerinde yürütülen araştırmaların sayısı giderek artış göstermektedir (Pereira ve ark., 2016).

Prebiyotik terimi “kolondaki bir veya sınırlı sayıda bakterinin büyümesini ve/veya aktivitesini seçici olarak uyarak konağı faydalı bir şekilde etkileyen ve böylece konakçı sağlığını iyileştiren sindirilemez gıda bileşenleri” olarak tanımlanmaktadır (Gibson ve Roberfroid, 1995). Probiyotik ve prebiyotik karışımları gıda ürünlerine uygulamada sinerjist etkilerinden yararlanmak için sıklıkla tercih edilmektedirler (Al-Sheraji ve ark., 2013). Bu nedenle, yenilebilir ambalaj formülasyonlarında probiyotik mikroorganizmalar ile prebiyotiklerin kullanıldığı pek çok araştırma yürütülmüştür (García-Argueta ve ark., 2013; Romano ve ark., 2014;

Soukoulis ve ark., 2014a; Oliveira-Alcântara ve ark., 2020; Orozco-Parra ve ark., 2020).

İnülin ve fruktooligosakkarit gibi prebiyotikler nişasta (Orozco-Parra ve ark., 2020), peynir altı suyu proteini (Pereira ve ark., 2016; Pereira ve ark. 2019a; La Storia ve ark., 2020), aljinat (Rodrigues ve ark., 2018; Bambace ve ark., 2019), selüloz (Romano ve ark., 2014; Oliveira-Alcântara ve ark., 2020) gibi farklı probiyotik yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarında kullanılmıştır. Bu çalışmalarda prebiyotik ajanların yenilebilir filmlerde ve kaplamalarda probiyotik bakterilerin canlılığını arttırdığı bildirilmiştir (Soukoulis ve ark., 2014a; Oliveira-Alcântara ve ark., 2020; Orozco-Parra ve ark., 2020). Bununla birlikte, probiyotik filmin kabul edilebilirliği probiyotiklerin stabilitesinin yanı sıra filmin fiziksel, mekaniksel ve yapısal özelliklerinin bir kombinasyonudur. Yenilebilir film ve kaplamalarda en iyi formülasyonunun belirlenmesi bu alandaki önemli araştırma adımlarından biri olup probiyotik yenilebilir filmlerde optimum prebiyotik konsantrasyonunun belirlenmesi için bu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Falguera ve ark., 2011).

Günümüzde, sağlıklı beslenme ile ilgili endişeler nedeniyle probiyotik içeren gıda ürünlerinin tüketimi dünya çapında artış göstermektedir. Bu eğilim, probiyotik gıda maddeleri üretmeyi amaçlayan gıda endüstrilerini ve araştırmacılarını mevcut metodolojileri iyileştirme veya yeni uygulamaları geliştirme ve araştırma konusunda teşvik etmektedir (Pavli ve ark., 2018). Bu nedenle, farklı gıda maddelerinde probiyotik ve prebiyotik içeren yenilebilir ambalaj materyallerinin kullanıldığı pek çok çalışma yürütülmüştür (Rodrigues ve ark., 2018; Bambace ve ark., 2019). Ancak, farklı peynir türlerinde probiyotik içeren ambalaj malzemelerinin kullanıldığı çalışmaların sayısı sınırlıdır (El-Sayed ve ark., 2021).

Peynir, her yaş grubuna uygun olması ve birçok damak zevkine hitap etmesi nedeniyle çok yönlü bir gıdadır. Bu nedenle, peynir probiyotik gıda taşıyıcısı olarak birçok pazarlama fırsatı sunmaktadır (da Cruz ve ark., 2009). Ayrıca peynir, yüksek pH değeri, bileşimi ve yapısı nedeniyle probiyotik alımı için ideal bir araç olarak kabul edilmektedir (Özer ve ark., 2009). Ancak Kaşar peyniri gibi pasta filata peynirlerin

üretimindeki yüksek ısı işlemler probiyotik sayısının azalmasına neden olmaktadır (Özer ve ark., 2008).

Eritme peyniri; pıhtının, bir veya birden fazla peynir çeşidinin doğrudan veya gerektiğinde bu ürünlere süt tozu, peynir altı suyu, tereyağı ve krema gibi süt ürünlerinin eklenmesiyle elde edilen bir karışımın, yüksek sıcaklıklarda emülsifiye edici tuzlarla pastörize edilmesiyle üretilmektedir (Çavuş ve ark., 2021). Eritme peyniri besin değerinin yüksek olması, ambalajı deforme olmuş veya ambalajı zarar görmüş ancak duyuusal özelliklerini koruyan peynirlere yeniden değerlendirme imkânı vermesi, daha küçük ambalajlar sayesinde ambalajlama kolaylığı ve üretimdeki çeşitli hammadde oranları gibi bazı avantajları sebebiyle dünya çapında giderek popüler bir peynir haline gelmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda ısı işlem uygulanması sebebiyle uzun bir raf ömrüne sahiptir (Awad ve ark., 2002). Ancak, peynir üretimindeki ısı işlemlerin probiyotik bakteriler üzerindeki etkileri sebebiyle probiyotik Eritme peyniri üretilmesi durumunda yüksek sıcaklık uygulamasının etkisi göz ardı edilemez. Bu nedenle, Eritme peynirinin probiyotik film solüsyonu ile kaplanması probiyotik içeren peynir üretimi için bir alternatif sunabileceği düşünülmektedir.

Bahsedilen tüm gerekçeler nedeniyle bu çalışmada, (i) sodyum kazeinat esaslı *Bifidobacterium bifidum* BB-12 ve *Lactobacillus rhamnosus* GG içeren yenilebilir film formülasyonlarına farklı oranlarda FOS ve IN ilavesinin filmlerin fizikokimyasal, mekaniksel ve optik özellikleri ile probiyotik bakteri stabilitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi, (ii) en iyi film örneklerinin belirlenmesi ve karakterizasyonu, (iii) en iyi film formülasyonlarının dilimlenmiş Eritme peynirinin kaplanmasında kullanımının araştırılması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gıda endüstrisi tarafından en iyi bilinen ve uzun yıllardır kullanılmakta olan ambalaj malzemeleri polietilen ve kopolimer esaslı malzemelerdir. Bu malzemeler ucuz, güvenli ve esnek olmaları nedeniyle çok yönlü kullanıma sahiptir. Son yıllarda, plastik ambalaj pazarında süregelen büyümede gıda ambalajları oldukça önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte, plastik gıda ambalajlarının çok azı geri dönüştürülmektedir. Bu durum, bu atıklar için gelecekte düzenli depolama alanları bulunması konusunda endişe yaratmaktadır. Plastik ambalaj malzemeleri üretiminde kullanılan petrol ürünlerinin maliyeti de dikkate alınması gereken bir diğer faktördür (Cutter, 2006).

Son yıllarda, biyobazlı ambalaj malzemelerinin gıda endüstrisindeki petrol esaslı bazı ambalaj malzemelerinin yerini almaya başladığı belirtilmektedir. Tüm bunlara ek olarak, artan tüketici bilinci gıda ambalaj malzemelerinin daha doğal, biyolojik olarak bozunabilir ve geri dönüştürülebilir olmasını zorunlu kılmaktadır (Weber ve ark., 2002). Yenilebilir filmler ve kaplamalar gıda ürünlerinin paketlenmesi ve korunması için büyük ölçüde araştırılan biyolojik olarak bozunabilir özelliklere sahip biyopolimerlerdir (Cutter, 2006; Al-Tayyar ve ark., 2020).

2.1. Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar

Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıda yüzeylerine veya gıda katmanları arasına çeşitli yöntemlerle uygulanan yenilebilir nitelikteki ince tabakalardır (Ayana, 2007). Yenilebilir kaplama, genellikle daldırma ve püskürtme gibi yöntemler ile direkt gıda üzerinde oluşturulan yenilebilir ince bir katmandır. Yenilebilir film ise önceden oluşturulmuş ve şekillendirilmiş yenilebilir materyalden yapılmış ince bir tabaka olup gıda bileşenleri arasına veya yüzeyine uygulanmaktadır (Falguera ve ark., 2011).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar gıda ve çevre arasındaki nem ve gaz transfer oranlarını azaltarak gıda stabilitesini artırmaya katkıda bulundukları için ambalajın

gıda koruma işlevinde yardımcı olurlar (Espitia ve ark., 2016). Yenilebilir filmler ve kaplamaların birçok fonksiyonu klasik ambalaj materyalleri ile aynı olsa da bunların kullanımı özellikle hijyenik nedenlerden ötürü ayrı bir ambalaj gerektirmektedir (Debeaufort ve ark., 1998). Bu durum, klasik ambalaj malzemeleri miktarını azaltarak daha az atık bırakan ve daha basit paket kullanılabilme olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, yenilebilir ambalaj materyali paket açıldığı takdirde ürünü korumaya devam edebilmektedir (Temiz ve Yeşilsu, 2006).

2.2. Yenilebilir Filmler ve Kaplamaların Tarihçesi

Yenilebilir filmler ve kaplamaların gıdaların ambalajlanmasında kullanımı oldukça eskiye dayanmaktadır. Parafin gibi yenilebilir filmler, parlak bir yüzey oluşturmak ve nem kaybını engellemek amacıyla birçok meyve yüzeyinde yüzyıllardır kullanılmaktadır. Film oluşturma mekanizmasının anlaşılmasından çok daha önce kullanılmaya başlanmış bu tür uygulamalar günümüzde de halen devam etmektedir (Pavlath ve Orts, 2009).

12. yüzyıldan beri Çin'de narenciye dehidrasyonunu geciktirmek için balmumu kullanıldığı bilinmektedir. 15. yüzyılda ise Japonya'da soya sütünden üretilen Yuba adlı yenilebilir film, gıdaları korumak ve görünüşlerini düzeltmek amacıyla kullanılmıştır. 16. yüzyılda Avrupa'da et yüzeyi nem kaybının azaltılması amacıyla yağ ile kaplanmıştır. Daha sonraki yıllarda et ve diğer gıda maddelerinin jelatin filmler ile kaplanarak korunması önerilmiştir. 19. yüzyılda ise fındık, badem ve cevizler oksidasyonun önlenmesi amacıyla sukroz ile kaplanmıştır. Yenilebilir filmler ve kaplamaların özellikle 1930'lu yıllardan bu yana en önemli uygulamalarından biri mumlar ve sudan oluşan bir emülsiyonun meyveler üzerinde renk, parlaklık gibi görünüş özelliklerini geliştirmek, su kaybını geciktirmek ve olgunlaşmayı kontrol edebilmek amacıyla kullanımıdır (Debeaufort ve ark., 1998).

Yenilebilir ambalaj materyallerinin ticari olarak kullanımının 1967 yılına kadar oldukça sınırlı olduğu bilinmektedir. Ancak, ilerleyen yıllarda bu ürünlerin üretiminde ciddi bir artış olmuştur. 1996'da bu ambalaj materyallerinin üretimini yapan firma

sayısının 600 civarında olduğu bildirilmektedir. Günümüzde ise yenilebilir ambalaj materyalleri pek çok gıdanın kalitesini korumak amacıyla kullanılmakta ve önemli bir sektör haline gelmektedir (Pavlath ve Orts, 2009). Yenilebilir filmler ve kaplamaların ticari uygulamalarına mum, yağ, reçine ve sukroz poliestерlerinden taze üretilen kaplamalar; sosisler için kolajen kaplamalar; şekerlemeler için çikolata kaplamalar; fındık, şekerleme ve farmasötik tabletler için zein kaplamalar; ilaçlar için jelatin esaslı kaplamalar örnek gösterilmektedir (Gennadios ve ark., 1997).

2.3. Yenilebilir Filmler ve Kaplamaların Fonksiyonları

Gıda ürünlerine uygulanan ince yenilebilir malzemelerden oluşan yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıdanın korunması, dağıtımı ve pazarlanması aşamalarında önemli rol oynamaktadır. Bu ambalajların en önemli işlevi, ürünü her türlü fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik etkiden korumaktır (Falguera ve ark., 2011). Yenilebilir ambalaj materyalleri nem, gaz ve yağ geçişini engelleyen bir bariyer olarak görev yapmaktadır. Bununla birlikte, antimikrobiyal ve antioksidan gibi bazı ajanların taşıyıcılığını yapabilmektedirler. Ayrıca, yenilebilir ambalaj materyalleri gıdadan uçucu lezzet bileşenlerinin kaybını önleme görevi görmektedir. Yenilebilir ambalaj materyallerinin bu fonksiyonlarının çoğu sentetik, yenilemeyen ambalaj materyalleri ile özdeştir. Bu ambalaj materyalleri doğal olarak bozunabilir ve bu özellikleri yenilebilir filmler ve kaplamaların en önemli yararı olarak düşünülmektedir (Robertson, 2012). Tüm bu amaçlara ek olarak, yenilebilir filmler ve kaplamalar ürün renk ve parlaklığını iyileştirerek ürünü tüketici için daha çekici hale getirmektedir. Ayrıca, içermiş oldukları aminoasitlerden dolayı özellikle peynir altı suyu, kazein ve buğday gluteni gibi protein esaslı yenilebilir ambalaj materyalleri gıdanın besin değerini arttırmaktadır (Hammam, 2019).

Yenilebilir ambalaj materyallerinin petrokimyasal esaslı polimerik paketleme materyallerine göre bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlükler;

- Gıdayla birlikte tüketilmeleri nedeniyle herhangi bir kalıntı ambalaj materyali söz konusu olmamaktadır.

- Gıda maddesiyle birlikte tüketilmemesi durumunda biyobozunur özellikleri sebebiyle klasik ambalaj materyallerine kıyasla çevre dostu özellik göstermektedirler.
- Çeşitli tat, aroma ve renk maddeleriyle birlikte kullanılmaları durumunda gıdanın duyuşal özelliklerinin gelişmesini sağlamaktadırlar.
- Özellikle protein kaynaklarından elde edilen filmler gıdanın besinsel özelliklerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadırlar.
- Bezelye, fasulye, fındık ve çilek gibi küçük parçalar halinde bulunan gıda maddelerinin ambalajlanmasına imkânı sunmaktadırlar.
- Pizza ve şekerlemeler gibi heterojen özellik gösteren gıda maddelerinde çözünmüş halde bulunan maddelerin ve nemin gıda katmanları arasındaki geçişini engellemektedirler.
- Antimikrobiyal ve antioksidan ajanların taşıyıcısı olarak görev yaparak bu maddelerin kontrollü salınımını sağlamaktadırlar.
- Klasik ambalaj materyalleriyle birlikte gıda maddelerinin çeşitli katmanlarında kullanılabilmektedirler. Özellikle, iç ambalaj olarak kullanılmaları halinde petrokimyasal esaslı ambalajların gıda ile direkt temasını sınırlamaktadırlar (Robertson, 2012).

Yenilebilir filmler ve kaplamaların tüm bu fonksiyonlarını yerine getirirken gıda maddesinin tüketimi sırasında hissedilmemesi için mümkün olduğunca tatsız olması gerekmektedir. Bu ambalaj materyalleri özel bir tat ve aromaya sahip olduklarında ise duyuşal karakteristiklerinin gıdanın özellikleri ile uyumlu olması gerekmektedir. Hem ambalaj hem de gıda maddesi olmaları sebebiyle yenilebilir filmler ve kaplamaların bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir (Debeaufort ve ark., 1998). Bu özellikler;

- Toksik bileşenleri içermemeli ve sağlık için güvenilir olmalıdır.
- Gıdanın tüketici tarafından tercih edilmesini olumsuz şekilde etkileyebilecek duyuşal niteliklere sahip olmamalıdır.
- Yeterli fizikokimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklere sahip olmalıdır.
- Yüksek mekanik ve bariyer özelliklere sahip olmalıdır.

- Basit teknoloji ve düşük hammadde maliyetine sahip olmalıdır.
- Gıda yüzeylerine iyi bir şekilde tutunabilmelidir.
- Aroma, koku, renk ve vitamin gibi tüketici tercihi ve sağlığı açısından önemli bileşenleri taşıyabilmelidir (Debeaufort ve ark., 1998; Pavlath ve Orts, 2009).

2.4. Yenilebilir Film ve Kaplama Üretiminde Kullanılan Ana Bileşenler

Yenilebilir filmler ve kaplamalar genellikle yapısal materyallerine göre sınıflandırılmakta olup proteinler, karbonhidratlar ve lipidler olmak üzere 3 ana bileşenden meydana gelmektedir. Film formülasyonunda kullanılan ana bileşenlerin kimyasal yapılarındaki farklılık film özellikleri üzerinde etkili olmaktadır (Ustunol, 2009). Ayrıca lipit ve hidrokoloid (protein ve karbonhidrat) içeren filmler kompozit filmler olarak bilinmektedir. Çeşitli protein, karbonhidrat ve lipit içeren kompozit filmlerde her bir bileşenin özelliği ve bunlar arasındaki sinerjistik etkiden faydalanmak amaçlanmaktadır. Bu filmlerin mekanik ve bariyer özellikleri sadece polimer matrisinde kullanılan bileşiklere değil aynı zamanda bunların uyumluluğuna da bağlıdır (Falguera ve ark., 2011).

Yenilebilir ambalaj formülasyonlarında kullanılan proteinler arasında buğday gluteni, kolajen, mısır zeini, soya, kazein ve peynir altı suyu proteini bulunmaktadır. Polisakkarit esaslı yenilebilir ambalajlarda kitosan, pullulan, karagenan, nişasta, aljinat, dekstrin, pektin ve selüloz türevleri kullanılmaktadır. Bu ambalaj materyallerinde kullanım için uygun lipitler arasında mumlar, açilgliseroller ve yağ asitleri yer almaktadır (Cagri ve ark., 2004; Kumar, 2019). Ayrıca, yenilebilir ambalaj malzemelerinin üretimi sırasında ana bileşenler su, alkol veya karışımları veya diğer çözücülerin bir karışımları içinde çözündürülmektedir. Plastikleştirici, antimikrobiyal, renk ve aroma maddeleri gibi katkıları bu işlem sırasında ilave edilmektedir (Bourtoom, 2008).

2.4.1. Protein esaslı filmler ve kaplamalar

Proteinler film oluşturuu malzemeler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Proteinlerin diğeri film oluşturuu malzemelere kıyasla en belirgin özellikleri, konformasyonel denatürasyonları, elektrostatik yükleri ve amfifilik yapılarıdır. Sekonder, üçüncül ve kuartern yapıları ısı denatürasyonu, basınç, ışınlama, mekanik işlem, asitler, alkaliler, metal iyonları, tuzlar, kimyasal hidroliz, enzimatik işlem ve kimyasal çapraz bağlama kullanılarak kolayca değıştirilebilmektedir. Tüm bu işlemler, nihai olarak hazırlanan filmlerin ve kaplamaların fiziksel ve mekanik özelliklerini kontrol edebilme olanağı sunmaktadır. Proteinler süt, yumurta, tahıl, yağlı tohum ve hayvan dokuları gibi birçok farklı hayvan ve bitki kaynağından elde edilmektedir (Han, 2013).

Hayvansal dokuların ana bileşeni olarak bulunan fibroz proteinler suda çözünmez iken globüler proteinler su veya asit, baz veya tuzların sulu çözeltilerinde çözünmektedirler. Bu proteinlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, amino asit miktarlarına ve bunların protein polimer zinciri boyunca yerleştirilmesine bağlıdır. Soya proteini, peynir altı suyu proteini, buğday gluteni ve mısır zeini gibi birçok globüler protein film özellikleri açısından araştırılmıştır. Protein esaslı filmlerde çözücü olarak çoğunlukla su, etanol ve etanol-su karışımları kullanılmaktadır. Proteinler, film oluşumu için gerekli yapıların sağlanması amacıyla sıcaklık, asit, baz ve/veya çözücü ile denatüre edilmektedir. Protein zincirleri hidrojen, iyonik, hidrofobik ve kovalent bağ yoluyla birleşmekte ve artan zincir etkileşimleri, gazlara, buharlara ve sıvılara daha az geçirgen, güçlü ancak düşük esnekliğe sahip film oluşumuna neden olmaktadır. İyonik veya hidrojen bağ içeren gruplara sahip polimerler, neme karşı hassas ancak iyi oksijen bariyerleri olan filmler oluşturmaktadır. Bu nedenle, protein filmlerinin düşük bağıl neme sahip ortamlarda iyi oksijen bariyeri özelliği göstermesi beklenmektedir (Bourtoom, 2008).

Protein esaslı filmlerin suya karşı direncini ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile çapraz bağlı proteinlerin kullanımı söz konusudur. Bu amaçla transglutaminaz gibi kovalent çapraz bağların oluşumunu teşvik eden ajanlardan

faaydalanılmaktadır. Bu enzim, proteinlerin yapısına hidrojen bağları, iyonik bağlar ve hidrofobik etkileşimlerden daha güçlü bir bağ yerleştirmesi sebebiyle ilave edildiği filme yüksek mekaniksel özellikler kazandırmaktadır (Yılmaz ve ark., 2007).

2.4.2. Karbonhidrat esaslı filmler ve kaplamalar

Bitki, hücre ve böceklerin dış yapısında bulunan polisakkaritler arasında nişasta, pektin, karagenan, aljinat, gamlar, kitosan, selüloz ve türevleri bulunmaktadır. Polisakkaritler fonksiyonel özellikleri sebebiyle gıda endüstrisindeki birçok uygulamada stabilizatör, koyulaştırıcı ve jelleştirici ajan olarak kullanılmaktadırlar. Doğada bol bulunmaları ve ucuz olmaları sebebiyle son zamanlarda yenilebilir ambalajların hazırlanmasında polisakkaritler sıkça tercih edilmektedir (Hammam, 2019).

Polisakkarit filmler ve kaplamalar, hidrojen bağları ile polimer zincirleri arasında çapraz bağlanma açı oluşturma yeteneklerinden dolayı oksijen ve karbondioksit gibi gazlar için mükemmel bariyer özellikleri göstermektedirler (Hammam, 2019). Ayrıca, polisakkarit esaslı yenilebilir ambalajların gaz bariyer özellikleri, depolama sırasında aroma bileşenleri kaybını geciktirmek veya gıdalarda toksisite veya kalite kaybına yol açabilecek solvent penetrasyonunu önlemek için önemlidir (Cazón ve ark., 2017). Polisakkaritler tatsız, renksiz ve kokusuz olmalarının yanında su aktivitesini azaltma özellikleri sebebiyle bakteriyel inhibisyon etkisine de sahiptirler (Hammam, 2019). Bu filmler ve kaplamalar, iyi mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen hidrofilik özellikleri nedeniyle zayıf su buharı bariyeri özelliklerine sahiptir (Cazón ve ark., 2017). Ancak, bu ambalajlar gıda ürünlerinden nem kaybını geciktiren ajanlar olarak rol oynayabilirler (Bourtoom, 2008). Öte yandan, polisakkarit esaslı film formülasyonlarına lipidlerin eklenmesi su buharı bariyer özelliklerinin geliştirilmesini sağlamaktadır (Cazón ve ark., 2017).

2.4.3. Lipit esaslı yenilebilir filmler ve kaplamalar

Lipit esaslı filmler ve kaplamalar 800 yılı aşkın bir süredir meyvelerin mumlanması ve şekerleme ürünlerinde kullanılmaktadır (Dhall, 2013). Lipit esaslı filmler ve kaplamalar düşük polariteleri nedeniyle mükemmel nem bariyeri sağlamaktadırlar. Ancak, hidrofobik özellikleri ile lipidler nem transferine karşı etkili olmalarına rağmen daha kalın ve kırılgan film oluşturmaktadırlar (Bourtoom, 2008). Bu nedenle, proteinler ve polisakkaritlerle birlikte kullanılarak mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir. Ancak, bu kompozit filmler, saf lipit içeren filmlere göre daha yüksek nem geçirgenliğine sahip olmaktadır (Hassan ve ark., 2018). Lipit esaslı filmler ve kaplamalar, solunumu azaltarak meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmada ve parlaklık kazandırarak görünümü iyileştirmede sıklıkla tercih edilmektedirler (Dhall, 2013). Ancak, kolay oksitlenmeleri ve karakteristik tatları nedeniyle gıdanın duyu özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedirler. Ayrıca, meyvelerin mumla kaplanması onları fizyolojik hasarlardan korumasına rağmen, küf gibi mikroorganizmaların gelişimi nedeniyle karbondioksitin artmasına yol açabilmektedir (Hammam, 2019).

Yenilebilir film ve kaplama formülasyonları birçok bitkisel ve hayvansal yağ bileşiği içerebilmektedir (Hammam, 2019). Kakao yağı içeren filmler, şekerleme ve bisküvi endüstrisinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Debeaufort ve Voilley, 2009). Pamuk tohumu yağı, soya fasulyesi yağı, keten tohumu yağı, mısır yağı, zeytinyağı ve balık yağı gibi bazı yağ türleri, meyvelerin raf ömrünü uzatan ve solgunluklarını önleyen düşük polariteleri nedeniyle birçok meyvenin kaplanması tercih edilmektedir. Tüm bunlara ek olarak, yenilebilir film ve kaplama oluşumunda farklı nem tutma kapasitesine sahip çeşitli mumlar (balmumu, karnauba mumu, parafin mumu) sıklıkla kullanılmaktadır (Hammam, 2019). Yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarında kullanılan bir diğer lipit kaynağı ise yüzey aktif maddelerdir (Cutter, 2006). Yüzey aktif maddeler, et ve balık gibi ürünlerde nem ve gaz bariyeri olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca, kaplama yapılacak gıda maddesi ve kaplamanın yapışması amacıyla kaplama formülasyonuna yüzey aktif maddeler ilave edilebilmektedir (Debeaufort ve Voilley, 2009).

2.4.4. Kompozit esash yenilebilir filmler ve kaplamalar

Polisakkaritler, proteinler ve/veya lipidlerin karışımından heterojen özellikte yenilebilir filmler ve kaplamalar üretilmektedir. Film oluşturuçu çözeltide polimerler arasındaki kombinasyon proteinler ve lipidler, proteinler ve karbonhidratlar, karbonhidratlar ve lipidler veya sentetik polimerler ve doğal polimerler şeklinde olabilmektedir. Bu yaklaşım, film oluşturuçu bileşenin her bir grubunun fonksiyonel özelliklerini kullanma olanağı sağlamaktadır (Bourtoom, 2008).

Son yıllarda, yenilebilir ambalaj materyalleri alanındaki çalışmalarda her bir bileşenin dezavantajını minimize etmek ve avantajını ön plana çıkarmak amacıyla kompozit veya çok bileşenli filmler konusu önem kazanmıştır. Kompozit film ve kaplama üretimindeki asıl hedef, mekanik ve bariyer özelliklerinin iyileştirilmesidir (Hassan ve ark., 2018). Protein ve polisakkaritler gibi biyopolimerler, çoğu kompozit film için destekleyici matrisi sağlamakta ve genellikle oksijen ve karbon dioksit karşı seçici bir bariyer özelliği sunmaktadır. Lipidler su buharına karşı iyi bir bariyer sağlarken plastikleştiriciler esnekliği artırmak ve filmin mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır. Film ve kaplama formülasyonunun kontrol edilmesi, bu malzemelerin mekanik ve bariyer özelliklerinin uyarlanmasına izin vererek, paketlenmiş gıdaların muhafaza verimliliğini arttırmaktadır (García ve ark., 2009).

Kompozit filmler; süspansiyon, emülsiyon ya da dağılım şeklinde, birbirini izleyen katmanlar (iki katmanlı) şeklinde uygulanabilmektedir. İki katmanlı filmlerin ve kaplamaların en önemli dezavantajı, hazırlama yönteminin iki döküm ve iki kurutma aşaması olmak üzere dört aşamadan oluşmasıdır. Bu filmler ve kaplamalar, su buharına karşı iyi bariyer özelliği göstermelerine rağmen gıda endüstrisinde az tercih edilmektedir. Ayrıca, tabakalı filmlerin ve kaplamaların zaman geçtikçe tabakalarının ayrılma eğilimi gösterdiği, küçük delikler veya çatlaklar geliştirdiği ve düzgün olmayan bir yüzey sergilediği bildirilmektedir (Hassan ve ark., 2018).

2.5. Yenilebilir Film ve Kaplama Üretiminde Kullanılan Yardımcı Bileşenler

Yenilebilir ambalaj formülasyonlarında onların yapısal, mekaniksel ve taşıma özelliklerini geliştirmek veya bu materyallere fonksiyonel özellikler kazandırmak amacıyla çeşitli yardımcı maddeler kullanılmaktadır (Robertson, 2012).

2.5.1. Çözücüler

Yenilebilir ambalaj malzemelerinin üretiminde kullanılan ana bileşenler bir çözücü içerisinde çözündürülmektedir (Bourtoom, 2008). Yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarında su, etanol ve bunların karışımları yaygın şekilde kullanılan çözücülerdir. Bitkisel proteinler kullanılarak üretilen filmlerde ve kaplamalarda diğer organik çözücüler de kullanılabilir (Sarıcaoğlu, 2018).

2.5.2. Plastikleştiriciler

Film özellikleri, polimer molekülleri arasındaki çekim kuvveti ile substrat ve film arasındaki çekim kuvveti etkileşimlerine bağlıdır. Moleküler ağırlık, polarite ve zincir yapısı gibi polimer özellikleri bu kuvvetleri etkilemektedir. Polimer molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri kırılabilir film oluşumuna neden olmaktadır ve moleküller arası kuvvetleri azaltmak amacıyla film formülasyonlarına gıda sınıfı plastikleştiriciler ilave edilmektedir. Böylece, polimer zincirlerinin hareketliliği artırılarak filmin mekaniksel özellikleri geliştirilmektedir. Ancak, plastikleştirici kullanımı mekaniksel özellikleri geliştirirken su buharı, gaz ve çözünmüş geçirgenliğini arttırmaktadır. Bu nedenle, geçirgenlik özelliklerinde minimum artış ile mekanik özelliklerinin optimizasyonuna izin verecek şekilde plastikleştirici kullanımı önem arz etmektedir. Plastikleştiriciler, sadece film ve kaplama özelliklerini iyileştirmek için gereken minimum miktarda kullanılmalıdır (Sothornvit ve Krochta, 2005).

Plastikleştirici ajanlar; polimer molekülleri arasında konumlanarak polimer etkileşimlerine müdahale edebilme, polimer yapılarının serbest hacmine etki ederek polimerler arasındaki mesafeyi artırma ve kristalin bölgenin amorf bölgeye oranını

azaltarak cam geçiş sıcaklığını düşürme görevi görmektedirler. Plastikleştiriciler, protein ve polisakkarit esaslı yenilebilir filmlerde molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarını bozar, polimer molekülleri arasındaki mesafeyi artırır ve kristalin amorf bölgeye oranını azaltırlar (Han, 2013).

Film oluşumunda yaygın olarak kullanılan plastikleştiriciler arasında monosakkaritler, disakkaritler veya oligosakkaritler (glukoz, fruktoz-glukoz şurupları, sukroz, bal), polioller (sorbitol, gliserol, gliserol türevleri ve polietilen glikoller) ve lipidler ve türevleri (fosfolipitler, yağ asitleri ve yüzey aktif maddeler) yer almaktadır. Film formülasyonlarında, polimer özelliklerine bağlı olarak kurumadde miktarı üzerinden yaklaşık %10-40 oranında plastikleştirici kullanılmaktadırlar (Sothornvit ve Krochta, 2005). Çoğu plastikleştirici hidrofilik ve higroskopik karakterde olup su moleküllerini çekmekte ve büyük bir plastikleştirici-su kompleksi oluşturmaktadır. Filmlerdeki su molekülleri de plastikleştirici olarak işlev görmelerine rağmen düşük bağıl nem koşullarında dehidrasyon ile kolayca kaybedilebilmektedirler. Bu nedenle, filmlere hidrofilik özellikte plastikleştiricilerin eklenmesi, dehidrasyon yoluyla su kaybını azaltma, bağıl su miktarını ve su aktivitesini artırma olanağı sunmaktadır (Han, 2013).

2.5.3. Diğer yardımcı bileşenler

Yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarında, filmin fiziksel ve mekaniksel özellikleri yanında gıda güvenliğini ve kalitesini arttırmak amacıyla emülgatör, antioksidan ve antimikrobiyal ajanlar gibi bazı yardımcı bileşenler kullanılmaktadır (Han, 2013). Ayrıca, son yıllarda yenilebilir ambalaj materyalleri formülasyonuna probiyotiklerin ilave edildiği pek çok çalışma yürütülmüştür (Piermaria ve ark., 2015; Ebrahimi ve ark., 2018; Orozco-Parra ve ark., 2020; Abedinia ve ark., 2021). Nutrasötik ve farmasötik maddeler yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarına dâhil edildiğinde, sistem ilaç verme amacı için kullanılabilir. Ayrıca, yenilebilir ambalaj formülasyonlarına tat, aroma ve renklendirici ajanların ilave edilmesi gıdanın organoleptik ve duyuşal özelliklerinin geliştirilmesine katkı sağlamak için kullanılmaktadır (Han, 2013).

Emülgatörler, su-lipit ara yüzünün veya su-hava yüzeyinin yüzey gerilimini azaltabilen amfifilik yapıya sahip yüzey aktif maddelerdir. Emülgatörler, film yüzeyinin yapışmasını ve ıslanabilirliğini kontrol etmek için yüzey enerjisini değiştirmektedirler. Protein esaslı filmler ve kaplamalar söz konusu olduğunda, bazı proteinler amfifilik yapıları nedeniyle yeterli emülsiyon yapma kapasitesine sahiptir. Ancak, birçok polimer belirli seviyede emülgatör kapasitesine sahip olsa da lipit emülsiyon filmleri üretmek için emülgatörlerin film oluşturunucu çözeltilere dâhil edilmesi gerekmektedir (Han, 2013). Asetillenmiş monogliserit, lesitin, gliserol mono palmitat, tween 60, tween 80, sodyum lauril sülfat ve sorbitan film ve kaplama formülasyonlarında yaygın olarak kullanılan emülgatörlerdir (Robertson, 2012).

Yenilebilir film ve kaplamaların en önemli fonksiyonlarından biri antifungal ve antimikrobiyal ajanların taşıyıcısı olmalarıdır. Bu ambalaj formülasyonlarında sıklıkla kullanılan antimikrobiyal ajanlar arasında laktik asit, propiyonik asit, benzoik asit, sorbik asit, lizozim, kitosan, nisin, bazı bitki ekstraktları ve onların esansiyel yağları yer almaktadır (Cagri ve ark., 2004; Robertson, 2012). Bozulma etmeni ve patojen mikroorganizmaların gelişmesini kontrol etmek için çeşitli antimikrobiyal maddeler içeren yenilebilir film ve kaplama formülasyonları geliştirilmiştir. Yenilebilir ambalaj materyalleri ile antimikrobiyal ajanların difüzyon hızını da kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, ürün tüketici tarafından açılmış ve yeniden kontamine edilmiş olsa bile, antimikrobiyal yenilebilir filmler gıda yüzeyindeki patojenlerin etki alanını azaltma stratejisi sağlamaktadır (Cagri ve ark., 2004).

Oksijenin gıda ürünlerinin kalite özellikleri üzerinde zararlı etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Yenilebilir film ve kaplamaların gıda ürünlerine uygulanması oksijen ile teması önlemede etkili bir yaklaşım olarak görülmektedir. Ancak, yenilebilir filmlerin ve kaplamaların tek başlarına antioksidan etkisi onların oksijen geçirgenliklerine bağlıdır. Protein ve karbonhidrat esaslı filmler ve kaplamalar, oksijene karşı mükemmel bariyer özelliği göstermektedirler. Bununla birlikte, yenilebilir ambalaj materyallerinin oksijen geçirgenliği ürün nemi, sıcaklık ve bağıl nem gibi faktörlerden de etkilenmektedir. Bu nedenle, yenilebilir ambalaj formülasyonlarına dahil edilen antioksidan ajanların spesifik etkisi oksidasyona karşı

daha iyi bir koruma sağlamaktadır (Bonilla ve ark., 2012). Yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarında; BHA veya BHT gibi sentetik antioksidanlar ve bitki ekstraktları, esansiyel yağlar, α -tokoferol, askorbik asit, sitrik asit gibi doğal antioksidanlar kullanılmaktadır (Eça ve ark., 2014).

2.6. Yenilebilir Film ve Kaplama Hazırlama Yöntemleri

Yenilebilir filmlerin ve kaplamaların hazırlanmasında ısıtarak jelleştirme, eriyiğin katılaştırılması ve çözücü uzaklaştırma gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Tural ve ark., 2017). Hazırlama yönteminin seçimi, kullanılan bileşenlerinin yapısına ve amaçlanan film ve kaplama özelliklerine bağlıdır. Polisakkaritler ve proteinler; polimerizasyon, jelatinizasyon ve pıhtılaşma gibi işlemler kullanılarak modifiye edilmektedir. Lipit esaslı kaplamalar daha çok erime ve kristalizasyon veya çözücü uzaklaştırma yöntemleri ile üretilmektedir (Debeaufort ve Voilley, 2009).

Bazı protein filmlerin hazırlanmasında proteinlerin jelleşmesi amacıyla çözelti ısıl işleme tabi tutulmakta ve hemen sonrasında soğutulmaktadır. Isıl işlemin etkisiyle proteinlerin yapısındaki disülfid bağları (-SS) ayrılmakta olup sülfidril (-SH) gruplarına indirgenmektedir. Film çözeltisi döküldüğünde sülfidril bağları polipeptit zincirine bağlanmak için yeniden şekillenmekte ve film yapısı oluşmaktadır (Sarıcaoğlu, 2018). Polisakkarit esaslı yenilebilir filmlerin üretiminde çözücü uzaklaştırma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde film içerisindeki makro moleküller su, etanol veya asetik asit gibi çözücülerde çözündürüldükten sonra çözelti içerisine jelleştirici ve çapraz bağlayıcı ajanlar ilave edilmektedir. Çözücü uzaklaştırma yönteminde sürekli bir yapı oluşturulmakta ve elde edilen bu yapının fiziksel ve kimyasal etkileşimlerle stabilizasyonu sağlanmaktadır. Lipit esaslı film üretiminde ise film çözeltisi ısıl işlemle eritildikten sonra bir yüzey üzerinde katılaştırılmaktadır (Tural ve ark., 2017).

Yukarıda anlatıldığı şekilde elde edilen çözeltiler yenilebilir ambalaj materyalinin gıdaya uygulanma yöntemine göre farklı işlemlere tabi tutulmaktadır. Yenilebilir filmler, ekstrüzyon, dökme veya laminasyon teknikleri ile elde

edilebilmektedir (García ve ark., 2009). Yenilebilir kaplamalar ise gıdanın doğrudan kaplama çözeltisi içine daldırılması, bu çözeltinin gıda yüzeyine püskürtülmesi veya gıdanın bu çözelti ile fırçalanması şeklinde uygulanmaktadır (Pavlath ve Orts, 2009).

2.7. Yenilebilir Film ve Kaplama Uygulama Yöntemleri

Yenilebilir filmlerin ve kaplamaların gıdalara uygulanması püskürtme, daldırma, boyama, dökme ve ekstrüzyon olmak üzere 5 yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Daldırma yöntemi bu uygulamalardan en basiti olup, gıdanın belli bir süre yenilebilir ambalaj çözeltisi içerisinde bekletilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Bu yöntemde gıda maddesi çözeltiyi absorbe etmekte ve çözeltinin kuruması sonucu istenilen kalınlıkta bir tabaka oluşturulmaktadır. Daldırma tekniği düzgün olmayan yüzeylerin homojen bir şekilde kaplanması, kaplama materyalinin fazlasının uzaklaştırılması ve kurutma imkânı sağlaması gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak, büyük hacimli gıdaların kaplanması daldırma yöntemini uygulamak zordur (Tural ve ark., 2017). Daldırma yönteminde, çözeltinin gıda tarafından absorbe edilme hızı, yoğunluğu, viskozitesi ve yüzey gerilimi önem arz etmektedir. Kaplama çözeltisi özelliklerinden film kalınlığını tahmin etmek için farklı teorik yaklaşımlar kullanılsa da daldırma süresi genellikle 5-30 saniye aralığında değişmektedir (Skurtys ve ark., 2014).

Püskürtme yöntemi genellikle daha ince filmlere ihtiyaç duyulması veya gıdanın sadece belli bir yüzeyinin kaplanması durumlarında tercih edilmektedir (Ustunol, 2009). Gıda yüzeyinde ikinci bir film tabakası oluşturulması için de bu yöntemden faydalanılmaktadır (Tural ve ark., 2017). Ayrıca, geniş yüzey alanına sahip gıda maddelerinin kaplanmasında tercih edilen bir yöntemdir (Dangaran ve ark., 2009). Ancak, püskürtme ile kaplama genellikle kaplama oluşturan çözelti çok viskoz olmadığı durumlarda kullanılabilir (Skurtys ve ark., 2014). Püskürtme yöntemi, gıda yüzeyinde homojen bir kaplama yapma imkânı sunmaktadır. Bununla birlikte, püskürtme yöntemiyle kaplanan ürünün alt yüzeyinin, ilk kaplama ve kurutma işleminden sonra ayrı bir işlemle kaplanması gerekmektedir (Dangaran ve ark., 2009).

Boyama yönteminde sıvı formdaki kaplama çözeltisinin fırça yardımıyla gıdaya uygulanması sağlanmaktadır. Gıda yüzeyinin kaplama çözeltisiyle boyanmasının ardından kuruması sağlanmaktadır. Oda sıcaklığında veya ısıtma yardımı ile yapılan bu kurutma işleminin kısa olması homojen bir yapı oluşmasına yardımcı olmaktadır. Boyama yöntemi ile gıda yüzeyinde homojen ve ince bir kaplama tabakası meydana getirilebilmektedir. Ayrıca, bu yöntem gıdanın belirli bir yüzeyinin kaplanması gereken durumlarda tercih edilmektedir (Tural ve ark., 2017).

Dökme yöntemi, hidrokolloid yenilebilir filmlerin oluşturulması için en çok tercih edilen yöntemdir. Bu yöntemde, yenilebilir film çözeltisi uygun bir yüzey üzerine yayılmakta ve ardından kurutulmaktadır. Kurutma yüzeyinin seçimi, çözücünün buharlaştırılmasından sonra filmin kolay soyulması açısından önem arz etmektedir. Film çözeltisinin buharlaştırılması genellikle hava dolaşımli etüvlerde gerçekleştirilmektedir (Skurtys ve ark., 2014). Bununla birlikte, kızılötesi ve mikrodalga kurutma teknikleri gibi farklı yöntemler de kullanılmaktadır (Dangaran ve ark., 2009). Kurutma sonrası nihai filmde optimum nem içeriğinin ağırlıkça %5-10 civarında olması istenmektedir. Elde edilen film özellikleri kurutma koşulları (sıcaklık, bağıl nem), döküm kalınlığı ve film çözeltisi bileşimi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu yöntemde, filmlerin evaporasyon sonrası çatlamalarının önüne geçilmesi amacıyla plastikleştirici kullanımı söz konusudur. Ayrıca, filmlerin hızlı kurutulması durumunda, polimer zincirlerinin hareketleri kısıtlandığından çatlak veya kırılma gibi kusurlar görülebilmektedir (Skurtys ve ark., 2014).

Ekstrüzyon yönteminde, polimeri yumuşatmak ve eritmek için yükseltilmiş sıcaklık ve kesme özelliği kullanılarak yapışkan bir film matrisi oluşturulmaktadır. Bu yöntem, dökme yöntemine kıyasla bir evaporasyon süresi gerektirmediği için daha hızlı olup daha az enerji gerektirmektedir. Bu nedenle, ekstrüzyon tekniği endüstriyel uygulamalarda döküm yöntemine kıyasla daha fazla tercih edilmektedir. Ekstrüzyon kullanımı, biyopolimer film oluşumu maliyetini sentetik film üretimi ile rekabetçi bir aralığa getirmek için zaman ve enerji girdilerini azaltmaktadır (Dangaran ve ark., 2009; Skurtys ve ark., 2014).

2.8. Probiyotikler

Probiyotik terimi ilk kez 1954 yılında Vergio tarafından “Anti-und Probiotika” adlı makalede ortaya atılmış ve günümüze kadar pek çok farklı anlamda kullanılmıştır (FAO/WHO, 2006). FAO/WHO tarafından yapılan probiyotik tanımı “yeterli miktarda verildiğinde konakçıya sağlık yararı sağlayan canlı mikroorganizmalar” şeklindedir. Bu probiyotik tanımının iki önemli özelliğe dikkat çektiği görülmektedir. Bunlardan biri probiyotik kelimesinin canlı mikroorganizmaları içeren ürünlerle sınırlandırılmış olduğudur. Diğer ise beklenen etkilerinin görülebilmesi için yeterli miktarda probiyotik bakteri sağlanması gerektiğidir (FAO/WHO, 2006).

Yaygın olarak kullanılan probiyotik bakteriler genellikle laktik asit bakterilerinin suşlarıdır (Fooks ve ark., 1999). Gram pozitif bakterilerin iki ana türü olan *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* probiyotik olarak kullanılan laktik asit bakterileridir (Senok ve ark., 2005). Klinik olarak probiyotik etkisi kanıtlanmış suşlardan *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* Shirota, *Lactobacillus rhamnosus* GG, *Bifidobacterium lactis* BB-12 ticari ürünlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Çakır ve Çakmakçı, 2004). Bazı *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Saccharomyces* ve *Propionibacterium* suşları da probiyotik bakteri olarak kabul edilmektedir. Fakat *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* dışındaki probiyotiklerin güvenliği ile ilgili endişeler mevcuttur. Çünkü bu cinslerin bazıları özellikle *Enterococcus*’lar olmak üzere pek çok patojen mikroorganizma içermektedir. Hatta *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*’un da probiyotik olduğu düşünülmeyle birlikte bazı araştırmacılar bu mikroorganizmaları probiyotik olarak sınıflandırmamaktadır (Vinderola ve Reinheimer, 2003). Ayrıca patentli bir maya preparatı olan *Saccharomyces boulardii* de birçok ülkede diyare ve diğer gastrointestinal bozukluklar için terapötik bir maya olarak kullanılmaktadır. *S. boulardii*’nin probiyotik mikroorganizmaların sahip olduğu pek çok özelliği gösterdiği bilinmektedir (Rolfe, 2000).

İshal, gastroenterit, irritabl bağırsak sendromu ve enflamatuvar bağırsak hastalığı, kanser, yetersiz laktoz sindirimi, bebek alerjileri, hiperlipidemi, karaciğer hastalıkları,

Helicobacter pylori enfeksiyonları gibi pek çok klinik semptom üzerinde probiyotiklerin yararlı etkileri olduğu bilinmektedir (Parvez ve ark., 2006; Ranadheera ve ark., 2010). Uluslararası bilim camiası arasında probiyotik dozlarının sağlığa etkileri konusunda fikir birliği olmamasına rağmen, terapötik etkileri sağlamak için günlük alınması gereken dozun en az 10^6 - 10^9 canlı bakteri olması gerektiği düşünülmektedir (Espita ve ark., 2016). Bu gibi yüksek sayılar probiyotiklerin gastrointestinal sistemden geçiş sırasında olası kayıpları telafi etme açısından önemlidir.

2.9. Prebiyotikler

Prebiyotik terimi Gibson ve Roberfroid (1995) tarafından “kolondaki bir veya sınırlı sayıda bakterinin büyümesini ve/veya aktivitesini seçici olarak uyararak konağı faydalı bir şekilde etkileyen ve böylece konakçı sağlığını iyileştiren sindirilemez bir gıda bileşeni” olarak tanımlanmıştır. Prebiyotikler dirençli kısa zincirli karbonhidratlar olup insan metabolizmasında sindirim enzimleri tarafından sindirilememektedir ve sindirilemeyen oligosakkaritler olarak da adlandırılmaktadırlar (Al-Sheraji ve ark., 2013). Bir bileşenin prebiyotik olarak sınıflandırılması için (1) mide asiditesine, memeli enzimleriyle hidrolize ve gastrointestinal absorpsiyona dirençli, (2) bağırsak mikroflorası tarafından fermente edilebilme ve (3) sağlık ile ilişkili bağırsak bakterilerinin büyümesini ve/veya aktivitesini seçici olarak uyarabilme özelliklerine sahip olması gerekmektedir (Gibson ve ark., 2004).

Prebiyotiklerin büyük çoğunluğunu oligosakkaritler ve polisakkaritler oluşturmaktadır. Sindirilemeyen karbonhidrat molekülleri yanında dirençli nişasta, şeker polioller, bazı peptitler, proteinler ve lipidler gibi bileşenlerin de prebiyotik özellik gösterdiği ifade edilmektedir (Gibson ve Roberfroid, 1995; Al-Sheraji ve ark., 2013). Laktuloz, galaktooligosakkaritler, fruktooligosakkaritler, inülin ve hidrolizatları, maltooligosakkaritler ve dirençli nişasta insan diyetinde sıklıkla kullanılan prebiyotiklerdir (Al-Sheraji ve ark., 2013).

İnülin ve fruktooligosakkarit üzerinde en fazla araştırma yapılmış prebiyotiklerden olup pırasa, soğan, sarımsak, kuşkonmaz, yacon ve hindiba gibi meyve ve sebzelerin yapısında önemli oranda bulunmaktadır (Franck, 2002). Kimyasal olarak inülin D-fruktoz zincirine β -(1-2) glikozidik bağlarıyla bağlı bir karbonhidrat olup 2-60 arasında değişen polimerizasyon derecesine sahiptir (Cao ve ark., 2018). Fruktooligosakkarit ise kısa zincirli früktoz moleküllerinin β -(1-2)-glikozidik bağları ile birleşmesi sonucu oluşan, 2-9 arasında değişen polimerizasyon derecesine sahip bir prebiyotiktir (Yaçınkaya ve Lebleciler, 2012).

Prebiyotikler, probiyotik bakterilerin gelişmesini teşvik ederek gastrointestinal ve bağışıklık sisteminin güçlenmesine katkı sağlamaktadır. Prebiyotiklerin kalsiyum ve magnezyum emilimini artırdığı, kan glukoz seviyelerini etkilediği ve plazma lipidlerini iyileştirdiği bilinmektedir (Al-Sheraji ve ark., 2013). Bununla birlikte, prebiyotikler gıda maddeleri formülasyonuna şeker ve yağ ikame maddesi olarak ilave edilmekte ve duyuşal özelliklerin gelişimine katkı sağlamaktadır (Rolim, 2015).

2.10. Yenilebilir Filmlerde ve Kaplamalarda Probiyotik ve Prebiyotiklerin Kullanımı

Probiyotik içeren gıdaların tüketimi, tüketicilerin sağlıklı beslenme ve sağlıklı yaşam konusunda bilinçlenmeleri sebebiyle son yıllarda artış göstermektedir. Probiyotik ürünlerin küresel satış miktarları 2010 ve 2011 yıllarında sırası ile 21.6 ve 24.23 milyar dolar olarak bildirilmiştir. 2014 yılında 62.2 milyar dolar olan probiyotiklerin küresel pazar değerinin 2020'den 2022 yılına kadar 96 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu durum, probiyotiklerin spesifik özelliklerinin ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin araştırılmasının yanında gıda sanayinde probiyotik içeren yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir (Espita ve ark., 2016; Massoud ve ark., 2021).

Probiyotiklerin taşınması ve teslimi için yenilebilir filmler ve kaplamalar alternatif bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem ile diğer pek çok aktif bileşimin yanı sıra probiyotikler, yenilebilir ambalaj ve film formülasyonlarına ilave

edilmektedir. Böylece, patojen mikroorganizmaların kontrol edilmesi ve gıda güvenliğinin artırılması yanında tüketici sağlığı üzerinde olumlu etkilere sahip alternatif gıda ambalaj malzemeleri geliştirilmektedir (Espita ve ark., 2016).

Probiyotiklerin yenilebilir ambalaj materyallerinde kullanımı ilk olarak Tapia ve arkadaşları tarafından 2007 yılında ortaya atılmış olup son yıllarda bu konuda pek çok çalışma yürütülmüştür. Yapılan çalışmalara bakıldığında, probiyotiklerin yenilebilir ambalaj formülasyonlarında kullanımının araştırıldığı yayın sayısının artış gösterdiği görülebilmektedir (Tapia ve ark., 2007; Soukoulis ve ark., 2014b; Argueta ve ark., 2016; Espitia ve ark., 2016; Soukoulis ve ark., 2016).

Yenilebilir ambalaj materyallerinde probiyotiklerin kullanımı iki temel üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlardan ilkinin probiyotiklerin yenilebilir ambalaj materyallerinde canlılığı, ikincisini ise yenilebilir ambalaj materyallerine ilave edilen probiyotiklerin diğer mikrobiyal türlere karşı inhibisyon aktivitesi oluşturmaktadır. Ayrıca, probiyotik bakteri içeren yenilebilir film özelliklerinin incelendiği çalışmaların yanı sıra gıda maddelerinin bu fonksiyonel ambalaj materyalleri ile kaplandığı pek çok çalışma yürütülmüştür (Altamirano-Fortoul ve ark., 2012; Argueta ve ark., 2016; Bambace ve ark., 2019).

Romano ve ark. (2014) tarafından metil selüloz ve fruktooligosakkarit (FOS; 0-5) içeren yenilebilir film formülasyonlarına *L. bulgaricus* ve *L. plantarum* ilave edilmiştir. Filmlerde fizikokimyasal özelliklerin yanı sıra depolama boyunca bakteri canlılığı (%11-%75 bağıl nem ve 4 °C’de 90 gün) incelenmiştir. Filmlerde canlılık film oluşturuucu çözeltinin bakteriler üzerine ozmotik etkisi ve kurutmanın dehidrasyon etkisi açısından incelenmiştir. Her iki bakterinin film solüsyonuna eklenmesi FOS bulunmaması halinde bile canlılık düzeyinde belirgin bir azalmaya neden olmamıştır. Ancak, formülasyonda FOS bulunmaması dehidrasyon aşamasında *L. bulgaricus* canlılığının azalmasına neden olmuştur. *L. bulgaricus* canlılığı üzerinde %3’e kadar FOS kullanımı koruyucu etki göstermiştir. *L. plantarum* ise dehidrasyon prosesine karşı daha fazla direnç göstermiş olup FOS ilavesi *L. plantarum* canlılığı üzerinde önemli bir etki göstermemiştir. Depolama koşullarında %11 bağıl neme sahip ortamda

her iki bakterinin de 90 gün canlı kalabildiği tespit edilmiştir. %33 ve %44 bağıl neme sahip koşullarda ise *L. bulgaricus* ve *L. plantarum*'un sırasıyla en fazla 15 ve 45 gün depolanabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca, %75 bağıl nem içeren koşullarda sadece *L. plantarum*'un en fazla 15 gün depolanabileceği bildirilmiştir.

Bir grup araştırmacı tarafından (Soukoulis ve ark., 2014a) jelatin esaslı film formülasyonuna inülin (IN), polidekstroz, glikooligosakkarit (GOS) ve buğday dekstrini olmak üzere 4 farklı prebiyotik ilave edilmiştir. Ardından *L. rhamnosus* GG ilave edilen çözeltilerde casting yöntemi (37 °C'de 15 saat) ile film üretimi gerçekleştirilmiş ve filmler 4 ve 25 °C'de depolanarak probiyotik canlılığı açısından incelenmiştir. Aynı zamanda, elde edilen filmlerin fizikokimyasal, optik, renk ve morfolojik özellikleri araştırılmıştır. Kurutma aşamasının sonunda *L. rhamnosus* hücrelerinin GOS ve polidekstroz ilave edilen filmlerde sırasıyla %60.68'i ve %26.36'sının canlı kaldığı, IN ve buğday dekstrini ilavesinin ise hücre canlılığı üzerinde olumsuz bir etki yarattığı bildirilmiştir. Ancak, kurutma aşamasının aksine depolama sırasında en etkili prebiyotik IN olduğu tespit edilmiştir. *L. rhamnosus* canlılığı açısından 4 ve 25 °C'de depolanan filmlerin raf ömürleri sırasıyla 63 ila 100 gün ve 17 ila 30 gün arasında olduğu rapor edilmiştir.

Tang ve ark. (2015) tarafından mısır nişastası, prebiyotik (kitosan oligosakkarit (KOS), GOS, IN ve FOS) ve probiyotik (*B. infantis* ve *L. fermentum*) içeren fonksiyonel filmlerde mekanik özellikler, suda çözünürlük ve prebiyotik etkinlikleri incelenmiştir. Araştırmacılar tarafından prebiyotik ilavesinin probiyotik *B. infantis*'in ve *L. fermentum*'un büyümesini teşvik ettiği ifade edilmiştir. Prebiyotik etkinin yanı sıra bu bileşiklerin yenilenebilir filmlerin fiziksel özelliklerini etkilediği bildirilmiştir. Prebiyotiklerin nişastaya göre daha düşük molekül ağırlıkları nedeniyle plastikleştirici bir etki göstererek prebiyotik ilavesinin uzayabilirliği arttırdığı ve çekme direncini azalttığı rapor edilmiştir.

Bir başka araştırmacı grubu (García-Argueta ve ark., 2013) tarafından yanıt yüzey yöntemi kullanılarak peynir altı suyu esaslı *L. casei* içeren film formülasyonları optimize edilmiştir. Optimizasyon için Box-Behnken tasarımı kullanılmış olup farklı

oranlarda IN (%0-4), jelatin (%2-5) ve *L. casei* (%0-2) içeren 11 farklı film formülasyonu hazırlanmıştır. Film solüsyonunda pH ve viskozite; filmde ise renk, mekaniksel ve yapısal özellikler incelenmiştir. Ayrıca, elde edilen filmlerin 25 °C'de 10 günlük depolama boyunca probiyotik canlılığı araştırılmıştır. Optimizasyon sonunda pH, viskozite ve mekaniksel özellikler için %2 IN, %3.5 jelatin ve %1 probiyotik içeren film formülasyonunda daha yüksek yanıtlar elde edilmiştir. Ancak, %0 IN + %5 jelatin + %1 probiyotik ve %2 IN + %2 jelatin + %2 probiyotik içeren filmlerin probiyotik canlılığı açısından en istikrarlı formülasyonlar olduğu bildirilmiştir.

Pereira ve ark. (2019a) tarafından *B. bifidum* BB-12 içeren peynir altı suyu protein izolatu (%10) ve aljinat (%2) esaslı yenilebilir film formülasyonunda IN (%2) ve FOS (%2) etkisi incelenmiştir. Elde edilen filmlerin karakterizasyonu yanında vakum altında paketlenen filmlerde depolama (23 °C'de 60 gün) boyunca probiyotik canlılığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar tarafından prebiyotik ilavesinin filmlerde nem içeriği ve suda çözünürlük özelliklerinde bir azalmaya neden olduğu, ancak moleküler yapı üzerinde etkili bulunmadığı bildirilmiştir. Filmlerde kuruma aşamasında probiyotik canlılığı üzerinde ise film formülasyonunun etkisinin önemsiz olduğu ifade edilmiştir. Depolama süresi ile probiyotik canlılığı arasında negatif bir korelasyon tespit edilmiş olup depolama sonunda filmlerin probiyotik etki göstermesi için gerekli düzeyde canlı hücre içerdiği (10^6 kob/g) bildirilmiştir. Prebiyotik içermeyen, IN ve FOS içeren örneklerin depolama sonunda probiyotik bakteri sayılarında sırası ile 3, 2 ve 2.5 log kob/g azalma meydana geldiği rapor edilmiştir.

Oliveira-Alcântara ve ark. (2020) tarafından kaju gamı ve bakteriyel selüloz esaslı yenilebilir film formülasyonlarında probiyotik ve FOS etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, polimer, polimer + probiyotik, polimer + FOS ve polimer + probiyotik + FOS olmak üzere dört farklı film üretimi gerçekleştirilmiştir. Filmlerin fiziksel özellikleri yanında kuruma ve depolama (4, 20 ve 37 °C'de 45 gün) aşamalarında probiyotik canlılıkları tespit edilmiştir. Dehidrasyon sonrası polimer + probiyotik + FOS içeren filmlerde probiyotik canlılığı polimer + probiyotik içeren filme göre daha yüksek bulunmuştur. 4 ve 20 °C'de depolama boyunca probiyotik sayısında önemli bir azalma

meydana gelmemiştir. 37 °C'de 45 günlük depolama sonunda ise probiyotik canlılığında meydana gelen azalma 1 log kob/g olarak bildirilmiştir. Film formülasyonuna FOS ilave edilmesi filmde mekanik ve bariyer özellikleri zayıflatmış ancak bu özelliklerin gıdalara uygulanabilecek seviyede olduğu ifade edilmiştir.

Bir başka araştırmacı grubu (Orozco-Parra ve ark., 2020) tarafından *L. casei* içeren tapyoka nişastası esaslı film formülasyonunda farklı konsantrasyonlarda IN (%0.1, 0.5 ve 1) kullanımının filmin mekanik, optik, bariyer özellikleri ve depolama boyunca (10 ve 25 °C'de, 28 gün) probiyotik canlılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bununla birlikte, simüle edilmiş gastrointestinal koşullarda probiyotik bakteri canlılığı araştırılmıştır. Depolama sıcaklığından bağımsız olarak ilk haftada filmlerde probiyotik canlılığında önemli bir azalma meydana geldiği bildirilmiştir. IN içermeyen filmlerde meydana gelen azalmanın daha yüksek olduğu ancak bu azalmanın 10 °C'de daha yavaş olduğu ifade edilmiştir. Simüle edilmiş gastrointestinal koşullarda IN ilave edilmesi probiyotik canlılığında görülen azalmanın IN içermeyen kontrol grubuna kıyasla sınırlandığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, IN ilavesinin filmde kopma uzaması, gerilme direnci ve suda çözünürlük özelliklerini arttırdığı rapor edilmiştir.

2.10.1. Yenilebilir filmlerde probiyotik mikroorganizmaların canlılığı

Tapia ve ark. (2007) tarafından elma ve papaya dilimlerinin kaplanması için aljinat ve gellan esaslı yenilebilir film formülasyonları incelenmiştir. %2 (a/h) aljinat veya %0.5 (a/h) gellan içeren film formülasyonlarına %2 (a/h) oranında *B. bifidum* BB-12 ilave edilmiştir. Ardından, elma ve papaya dilimleri bu film çözeltisi ile kaplanmıştır. Plastik poşetler içerisinde 2 °C'de 10 gün boyunca muhafaza edilen kaplama yapılmış örneklerde *B. bifidum* sayımı gerçekleştirilmiştir. Kaplama solüsyonunda *B. bifidum* sayısı, aljinat ve gellan örnekleri için sırasıyla 9.67 ve 9.93 log kob/g bulunmuştur. Kaplama sonrası aljinat ve gellan kaplı papaya dilimlerinde *B. bifidum* sayısı sırasıyla 6.89 ve 7.52 log kob/g, aljinat ve gellan kaplı elma dilimlerinde ise sırasıyla 7.91 ve 7.78 log kob/g olarak belirlenmiştir. Ayrıca, papaya ve elma dilimlerindeki probiyotik canlı sayısının depolama sonunda tatmin edici düzeyde (6-7 log kob/g) olduğu tespit edilmiştir.

Kanmani ve Lim (2013) tarafından farklı oranlarda pullulan ve nişasta (patates, mısır ve tapyoka) içeren yenilebilir film formülasyonlarına başlangıç konsantrasyonu 12.9 log kob/ml olacak şekilde probiyotik bakteriler (*L. plantarum*, *L. reuteri* ve *L. acidophilus*) ilave edilmiştir. Oda sıcaklığında kurutulan filmlerde bakteri canlılığı, kuruma sonrası ve muhafaza sırasında (4 ve 25 °C) tespit edilmiştir. Filmlerin kurutulması işlemi başlangıçtaki hücre canlılığında önemli bir azalmaya neden olmamıştır. 25 °C’de depolamada tüm filmler benzer hücre canlılıkları göstermiştir. Ancak, saf pullulan filmlerde maksimum hücre canlılığı gözlemlenmiş olup 25 °C’de 10 gün depolama sonunda canlılık yaklaşık %80, 20 gün sonunda %35 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 4 °C’de 2 ay depolama sonunda probiyotik hücre canlılığı %70-80 olarak tespit edilmiştir.

Piermaria ve ark. (2015) tarafından *L. plantarum* ve *Kluyveromyces marxianus* içeren yenilebilir kefiran filmlerde fiziksel, kimyasal ve dokusal özellikler incelenmiştir. Ayrıca, elde edilen filmlerde probiyotik suşların depolama sırasında canlılıkları, asit ve safra direnci araştırılmıştır. Filmlerin kalınlık, nem içeriği ve optik özelliklerinin mikroorganizmaların dâhil edilmesiyle neredeyse değişmediği ifade edilmiştir. Filmlerin 37 °C’de kurutulması aşamasında, *L. plantarum* sayısında 1 logaritmik azalma meydana gelirken *K. marxianus* sayısında azalma görülmemiştir. 20 °C’de 35 gün depolama sonunda *L. plantarum* ve *K. marxianus* canlılığının sırasıyla yaklaşık 1.3 ve 0.7 logaritmik döngü azaldığı ifade edilmiştir.

Soukoulis ve ark. (2016) tarafından pirinç ve mısır nişastası, sığır derisi jelatini, sodyum kazeinat ve soya protein konsantresi içeren farklı film formülasyonlarına *L. rhamnosus* ilave edilmiş ve filmlerde bileşim, fizikokimyasal, yapısal özellikler ve probiyotik bakteri stabilitesi araştırılmıştır. Filmlerin 37 °C’de 15 saat kurutulması aşaması probiyotik canlılığında 0.81-1.87 log kob/g aralığında bir azalmaya neden olmuştur. Mekanik, optik, bariyer özellikleri ve *L. rhamnosus* canlılığı açısından en iyi formülasyonunun nişasta-jelatin veya nişasta-sodyum kazeinat esaslı yenilebilir filmler olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, dehidrasyon sırasında *L. rhamnosus*’un inaktivasyonu, proteinler varlığında nişasta esaslı filmlere kıyasla önemli ölçüde düşük bulunmuştur. *L. rhamnosus* canlılığının protein mevcudiyetinde 3-7 kat arttığı

ve en gelişmiş kararlılığı sodyum kazeinat ve pirinç nişastası içeren filmlerin sağladığı saptanmıştır.

Pereira ve ark. (2016), peynir altı suyu protein izolatu (%10) esaslı film solüsyonlarına 10^9 kob/mL olacak şekilde *B. bifidum* ve *L. casei* ilave etmiştir. Film solüsyonları laminar kabin içerisinde 24 saat kurutulmuş olup soyulan filmler analizler öncesi 23 °C ve %50 bağıl neme sahip ortamda 72 saat depolanmıştır. Ayrıca, probiyotik canlılığın incelenmesi açısından soyulan film örnekleri vakumlanarak paketlenmiş olup 4 ve 23 °C’de 60 gün boyunca depolanmıştır. Probiyotik bakterilerin canlılığı sıcaklıkla ilişkili olup her iki suşun da canlı hücre sayısındaki azalma 23 °C’de depolama koşullarında daha yüksek bulunmuştur. 23 °C’de 10 günlük depolama sonunda her iki suşun da canlı hücre sayısının 10^6 kob/g değerine ulaştığı ifade edilmiştir. 10. günden itibaren canlı hücre sayıları neredeyse sabit olup 40. günden itibaren hafif bir azalma görülmüştür. Ancak, 4 °C’de 10 gün sonunda her iki suşun canlı hücre sayısında belirgin bir azalma görülmezken depolama periyodu sonunda *B. bifidum* ve *L. casei* sayısında sırasıyla 1 ve 2 log kob/g düzeyinde bir azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte, her iki sıcaklıkta test edilen probiyotik canlı hücre sayılarının depolama sonunda insan vücudunda istenen biyolojik fonksiyon için gerekli olan minimum eşiğe (10^6 kob/g) ulaştığı ifade edilmiştir.

Ebrahimi ve ark. (2018) tarafından karboksimetil selüloz (%1, a/h) esaslı yenilebilir film solüsyonuna 10^9 kob/mL düzeyinde *L. casei*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus* ve *B. bifidum* ilave edilmiştir. Film solüsyonları 35 °C’de 15 saat kurutulmuş olup filmlerde fiziksel, kimyasal, dokusal özellikler yanında depolama boyunca (4 ve 25 °C’de 42 gün) probiyotik canlılığı araştırılmıştır. Kuruma prosesi sırasında probiyotik canlılığında önemli bir azalma meydana gelmemiştir. 25 °C’de depolama esnasında probiyotik canlılığında önemli bir azalma olduğu ancak 4 °C’de depolama esnasında probiyotik canlılığının korunduğu ifade edilmiştir. Probiyotik mikroorganizmalar arasında 25 °C’de depolama sonunda en önemli azalma *L. rhamnosus* içeren filmlerde görülmüştür. Ancak, *L. rhamnosus* ve *L. acidophilus* içeren filmlerde probiyotik canlılığın 4 °C’de depolama sonunda yaklaşık 10^7 kob/g olduğu bildirilmiştir. Depolama sonunda probiyotik bakteriler arasında en yüksek

canlılık ise *L. acidophilus* içeren filmlerde tespit edilmiştir. Ayrıca, farklı suşlar içeren filmler arasında fizikokimyasal açıdan önemli bir fark görülmemiştir. Ancak, kontrol filme kıyasla probiyotik filmlerin su buharı geçirgenliği ve mekaniksel özellikleri zayıflamıştır.

Bir araştırmacı grubu (Singh ve ark., 2019) sodyum karboksimetil selüloz, hidroksietil selüloz ve sitrik asit içeren film formülasyonuna *L. rhamnosus* ilave ederek probiyotik film üretimi gerçekleştirmiştir. Elde edilen filmin probiyotik bakteri içeren ortama daldırılmasının ardından kurutulması ve film formülasyonuna probiyotiğin doğrudan ilave edilmesi suretiyle iki farklı yolla probiyotik film üretimi yapılmıştır. İlk yaklaşımda probiyotik mikroorganizmanın filme difüze olması ve adsorbe olması beklenirken, ikincisinde bakterinin döküm ve sertleştirmeden önce polimer matrisine tutulması beklenmektedir. İlk yaklaşımın canlı bakterileri etkin bir şekilde yakalayabildiği ve koruyabildiği ifade edilirken ikinci yaklaşımın probiyotik canlılığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, filmlerin mekanik ve şişme kabiliyeti özelliklerinin sodyum karboksimetil selüloz/hidroksietil selüloz oranı ve sitrik asit miktarı ile değiştirilebileceği bildirilmiştir.

Bir başka araştırmada (Shahrampour ve ark., 2020) *L. plantarum* içeren filmlerde plastikleştirici tipi (sorbitol ve gliserol), plastikleştirici oranı (%40, 50 ve 60) ve aljinat/pektin oranının (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 ve 0:100) etkisi incelenmiştir. Elde edilen filmlerde fiziksel, mekaniksel ve yapısal özellikler araştırılmıştır. Ayrıca, filmler 4 ve 25 °C olmak üzere iki farklı depolama koşulunda probiyotik canlılığı açısından incelenmiştir. *L. plantarum*'un en yüksek sağkalım süresinin, 30 gün boyunca 4 °C'de en yüksek oranda aljinat ve sorbitol içeren filmlerde elde edildiğini bildirilmiştir. Probiyotik hücrelerin filmlerde immobilizasyonu, su buharı geçirgenliğini azaltırken kalınlık, su aktivitesi, suda çözünürlük ve renk parametreleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

2.11. Yenilebilir Filmlerin ve Kaplamaların Peynirlerde Kullanımı

Peynir günümüzde miktar ve çeşitlilik bakımından dünya çapında en önemli süt ürünlerinden biri olup içermiş olduğu protein, vitamin, kalsiyum ve diğer mineraller sebebiyle insan beslenmesinin ayrılmaz bir parçasıdır. Peynir üretimindeki ana sorunlardan biri depolama sırasında meydana gelen bakteri, küf ve maya kontaminasyonudur. Peynirlerde özellikle ambalajsız depolama sırasında istenmeyen tat ve aroma gelişimi söz konusu olabilmektedir. Ayrıca, bazı peynir türlerindeki yüksek nem kaybı, sertliklerini arttırma ve istenmeyen organoleptik özelliklere yol açmaktadır. Bu sorunları çözmek için çeşitli peynir türlerinde modifiye atmosfer ve vakum ambalajlama dâhil olmak üzere farklı paketlenme sistemleri önerilmekte ve günümüzde peynirlerin ambalajlanmasında çoğunlukla polietilen, poliamid ve polipropilen gibi malzemeler tercih edilmektedir (Costa ve ark., 2018).

Polietilen, poliamid, polipropilen gibi peynir ambalajı için kullanılan malzemeler biyolojik olarak parçalanmamaları sebebiyle ekolojik sorunlara yol açmakta ve petrol esaslı bu malzemelerin ürüne geçişi gibi bazı endişeler oluşturmaktadır (Costa ve ark., 2018). Bu nedenle, peynir üretiminde sıklıkla karşılaşılan sorunları çözmek amacıyla yenilebilir filmlerin ve kaplamaların çeşitli peynir türleri üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi ve anlamayı amaçlayan birçok çalışma yürütülmektedir. Peynirin olgunlaşma sırasında veya depolama boyunca yenilebilir ambalaj materyalleri ile kaplanması bu kusurların çoğunu ortadan kaldıracak ve ürünün raf ömrünü uzatabileceği düşünülmektedir (Youssef ve ark., 2017).

Yenilebilir filmler ve kaplamalar peynirde gıda kalite ve güvenliğini arttırmalarının yanında peynirin lezzetinin, renginin ve besin değerinin korunmasına da katkı sağlamaktadır. Ayrıca, aroma, renk, antimikrobiyal ve antioksidan maddeler gibi aktif bileşenler için taşıyıcı rol üstlenmeleri peynirin kalite özelliklerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, yenilebilir film ve kaplamaların peynir dilimleri gibi küçük peynir porsiyonlarına uygulanması durumunda bu materyaller her bir porsiyon için ayrı bir ambalaj görevi görmektedir. Yenilebilir

ambalaj materyallerinin ve uygulama yöntemlerinin seçiminde peynir türü (nem içeriği, taze veya olgun olması), üretim ve depolama koşulları göz önünde bulundurulmaktadır. Nem içeriği, olgunlaşma düzeyi ve mekanik stabilite gibi özellikler peynir bileşimine bağlı olduğundan ambalaj materyalinden beklenen gereksinimler peynir türüne göre farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, yenilebilir ambalaj materyalinden beklenen gaz geçirgenliği, mekaniksel ve optik özellikler pek çok peynir türü için benzerdir (Costa ve ark., 2018).

Literatürde Kaşar, Lor, Mozzarella ve Cheddar gibi peynir türlerinde yenilebilir ambalaj materyallerinin kullanıldığı pek çok araştırma mevcuttur. Bu çalışmalarda maya-küf başta olmak üzere mikrobiyolojik aktivitenin sınırlandırılması, proteoliz ve lipoliz gibi biyokimyasal olayların kontrolü, ağırlık kaybı ve duyu özellikler incelenmiştir (Kavas ve Kavas, 2016; Soleimani-Rambod ve ark., 2018; Ture ve ark., 2011; Wagh ve ark., 2014; Zhong ve ark., 2014). Ayrıca, Kaşar peynirinde *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* ve *Salmonella* spp. gibi gıda mikrobiyolojisi açısından önemli bakteriler üzerinde yenilebilir film ve kaplama formülasyonlarının etkisinin incelendiği pek çok çalışma yürütülmüştür (Ayana ve Turhan, 2009; Torlak ve Nizamlioğlu, 2013; Kavas ve ark., 2015; Çelikel, 2017).

Bununla birlikte, son yıllarda probiyotik içeren yenilebilir film ve kaplama materyalleri konusundaki yayın sayısındaki artışa rağmen peynirler üzerinde bu çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bir araştırmacı grubu (Angiolillo ve ark., 2014) tarafından telemesi haşlanan bir peynir çeşidi olan taze Fior di Latte peynirine sodyum aljinat esaslı *L. reuteri* içeren kaplama solüsyonları uygulanmış ve *L. reuteri* içeren aktif kaplama uygulanmasının Fior di Latte peynirinin korunması için uygun ve yenilikçi bir yol olduğu ifade edilmiştir.

Santacruz ve Castro (2018) tarafından taze Manaba peyniri, nişasta esaslı enkapsüle ve serbest *L. acidophilus* içeren yenilebilir film ile kaplanmış ve 4 °C’de 30 gün boyunca depolanmıştır. Ayrıca, elde edilen filmde 25 °C’de depolama boyunca probiyotik canlılığı ve filmin *Salmonella* spp. üzerindeki etkisi incelenmiştir. Filmlerin depolanması boyunca kapsüllenmiş hücrelerin serbest hücrelere göre daha yüksek

canlılık gösterdiği tespit edilmiştir. Serbest veya kapsüllenmiş hücreler içeren her iki kaplanmış peynir örneğinin ise kaplanmamış numunelere göre daha az sayıda aerobik mezofilik bakteri içerdiği bildirilmiştir.

Bir başka çalışmada (Guimarães ve ark., 2020), *L. buchneri* içeren serum proteini esaslı filmde ve bu solüsyon ile kaplanan peynirde antifungal aktivite incelenmiştir. *L. buchneri* içeren film ve kaplanmış peynir örneğinde en az 30 gün boyunca *Penicillium nordicum* gelişiminin engellendiği bildirilmiş ve antifungal özelliklere sahip bir probiyotığın yenilebilir filmlere ve kaplamalara dâhil edilmesinin peynirlerde *P. nordicum* kontaminasyonunu azaltmaya veya ortadan kaldırmaya yardımcı olabileceği ifade edilmiştir.

El-Sayed ve ark. (2021) tarafından antimikrobiyal mikrokristalin selüloz ve probiyotik suşlar (*B. bifidum*, *L. acidophilus* ve *L. casei*) içeren kitosan, sodyum aljinat ve karboksimetil selüloz esaslı filmlerin antimikrobiyal, mekaniksel, morfolojik ve bariyer özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen probiyotik filmlerin ultrafiltre yumuşak peynirin depolanması sırasında (7 °C, 45 gün) kullanımı incelenmiştir. Probiyotik filmlerin test edilen tüm mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, depolama sonunda tüm filmlerdeki probiyotik sayısının en az 8 log kob/g olduğu rapor edilmiştir. Özellikle, sodyum aljinat ve kitosan esaslı probiyotik filmlerin depolama sırasında peyniri bozulmadan koruyabildiği ve ürün stabilitesinin korunmasında antimikrobiyal probiyotik kaplama formülasyonlarının kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Bir başka çalışmada (Silva ve ark., 2022) bakteriyosin üreten *Lc. lactis* ve *Lc. garvieae*, aljinat ve maltodeskrin içeren yenilebilir kaplama formülasyonlarının taze peynirde kullanımı araştırılmıştır. Kaplama uygulamasının depolama sırasında peynirin bazı özellikleri ile *L. monocytogenes* ve aerobik mezofilik bakterilerin gelişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kaplama işleminin peynirde nem ve ağırlık kaybını engellemede etkili olduğu rapor edilmiştir. Kaplama işleminin depolamanın (4 °C) 6. ve 8. günlerinde aerobik mezofilik bakterilerin gelişimini önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir. Peynirin kaplanmasının yüzeyde *L. monocytogenes*

kontaminasyonunu ve bakterilerin yüzeyden peynire geçişini önemli ölçüde engellediği bildirilmiştir. Aljinat-maltodekstrin-gliserol formülasyonunun *Lactococcus* hücrelerinin canlılığını ve bakteriyosin üretimini desteklemek için mükemmel bir matris sağladığı ve bakteriyel kontaminasyonu azaltarak taze peynirlerde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

2.12. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi TOPSIS

Çok kriterli karar verme, birden fazla alternatif arasından konu ile ilgili kriterler ve kriterlerin önem derecesine göre yapılan seçim işlemidir. Çok kriterli karar verme yöntemleri, alternatif ve kriter sayılarının fazla olması durumunda karar verme sürecini kontrol altında tutabilmeye yardımcı olmaktadır. Ağırlıklı Toplam Yöntemi (ATY), Ağırlıklı Çarpım Yöntemi (AÇY), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE uygulamalarda sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri arasındadır (Karakaşoğlu, 2008).

Çok kriterli karar verme teknikleri arasında TOPSIS yöntemi ideal ve ideal karşıtı çözümleri aynı anda dikkate alması, sağlam temelli mantık yapısı ve kolay hesaplama prosedürü ile yaygın olarak kullanılmaktadır (Karakaşoğlu, 2008). TOPSIS (Technique for order performance by ideal solution) pozitif bir ideal noktadan minimum uzaklığa ve negatif bir ideal noktadan maksimum uzaklığa dayalı olarak sonlu bir alternatifler kümesinden çözümleri belirlemeye yarayan bir yöntemdir (Wang ve ark., 2014). Bu teknik seçilen alternatifin negatif ideal çözüme en uzak, pozitif ideal çözüme en yakın mesafede olması prensibine dayanmaktadır (Ozturk ve ark., 2014).

TOPSIS yaklaşımı sırası ile karar matsininin oluşturulması, karar matrisinin normalize edilmesi, ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulması, negatif ve pozitif ideal çözümlerin bulunması, her bir alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklığının hesaplanması ve pozitif ideal çözüme benzerliğin hesaplanması olmak üzere altı aşamadan oluşmaktadır (Wang ve ark., 2014).

Farklı alanlarda TOPSIS yaklaşımının uygulandığı pek çok çalışma bulunmasına rağmen, gıda maddeleri üzerinde bu yöntemin uygulandığı çalışmaların sayısı sınırlıdır (Ozturk ve ark., 2014; Ansarifard ve ark., 2015; Gul ve ark., 2018; Tuta Şimşek, 2019). Bununla birlikte, yenilebilir filmlerde en iyi film formülasyonunun belirlenmesi amacıyla TOPSIS yönteminin kullanıldığı bazı çalışmalar bulunmaktadır (Tural 2016; Tural ve Turhan, 2017; Sarıcaoğlu 2018). Tural (2016) tarafından hamsi atık proteini kullanılarak üretilen yenilebilir filmlerde en iyi protein ve gliserol konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Karar verme kriterleri olarak filmlerin opaklık, suda çözünürlük, su buharı geçirgenliği ve oksijen geçirgenliği değerleri negatif kriterler olarak değerlendirilmiştir. Gerilme direnci ve uzama katsayısı özellikleri ise pozitif kriterler olarak ele alınmış olup belirlenen katsayılar doğrultusunda film örneklerinde en iyi film formülasyonları tespit edilmiştir. Bir başka araştırmacı (Sarıcaoğlu, 2018) tarafından mekanik ayrılmış tavuk etinden ekstrakte edilen proteinler kullanılarak üretilen yenilebilir filmlerde en iyi protein ve gliserol konsantrasyonları belirlenmiştir. En iyi protein ve gliserol oranlarının belirlenmesi amacıyla TOPSIS yöntemi kullanılmış ve karar verme kriterleri olarak opaklık, suda çözünürlük, su buharı geçirgenliği, oksijen geçirgenliği, gerilme direnci ve uzama katsayısı özellikleri dikkate alınmıştır. Karar verme matrisinde opaklık, suda çözünürlük, su buharı geçirgenliği, oksijen geçirgenliği, gerilme direnci ve uzama katsayısı için sırası ile 0.10, 0.15, 0.20, 0.15, 0.20. ve 0.20 katsayıları kullanılarak en iyi film örnekleri belirlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Yenilebilir film üretiminde plastikleştirici olarak kullanılan gliserol Sigma-Aldrich'ten (Stenheim, Germany), polimer olarak kullanılan Alfasol marka sodyum kazeinat (%86.5 protein) Kimbiotek A.Ş.'den (İstanbul), inülin (IN) Kimbiotek A.Ş.'den (İstanbul), fruktooligosakkarit (FOS) Sinerji Gıda Kimya Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'den (İstanbul) tedarik edilmiştir. Sodyum klorür, L-sistein-HCl, tamponlanmış peptonlu su, fosfat tamponlu su (PBS), de Man-Rogosa-Sharpe (MRS) agar ve broth Merck'ten temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılan Eritme peynirleri Adıyaman ilinde yerel üretim yapan bir firmadan taze olarak temin edilmiştir. Kontrollü şekilde gerçekleştirilen Eritme peyniri üretimine ait akış şeması Ek 1'de verilmiştir. Peynirler dilimleme makinası ile 9 cm * 7 cm * 0.3 cm olacak şekilde dilimlenmiş ve kaplama işlemine kadar buzdolabında muhafaza edilmiştir. Ayrıca, araştırmada kullanılan taze Eritme peynirin bileşimi Ek 2'de gösterilmiştir. Peynir analizlerinde kullanılan kimyasallar ise Sigma-Aldrich'ten (Stenheim, Germany) sağlanmıştır.

3.1.1. Mikroorganizmalar, besiyerleri ve dilüsyon sıvıları

Bifidobacterium bifidum BB-12 ve *Lactobacillus rhamnosus* GG liyofilize kültürleri Chr. Hansen A/S'den (İstanbul) temin edilmiş ve -20 °C'de muhafaza edilmiştir. Probiyotik kültürlerin çoğaltılmasında MRS (de Man, Rogosa and Sharpe) broth ve probiyotik kültürlerin sayılmasında MRS agar kullanılmıştır.

L. rhamnosus GG pelletlerinin yıkanmasında kullanılan fosfat tamponlu tuz tabletleri her bir tabletin 200 mL saf su içinde çözündürülmesiyle hazırlanmıştır. *B. bifidum* BB-12 pelletlerinin yıkanmasında %0.85'lik (a/h) sodyum klorür çözeltisi kullanılmıştır. *L. rhamnosus* GG ve *B. bifidum* BB-12 sayımında seyreltme amacıyla

sırasıyla %0.1'lik (a/h) tamponlanmış peptonlu su ve %0.85'lik sodyum klorür kullanılmıştır. Tüm besiyerleri ve dilüsyon sıvıları otoklavda 121 °C'de 15 dakika sterilize edilerek hazırlanmıştır. *B. bifidum* BB-12 gelişiminde ve sayımında kullanılan besiyerine otoklavda sterilize edildikten sonra %0.05 (a/h) oranında L-Sistein-HCl ilave edilmiştir. Bu amaçla, 40 °C'ye soğutulan 5 mL MRS broth içerisinde %0.05 g sistein çözündürülerek 0.45 µm steril filtreden geçirilmiş ve ardından besiyeri hacmi 100 mL'ye tamamlanmıştır (Pereira ve ark., 2018). MRS agara sistein ilavesi ise başlangıçta toplam hacime ilave edilmeyen 5 ml saf su içerisinde sisteinin çözündürülmesi ve ardından filtreden geçirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Probiyotik kültürlerin hazırlanması, çoğaltılması ve ayrılması

L. rhamnosus GG stok kültürü Burgain ve ark. (2013a) tarafından önerilen yöntemin modifiye edilmesiyle hazırlanmıştır. 0.1 g liyofilize kültür 10 mL steril MRS broth'a aktarılmış ve 37 °C'de 16-18 saat inkübasyona bırakılmıştır. Elde edilen kültür 1000 mL steril MRS broth içine aşılanarak 37 °C'de anaerobik koşullarda 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda 50 mL'lik hacimlerde steril tüplere aktarılan kültürler 3000 g ve 4 °C'de 5 dakika santrifüj edildikten sonra 5 mL PBS ile yıkanmıştır. Bu işlem 2 kez tekrarlanmıştır (Ebrahimi ve ark., 2018; Ceylan ve Atasoy, 2022).

B. bifidum BB-12 stok kültürü Pereira ve ark. (2018) tarafından önerilen yöntemin modifiye edilmesiyle hazırlanmıştır. 0.1 g liyofilize kültür 10 mL sistein içeren steril MRS broth'a aktarılmış ve 37 °C'de 16-18 saat anaerobik inkübasyona bırakılmıştır. Elde edilen kültür 1000 mL sistein içeren steril MRS broth içine aşılanarak anaerocult A içeren anaerobik kavanoz içinde 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda 50 mL'lik hacimlerde steril tüplere aktarılan *B. bifidum* BB-12 kültürleri 4000 g ve 4 °C'de 10 dakika santrifüj edildikten sonra 5 mL NaCl ile yıkanmıştır (Ebrahimi ve ark., 2018; Ceylan ve Atasoy, 2022). Yıkama işlemi 2 kez tekrarlanmıştır. Elde edilen pelletler doğrudan film çözeltisine ilave edilmiştir. Her bir film çözeltisine toplam 150 mL besiyerinden elde edilen pelletler aktarılmıştır.

3.2.2. Film çözeltisinin hazırlanması ve film üretimi

Çizelge 3.1.'de gösterildiği şekilde farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren 16 farklı film çözeltisi hazırlanmıştır. Polimer, prebiyotik ve plastikleştirici oranlarına yapılan ön denemeler sonunda karar verilmiştir. %5'lik (a/h) sodyum kazeinat, %0-3 (a/h) IN ve %0-3 (a/h) FOS ve toplam katı madde miktarının %30'u oranında gliserol (a/a) içeren film çözeltileri hazırlanmıştır. Steril saf su ile sodyum kazeinat, IN, FOS ve gliserol ile hazırlanan film çözeltisi manyetik karıştırıcıda sabit hızda 1 saat karıştırılmıştır. Ardından polimerin tamamen çözünmesi ve patojenlerin inhibisyonu için su banyosunda 90 °C'de 30 dakika ısıtılmasına tabi tutulmuştur. Film çözeltisi su banyosundan çıkarıldıktan sonra UV altında soğumaya bırakılmıştır. 40 °C'ye kadar soğutulan film çözeltisine probiyotik pelletler (9 log kob/mL, 150 mL brothttan elde edilen pelletler) ilave edilmiştir. Pelletlerin tamamen çözünmesi için 20 dakika manyetik karıştırıcıda homojenize edilmiştir. Homojenizasyon sonunda aseptik koşullarda 8.5 mL film solüsyonu, 8.5 cm çaplı steril petrilere dökülerek steril kabinde 16 saat kurumaya bırakılmıştır (Soukoulis ve ark., 2017; Civelek, 2019; Ceylan ve Atasoy, 2022).

Çizelge 3.1. Farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren film formülasyonları

	FOS			
	0 (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)
IN	0 (%)	1 numaralı örnek	5 numaralı örnek	9 numaralı örnek
	1 (%)	2 numaralı örnek	6 numaralı örnek	10 numaralı örnek
	2 (%)	3 numaralı örnek	7 numaralı örnek	11 numaralı örnek
	3 (%)	4 numaralı örnek	8 numaralı örnek	12 numaralı örnek
FOS	0 (%)	13 numaralı örnek	5 numaralı örnek	9 numaralı örnek
	1 (%)	14 numaralı örnek	6 numaralı örnek	10 numaralı örnek
	2 (%)	15 numaralı örnek	7 numaralı örnek	11 numaralı örnek
	3 (%)	16 numaralı örnek	8 numaralı örnek	12 numaralı örnek

FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin

Elde edilen filmler steril pens ile soyularak steril kilitli poşetler içinde muhafaza edilmiştir. Probiyotik bakteri canlılığının tespit edileceği örnekler analize kadar 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Fiziksel, kimyasal ve mekaniksel analizlere tabi tutulacak örnekler ise 53 ± 2 bağıl nem ve 25 ± 2 °C sıcaklıkta 48 saat şartlandırma işlemine

tabi tutulmuştur (Ceylan ve Atasoy, 2022). Filmlerde kalınlık ölçümü şartlandırma öncesinde yapılmıştır. Tüm analizler 3 paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Film çözeltisinde yapılan analizler

Probiyotik mikroorganizma sayısının ve kuruma sonrası probiyotik canlılığın hesaplanmasında kullanılmak üzere film çözeltilerinin yoğunluğu (g/mL) gravimetrik olarak tespit edilmiştir (Soukoulis ve ark., 2017). Ayrıca, film çözeltilerinin nem içerikleri gravimetrik yöntemle % olarak hesaplanmıştır.

3.2.4. Film çözeltisinde ve filmde probiyotik bakteri sayısı

Film çözeltilerinde ve kuruma sonrası filmlerde probiyotik mikroorganizma canlılığını tespit etmek amacıyla Ebrahimi ve ark. (2018) tarafından önerilen yöntemde yapılan modifikasyonlarla uygun dilüsyonlar hazırlanmıştır. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren 1 mL film çözeltileri sırası ile 9 mL steril peptonlu su ve sodyum klorür içinde vorteks ile karıştırılarak uygun dilüsyonlar elde edilmiştir. Film örnekleri için 1 g film *L. rhamnosus* GG ve *B. bifidum* BB-12 sayımı için 99 mL steril peptonlu su ve sodyum klorür içerisinde 37 °C'lik su banyosunda çözünmeye bırakılmış ve ardından seri dilüsyonlar hazırlanmıştır.

L. rhamnosus GG ve *B. bifidum* BB-12 içeren örneklerin uygun dilüsyonları sırası ile MRS ve %0.05 (a/h) sistein içeren MRS agara dökme plak yöntemi ile aktarılmıştır. *L. rhamnosus* GG ve *B. bifidum* BB-12 sayımları 37 °C'de anaerobik koşullarda 72 saat inkübasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir (Ebrahimi ve ark., 2018; Pereira ve ark., 2018; Ceylan ve Atasoy, 2022).

Bununla birlikte, filmlerde dehidrasyon sonrası probiyotik canlılığı Soukoulis ve ark. (2014a) tarafından önerilen yöntem esas alınarak tespit edilmiştir. Bu amaçla, Eşitlik 3.1 kullanılarak filmlerde kuruma prosesi sonrası % canlılık hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Canlılık} = 100 * N/N_0 \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte; N ; kuruma prosesi sonrası probiyotik bakteri sayısını; N_0 ; kuruma öncesi film solüsyonunda probiyotik bakteri sayısını ifade etmektedir. Film solüsyonunda ve filmde toplam canlı probiyotik sayısı sırası ile film solüsyonu yoğunluğu ve film kurumadde içeriği esas alınarak log kob/g olacak şekilde hesaplanmıştır.

3.2.5. Film analizleri

3.2.5.1. Ağırlık

Filmlerin ağırlıkları 0.0001 hassasiyet ile analitik bir terazi (Shimadzu, ATX 224, Japan) yardımıyla tespit edilmiştir.

3.2.5.2. Kalınlık

Filmlerin kalınlıkları 0.001 hassasiyet ile dijital bir mikrometre yardımıyla (Insize, 3108-25A, Germany) tespit edilmiştir. Bu amaçla rastgele seçilen 3 örnekte en az 6 noktadan ölçüm alınmış ve ortalama film kalınlığı hesaplanmıştır (Ceylan ve Atasoy, 2022). Film kalınlığı mekaniksel özellikler, su buharı geçirgenliği ve opaklık özelliklerinin hesaplamalarında kullanılmıştır.

3.2.5.3. Nem içeriği

Filmlerin % nem içeriği Kanmani ve Lim (2013) tarafından belirtilen yöntem ile belirlenmiştir. Nem içeriği için 45 mm * 10 mm boyutunda kesilen film 105 °C’de 12 saat sabit ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuştur. Nem değeri, kurutma sonrası ağırlık kaybının yüzdesi kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.5.4. Işık bariyer özellikleri

Filmlerin ışık bariyer özellikleri Al-Hassan ve Norziah (2012) tarafından belirtilen yöntemle göre 600 nm dalga boyunda UV/Visible spektrofotometre

(Biochrom Libra, S60, UK) ölçümü ile gerçekleştirilmiştir. Uygun boyutlarda kesilen filmin spektrofotometre küvetinin bir yüzeyine yerleştirilerek absorbansı ölçülmüştür. Film opaklık değeri aşağıda verilen formüle göre (3.2) hesaplanmıştır. Boş spektrofotometre küveti ise kontrol olarak kullanılmıştır.

$$T = A_{600} / x \quad (3.2)$$

Burada T; opaklığı, A; 600 nm’de ölçülen absorbansı, x; kalınlığı (mm) ifade etmektedir.

3.2.5.5. Mekaniksel özellikler

Filmlerde mekaniksel özellikler ASTM D882-02 yöntemi esas alınarak TA-XT Plus Texture Analyser cihazı (Godalming, UK) ile tespit edilmiştir (ASTM, 2018). Bu amaçla, 45x10 mm boyutlarında kesilen film örnekleri probun (AT/G Mini Tensile Grips) iki ucu arasına yerleştirilerek analize tabi tutulmuştur. Analiz sırasında test hızı 1 mm/s, test sonrası hız 10 mm/s ve testin başlaması için gerekli başlatma gücü 10 g olacak şekilde ayarlanmıştır.

Tekstür analiz cihazına bağlı bilgisayar programı aracılığıyla filmlerde gerilme direnci (GD) ve uzama katsayısı (%UK) değerleri hesaplanmıştır. Gerilme direnci, kopma anında filme uygulanan maksimum kuvvetin filmin başlangıç yüzey alanına bölünmesi ile; uzama katsayısı, film uzunluğunda meydana gelen değişimin film başlangıç boyutuna oranlanması ile yüzde olarak (Eşitlik 3.3) hesaplanmaktadır. Tüm ölçümler 6 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

$$GD = F_{\max} / A \quad (3.3)$$

Burada GD; gerilme direnci (MPa), $F_{\max}$; kopma anında filme uygulanan maksimum kuvvet (N), A; filmin başlangıç kesit alanını (film kalınlığı x film eni, mm²) ifade etmektedir.

$$UK=(L/L_0) * 100 \quad (3.4)$$

Burada UK; uzama katsayısı (%), L; filmin kopma anındaki uzunluk farkı (mm), L_0 ; filmin başlangıç uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.

3.2.6. TOPSIS yöntemi ile en iyi film formülasyonunun belirlenmesi

Bu çalışmada, probiyotik içeren yenilebilir filmlerde optimum fruktooligosakkarit (FOS) ve inülin (IN) konsantrasyonunu belirlemek için TOPSIS (Technique for order performance by ideal solution) tekniği kullanılmıştır. TOPSIS yönteminde seçim kriterleri olarak opaklık, dehidrasyon işleminden sonra probiyotik canlılığı, gerilme direnci (GD) ve uzama katsayısı (UK) olarak seçilmiştir. Bu yaklaşımda opaklık negatif kriter olarak kabul edilirken diğerleri pozitif kriterler olarak kabul edilmiştir.

TOPSIS yaklaşımı aşağıda ifade edildiği şekilde altı adımdan oluşmaktadır (Ozturk ve ark., 2014; Wang ve ark., 2014; Tural ve Turhan, 2017).

- 1. adım: Eşitlik 3.5 ile karar matrisi oluşturulması,

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Burada m; karar noktaları, n değerlendirme göstergelerini ifade etmektedir.

- 2. adım: Eşitlik 3.6 ile karar matrisinin normalize edilmesi,

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad k=1,2,3,\dots,i,\dots,k \quad i=1,2,\dots \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte X_{ij} ; normalize edilmiş değer, a_{ij} ; kriterlerin gerçek değerini ifade etmektedir.

- 3. adım: Eşitlik 3.7 ile ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin elde edilmesi,

$$V_{ij} = X_{ij} \times W_{ij} \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte V_{ij} ; ağırlıklandırılmış normalize değeri, W_{ij} ; ise her bir kriterin ağırlık katsayısını ifade etmektedir. Karar modelinde katsayılar opaklık için 0.15, GD için 0.20, UK için 0.20 ve dehidrasyon işleminden sonra probiyotik canlılığı için 0.45 olarak alınmıştır. Bu kriterler ve ağırlık katsayılarına araştırma ekibi tarafından karar verilmiş olup her bir kriter ve ağırlık katsayısı için kullanım amacına göre değişiklik yapılabilmektedir.

- 4. adım: Eşitlik 3.8 ve 3.9 kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümlerin hesaplanması,

$$A^+ = (V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_n^+) \text{ (Maksimum değerler)} \quad (3.8)$$

$$A^- = (V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_n^-) \text{ (Minimum değerler)} \quad (3.9)$$

- 5. adım: Her alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümden uzaklığının eşitlik 3.10 ve 3.11'e göre hesaplanması,

$$d_i^+ = \sqrt{(V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (3.10)$$

$$d_i^- = \sqrt{(V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (3.11)$$

Bu eşitlikte; d_i^+ ve d_i^- her alternatifin pozitif ve negatif çözümden uzaklığıdır.

- 6. adım: Eşitlik 3.12 ile her alternatifin yakınlık katsayısının (C) hesaplanması,

$$C = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \quad (3.12)$$

Yakınlık katsayısı 0 ile 1 arasında değişmektedir ve en yüksek C değerine sahip örnek en iyi alternatif olarak seçilmektedir.

L. rhamnosus ve *B. bifidum* içeren yenilebilir film örnekleri için TOPSIS yöntemi ile elde edilen sonuçlardan en yüksek C değerine sahip olan film örnekleri tespit edilmiştir. Ardından bu filmlerin karakterizasyonu için analizler gerçekleştirilmiştir. 4 °C’de depolanan optimum film örneklerinde depolamanın 1., 7., 15., 45., 60. ve 90. gününde probiyotik canlılıkları belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen film formülasyonları dilimlenmiş Eritme peynirlerinin kaplanması kullanılmış ve 4 °C’de depolama boyunca peynirin fizikokimyasal, renk ve tekstürel özellikleri ile probiyotik canlılığı araştırılmıştır.

3.2.7. TOPSIS yöntemi ile belirlenen en iyi filmlerin karakterizasyonu

3.2.7.1. Kalınlık

Optimum filmlerin kalınlığı Bölüm 3.2.5.2.’de belirtilen yöntem esas alınarak hesaplanmıştır.

3.2.7.2. Suda çözünürlük

Filmlerin suda çözünürlüğü (SÇ) Kanmani ve Lim (2013) tarafından belirtilen yöntem ile belirlenmiştir. Bu amaçla, film örnekleri 45 mm * 10 mm boyutunda kesilmiş ve 105 °C’de 12 saat kurutularak sabit tartıma getirilmiştir. Sabit tartıma getirilen film distile su içinde oda sıcaklığında manyetik bir karıştırıcı ile 3 dakika karıştırılmıştır. Bu süre sonunda film yeniden sabit tartıma ulaşıncaya kadar 105 °C’de kurutulmuş ve son ağırlığı kaydedilmiştir. Kuru filmin çözünme öncesi ve sonrası ağırlık farkı suda çözünen madde olarak kuru filmin başlangıç ağırlığı üzerinden % olarak hesaplanmıştır (Ceylan ve Atasoy, 2022).

3.2.7.3. Su buharı geçirgenliği

Filmlerin su buharı geçirgenliği (SBG) ASTM E 96 yöntemi esas alınarak hesaplanmıştır. ASTM standardında belirtilen ölçülere göre hazırlanan korozyona dirençli özel kaplar içerisine 105 °C’de kurutulmuş silika jel aktarılmış ve kabın ağzı film ile sızdırmayacak şekilde kaplanmıştır. Ardından, örnekler saf su içeren desikatör içerisinde 25 °C’lik etüve yerleştirilmiş ve deney kaplarının 1’er saat aralıklar ile 8 saat boyunca zamana karşı ağırlık değişimleri kaydedilmiştir. Filmlerin SBG değerleri ASTM metodunda verilen formüle (3.13) hesaplanmıştır (ASTM, 1995; Ceylan ve Atasoy, 2022).

$$SBG = (w/t) * (x/\Delta P * A) \quad (3.13)$$

Burada w/t; zamana bağlı meydana gelen ağırlık değişimini (g/saat), ΔP ; basınç farkını (kPa), x; film kalınlığını (mm), A; kullanılan kabın yüzey alanını (m², R:62 mm) ifade etmektedir. Ayrıca ΔP ; desikatör bağıl nemi (%100) ve analiz kabı bağıl nemi (%0) farkının, 25 °C’deki saf suyun doymuş buhar basıncı (3.168 kPa) ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

3.2.7.4. Oksijen geçirgenliği

TOPSIS yöntemi ile belirlenen en iyi film örneklerinin oksijen geçirgenliği (OG) peroksit sayısı (PS) analizi esas alınarak hesaplanmıştır. Bu amaçla, 25 ml’lik erlen içerisine 10 ml Ayçiçek yağı aktarılmış ve erlenin ağzı film örneği ile hava geçirmeyecek şekilde kapatılmıştır. Film örnekleri ile kaplanmış erlenler 60 °C’de karanlık bir ortamda 10 gün depolanmıştır. Depolama sonunda Ayçiçek yağında titrimetrik yöntem ile tespit edilen peroksit sayısı oksijen geçirgenliğinin yorumlanması için kullanılmıştır (Kurt ve Kahyaoğlu, 2014; Sarıcaoğlu, 2018; Ceylan ve Atasoy, 2022).

3.2.7.5. Renk özellikleri

Filmlerde kolorimetre ile (Minolta, CR-400, Japan) CIE Lab renk ölçüm sistemi esas alınarak L^* , a^* , b^* tespit edilmiştir. Bu amaçla, beyaz zemin üzerine yerleştirilen film örneklerinde en az 10 noktadan ölçüm yapılarak ortalama L^* , a^* ve b^* değerleri hesaplanmıştır (Ebrahimi ve ark., 2018).

3.2.7.6. Mikroyapısal özellikler

Filmlerin mikroyapısal analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM; Zeiss & Evo LS 10, Germany) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi SEM laboratuvarında yaptırılmıştır. Bu amaçla, nemi uzaklaştırılmış film örnekleri ölçüm öncesi altın-paladyum kaplama cihazı (Quorum, SC7620, UK) kullanılarak altın-paladyum ile kaplanmış ve filmlerin yüzey görüntüleri elde edilmiştir.

3.2.7.7. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Örneklere ait FTIR spektrumları, Shimadzu marka QATR-S model FTIR spektrofotometresi kullanılarak tespit edilmiştir. Bu amaçla, nemi uzaklaştırılmış filmlerin $600-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında 32 tarama ve 4 cm^{-1} çözünürlük ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (Kurt ve Kahyaoglu, 2014; Pereira ve ark., 2019a). Örneklere ait FTIR spektrumları Origin 2021 programı aracılığıyla düzenlenmiştir.

3.2.7.8. Filmlerde depolama boyunca probiyotik canlılığı

TOPSIS yöntemi ile belirlenen en iyi filmlerde kuruma sonrası ve $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de depolama boyunca probiyotik mikroorganizma canlılığı tespit edilmiştir. *L. rhamnosus* ve *B. bifidum* sayımları Bölüm 3.2.4'te ifade edilen yöntem esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bununla birlikte probiyotiklerin depolama sırasında inaktivasyon kinetiği Eşitlik 3.14'e göre hesaplanmıştır.

$$\log N_t = \log N_0 - k_T t \quad (3.14)$$

Burada N_0 ; başlangıç probiyotik bakteri sayısı (kob/g), N_t ; belirli bir depolama süresindeki probiyotik bakteri sayısı (kob/g), t ; depolama süresi (gün), k_T ; T °C sıcaklıkta inaktivasyon oran sabitini (kob/g gün⁻¹) ifade etmektedir. Ayrıca, k_T değeri ile probiyotik canlı sayısının 6 log kob/g değerine düşmesi gereken süre göz önüne alınarak raf ömrü değeri hesaplanmıştır (Soukoulis ve ark., 2016; Ceylan ve Atasoy, 2022).

3.2.8. Peynirin en iyi film formülasyonları ile kaplanması

TOPSIS yöntemi ile belirlenerek dilimlenmiş Eritme peynirlerinin kaplanmasında kullanılacak olan film formülasyonları Bölüm 3.2.2'de anlatıldığı şekilde hazırlanmıştır. Peynir dilimlerinin kaplanması ve kaplamanın kurutulması işlemleri kontaminasyonu engellemek amacıyla laminar akışlı bir steril kabin içerisinde gerçekleştirilmiştir. Peynirin kaplanması işlemi yapılan ön denemeler sonunda belirlenmiş ve kaplama işlemi peynir örneğinin yaklaşık 8 log kob/g probiyotik bakteri içereceği şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, her bir peynir dilimi kaplama solüsyonuna 1.5 dakika daldırıldıktan sonra kabin içerisine daha önce yerleştirilmiş olan steril çelik tellere asılarak 1 saat kurumaya bırakılmıştır. Bu işlemler üç kez tekrarlanmış ve kaplanmış peynirler steril kilitli poşetler içerisinde 4 °C'de 30 gün boyunca depolanmıştır. Peynir örneklerinin kaplanması işlemine ait görseller Ek 3'te gösterilmiştir.

Eritme peynirlerinin fizikokimyasal, tekstür ve renk analizleri depolamanın 1., 15. ve 30. günlerinde gerçekleştirilmiştir. Depolamanın 1., 7., 15. ve 30. günlerinde probiyotik bakteri sayısı belirlenmiştir. Tüm analizler 3 paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, örnekler depolamanın 7. günü sonunda duyuusal değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

Çalışmamızda BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), SK (prebiyotikler ve probiyotik bakteriler olmayan (sadece sodyum kazeinat içeren) solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan) olmak üzere sekiz adet örnek grubu elde edilmiştir.

3.2.9. Peynir örneklerinde yapılan analizler

3.2.9.1. pH tayini

Saf su ile 1:10 oranında seyreltilen peynir örneklerinin pH değeri dijital bir pH metre (Hanna, 2215, USA) kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.9.2. Titrasyon asitliği tayini

10 g örnek üzerine 40 °C’de 105 mL saf su ilave edilmiş ve karışım bir homojenizatör yardımı ile homojenize edilmiştir. Elde edilen karışım kaba filtre kâğıdı ile süzölmüş ve 25 mL süzöntü 0.1 N NaOH ile titre edilmiştir. Titrasyon asitliği değeri % laktik asit olarak hesaplanmıştır (Öner ve Aloğlu, 2018).

3.2.9.3. Nem tayini

Peynir örneklerinin nem (%) miktarı etüvde kurutma yöntemi ile gravimetrik olarak belirlenmiştir (TSE, 1989).

3.2.9.4. Yağ analizi

Yağ analizi 0-40 taksimatlı Van Gulik butirometresi kullanılarak Gerber yöntemine göre gerçekleştirilmiştir (Öner ve Şanlıdere Aloğlu, 2018).

3.2.9.5. Protein tayini

Peynirlerin protein içeriği örneklerin yaş yakmaya tabi tutulmasının ardından Kjeldahl yöntemi ile tespit edilen azot miktarlarının 6.38 faktörü ile çarpılması ile belirlenmiştir (IDF, 1993).

3.2.9.6. Su aktivitesi tayini

Peynir örneklerinin su aktivitesi (a_w) değerleri 0.001 hassasiyete sahip su aktivitesi cihazı (Aqualab Pre, USA) kullanılarak tespit edilmiştir. Bu amaçla, bir miktar parçalanmış peynir örneği cihaz haznesine yerleştirilmiş ve okuma sonunda su aktivitesi değerleri kaydedilmiştir.

3.2.9.7. Ağırlık kaybı

Depolamanın 15. ve 30. günleri için peynir örneklerinin ağırlık kaybı gravimetrik yöntem ile % olarak belirlenmiştir (Salem ve ark., 2021).

3.2.9.8. Renk analizi

Peynir örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri bir kolorimetre (Minolta, CR-400, Japonya) kullanılarak CIE Lab renk ölçüm sistemine göre belirlenmiştir. Ayrıca, toplam renk farkı (ΔE), beyazlık indeksi (WI), sarılık indeksi (YI), chroma (C^*) ve hue açısı (h°) değerleri aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanmıştır (Ramírez-Navas ve Rodríguez, 2012) ΔE hesaplanması için L_0^* ; 96.49, a_0^* ; -0.26, b_0^* ; 1.92 değerlerine sahip beyaz bir plaka standart olarak kullanılmıştır (Choi ve ark., 2016).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (3.15)$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.16)$$

$$YI = 142.86 * \frac{b^*}{L^*} \quad (3.17)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.18)$$

$$h^{\circ} = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (3.19)$$

3.2.9.9. Tekstür profili analizi

Tekstür profili analizi (TPA) tekstür analiz cihazı (TA-XT32, Stable Micro System, Godalming, UK) ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, analiz öncesinde peynir örnekleri bir kalıp yardımı ile silindir şeklinde (36 mm çap ve 3 mm kalınlık) kesilmiştir. Sıkıştırma testleri, silindirik bir prob kullanılarak 1 mm/s test hızında %20 numune deformasyonuna kadar gerçekleştirilmiştir (Cruz-Diaz ve ark., 2019). TPA parametreleri cihaza bağlı yazılım tarafından hesaplanmıştır.

3.2.9.10. Peynirde depolama boyunca probiyotik bakteri canlılığı

Mikrobiyolojik analizler için 10 g peynir numunesi 90 mL peptonlu su (%0.1'lik) ile 1 dakika Stomacher'de (Mayo, HG400) homojenize edilmiş ve ardından seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Peynir örneklerinde probiyotik bakteri sayımı için Bölüm 3.2.4'e anlatıldığı şekilde depolamanın 1., 7., 15. ve 30. günlerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Bölüm 3.2.10.8.'de belirtilen eşitlikler ile depolama boyunca peynir örneklerinde probiyotik bakterilerin inaktivasyon kinetiği ve peynir örneklerinin tahmini raf ömrü değerleri hesaplanmıştır.

3.2.9.11. Duyusal analiz

Peynir örnekleri depolamanın ilk haftası sonunda duyusal analize tabi tutulmuştur. Örnek sayısının fazla olması sebebiyle değerlendirmelerin sağlıklı şekilde yapılabilmesi amacıyla *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren örnek gruplarında ayrı olarak duyusal analizler gerçekleştirilmiştir.

Adıyaman Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünden sigara içmeyen, sağlıklı ve analizi yapılacak gıda maddesini tüketme alışkanlığına sahip deneyimli panelistler

ile peynir örneklerinin duyusal analizi gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirmeye tabi tutulacak örnekler üç basamaklı rastgele kodlar verilerek örneklerin sunulacağı kaplar üzerinde gerekli kodlamalar analiz öncesinde yazılmıştır. Panelistler duyusal değerlendirme öncesinde analiz konusunda bilgilendirilmiştir. Ayrıca, panelistlerden değerlendirme sırasında örnekler arasında tuzsuz kraker tüketmeleri ve ağızlarını suyla çalkalamaları istenmiştir. Örneklerin duyusal değerlendirmesi sekiz kişilik eğitimli bir panelist grubu tarafından hedonik değerlendirme testi ile belirlenmiştir (Ek 4). Panelistlerden peynir örneklerini belirtilen kalite kriterleri açısından değerlendirerek puanlandırmaları istenmiştir (9: çok iyi, 1: çok kötü).

3.2.10. İstatistiksel analizler

Film ve peynir örneklerinde denemeler arasındaki farklılıkların önemini belirlemek için SPSS yazılımı kullanılarak genel doğrusal model (General Linear Model, GML) prosedürü uygulanmıştır. Ayrıca, örnekler arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir. Araştırma iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmanın bulguları; farklı oranlarda FOS ve IN içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin özellikleri, TOPSIS yöntemi ile en iyi alternatif olarak belirlenen filmlerin karakterizasyonu ve kaplanmış peynirlerin özellikleri olmak üzere 3 başlık altında ele alınmıştır.

4.1. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG İçeren Filmlerin Özellikleri

4.1.1. Film ağırlığı

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin varyans analiz sonuçlarına Çizelge 4.1.'de yer verilmiştir. Her iki örnek grubunda filmlerin ağırlık değerleri üzerinde IN, FOS ve IN*FOS etkileşiminin etkisinin önemli ($p<0.001$) olduğu tespit edilmiştir.

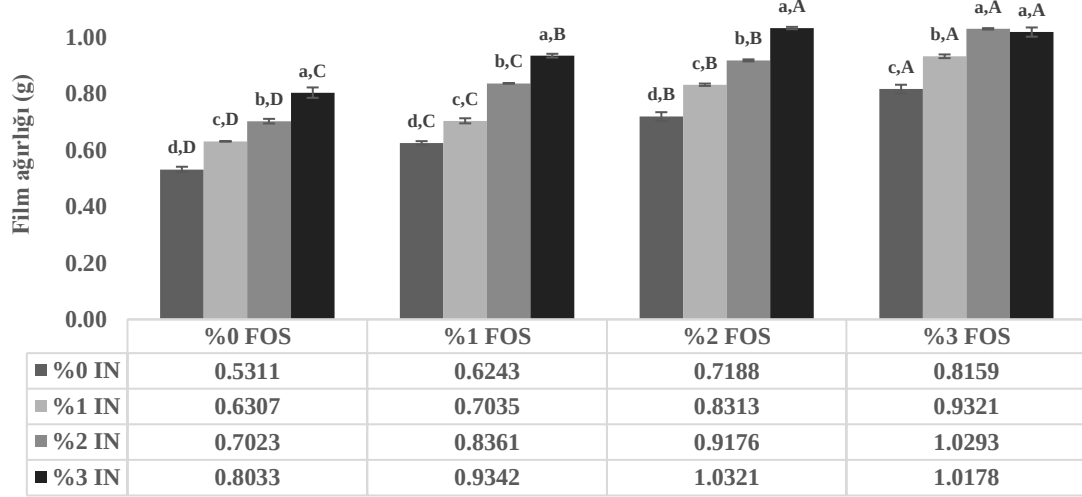
Çizelge 4.1. Filmlerin ağırlık değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
<i>B. bifidum</i> BB-12 filmler					
IN	3	0.510	0.170	1810.856	0.000***
FOS	3	0.541	0.180	1920.617	0.000***
IN*FOS	9	0.026	0.003	30.227	0.000***
Hata	32	0.003	0.000		
<i>L. rhamnosus</i> GG filmler					
IN	3	0.477	0.159	1211.149	0.000***
FOS	3	0.490	0.163	1243.875	0.000***
IN*FOS	9	0.019	0.002	15.966	0.000***
Hata	32	0.004	0.000		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin ağırlık değerleri sırası ile Şekil 4.1. ve 4.2.'de verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 filmlerin ağırlık değerleri 0.5311-1.0321 g aralığında belirlenmiştir. *L. rhamnosus* GG örneklerinde en yüksek ve en düşük ağırlık değerleri sırası ile 0.5463 ve 1.0489 g olarak saptanmıştır. Film formülasyonunda FOS ve IN kullanımı her iki örnek grubunda ağırlık artışına neden

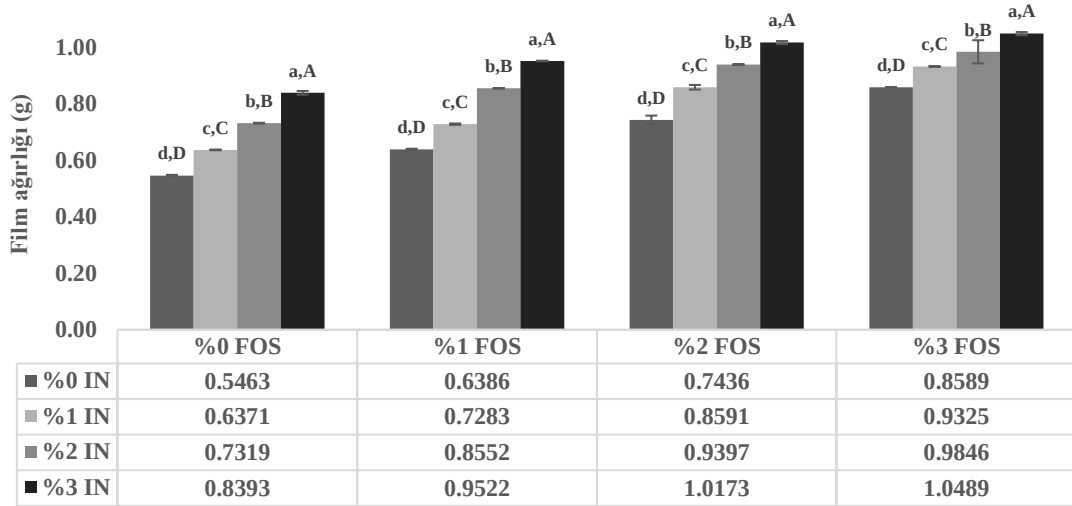
olmuştur. Her iki örnek grubunda en düşük ağırlığa sahip filmlerin %0 FOS + %0 IN örnekleri olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin ağırlıkları

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Yenilebilir filmlerde film ağırlıkları polimer türü ve oranları, kurutma koşulları, kurutulan film solüsyonunun miktarı ve kurutulduğu kabın boyutu gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ayana ve Turhan (2009) tarafından farklı oranlarda zeytin yaprağı ekstraktı içeren metilselüloz esaslı filmlerin ağırlıkları 0.644-0.901 g arasında saptanmıştır. Bir başka çalışmada (Kalkan, 2014), antimikrobiyal özellikteki metil selüloz filmlerin ağırlıkları 3.034-11.027 g aralığında bildirilmiştir. Konu ile ilgili literatür incelendiğinde, ölçüm parametreleri arasında film ağırlığı değerine sıkça rastlanmamaktadır. Ancak, film kalınlık ve nem değerlerinin bu parametreler ile korelasyonunun tartışılmasında kullanılmak üzere film ağırlığı değerine yer verilmiştir.



Şekil 4.2. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin ağırlıkları

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

4.1.2. Film kalınlığı

Kalınlık filmlerin mekanik, optik ve bariyer özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden biri olup film hazırlama tekniği ve kuruma şartlarına göre değişiklik göstermektedir (Kanmani ve Lim, 2013). Çizelge 4.2.'de *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin kalınlık değerlerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Filmlerin kalınlık değerleri üzerinde IN ve FOS ($p<0.001$) etkisinin önemli olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, IN*FOS etkileşiminin kalınlık üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

B. bifidum BB-12 içeren filmlerin ortalama kalınlık değerleri Şekil 4.3.'te verilmiştir. Farklı konsantrasyonda FOS ve IN içeren filmlerin kalınlık değerlerinin 0.0406-0.1197 mm arasında değiştiği görülmektedir. *B. bifidum* BB-12 filmlerde genel olarak prebiyotik konsantrasyonunun artışı ile daha kalın filmler elde edilmiştir. En düşük ve en yüksek kalınlık değerleri sırası ile %0 FOS + %0 IN ve %3 FOS + %3 IN içeren örneklerde belirlenmiştir.

Aynı konsantrasyonda IN içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerin kalınlık değerleri FOS konsantrasyonuna paralel olarak artış göstermiştir. Kalınlık değerlerinde meydana gelen bu artış %3 oranında IN içeren örnekler haricinde önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Bununla birlikte, aynı oranda FOS içeren filmlerde IN konsantrasyonuna bağlı olarak film kalınlıkları artış göstermiştir. %2 ve %3 FOS içeren örneklerde IN konsantrasyonunun kalınlık üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmazken ($p>0.05$), %0 ve %1 FOS içeren örneklerde önemli ($p<0.05$) bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Filmlerin kalınlık değerlerine ait varyans analiz sonuçları

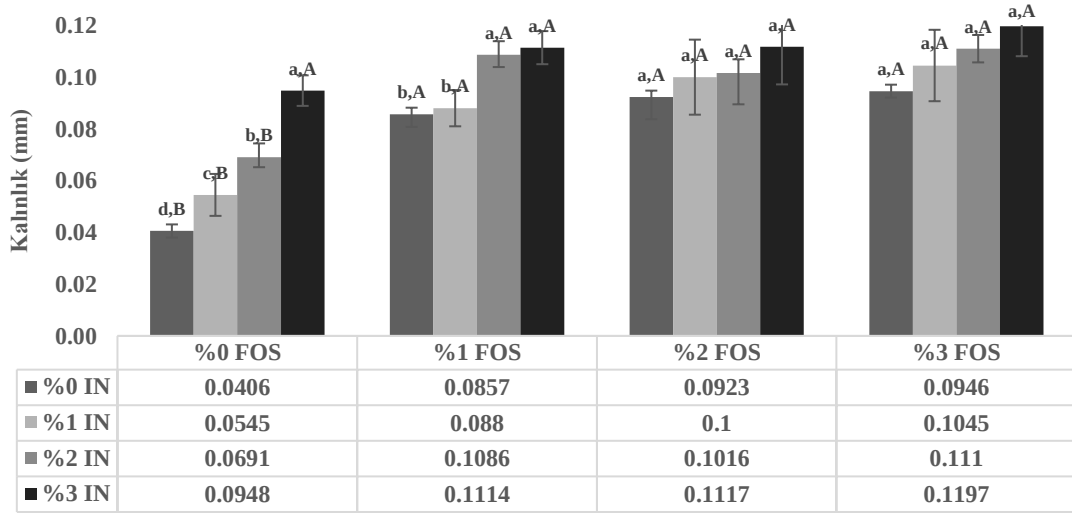
Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
<i>B. bifidum</i> BB-12 filmler					
IN	3	0.415	0.002	27.702	0.000***
FOS	3	0.007	0.004	56.262	0.000***
IN*FOS	9	0.013	0.000	2.118	0.057
Hata	32	0.003	0.000		
<i>L. rhamnosus</i> GG filmler					
IN	3	0.05	0.002	35.139	0.000***
FOS	3	0.015	0.005	106.910	0.000***
IN*FOS	9	0.001	0.092	1.927	0.083
Hata	32	0.002	0.048		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

L. rhamnosus GG içeren filmlerin ortalama kalınlık değerlerine Şekil 4.4.'te yer verilmiş ve filmlerin kalınlık değerlerinin 0.0525 ve 0.1304 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. *B. bifidum* BB-12 filmler ile benzer olarak, en kalın ve en ince filmlerin sırası ile %3 FOS + %3 IN ve %0 FOS + %0 IN örnekleri olduğu belirlenmiştir. Aynı oranda FOS içeren örneklerde IN oranının artması ile daha kalın filmler elde edilmiştir. %2 FOS içeren örnekler haricinde film kalınlığındaki artış istatistiksel olarak önemli ($p>0.05$) bulunmuştur. Bununla birlikte, aynı IN konsantrasyonunda formülasyonda yer alan FOS miktarının artışı ile film kalınlıklarının önemli düzeyde arttığı tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Yapılan çalışmalarda bildirilen kalınlık değerleri incelendiğinde, kullanılan polimer türleri ve oranlarına bağlı olarak film kalınlığının değişim gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, kurutma koşulları, kurutulan film solüsyonunun miktarı ve kurutulduğu kabın boyutu gibi faktörlere bağlı olarak bildirilen film kalınlıkları değişmektedir. %5 sodyum kazeinat ve toplam katı oranının %35'i oranında gliserol

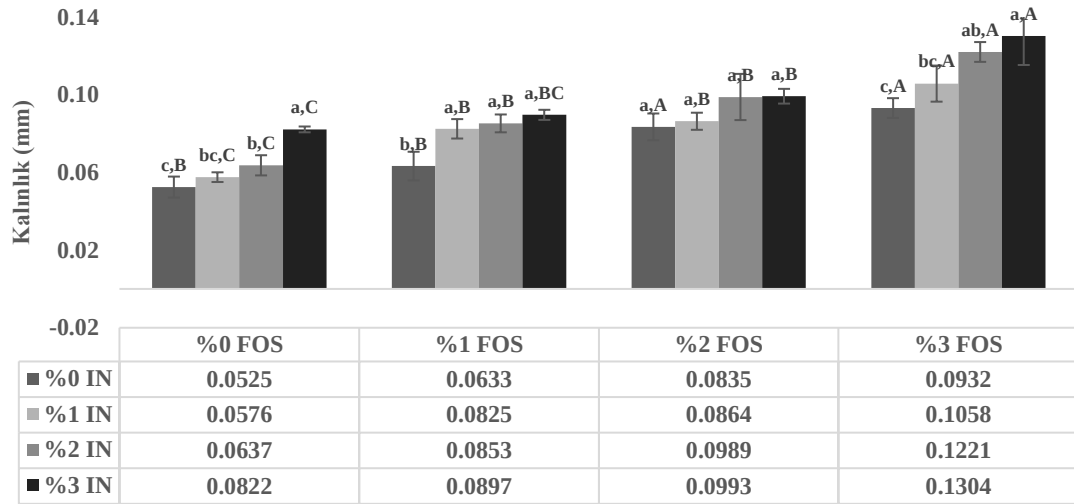
içeren filmlerde kalınlık değeri 0.088 mm (Arrieta ve ark., 2013); sodyum kazeinat, kalsiyum kazeinat, balmumu ve oleik asit içeren filmlerde kalınlık değeri 0.100 mm (Fabra ve ark., 2011) bulunmuştur. Prebiyotik içeren film formülasyonlarının incelendiği çalışmalarda da benzer bir durum söz konusudur. Bersaneti ve ark. (2016) tarafından %0, 1, 5 ve 10 FOS ve toplam katı madde miktarı %3 olacak şekilde hazırlanan nişasta esaslı filmlerde kalınlık değerlerinin 0.176-0.220 mm arasında değiştiği bildirilmiştir. Bir başka çalışmada (Xu ve ark., 2019), ksiloligosakkarit içeren selüloz nanofiber ile güçlendirilmiş hemiselüloz/kitosan esaslı filmlerde kalınlık değerleri 0.031-0.036 mm aralığında bulunmuştur.



Şekil 4.3. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin kalınlık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Çalışmamızda film formülasyonunda prebiyotik ajanların varlığı genel olarak film kalınlığının artmasına neden olmuştur. Film kalınlığındaki artışın nedeni olarak sabit hacimdeki film oluşturuç çözeltide katı madde miktarındaki artışın dehidrasyon sonrası polimer matrisi içinde kalan katı artışına sebep olması gösterilebilir (Tural, 2016; Sarıcaoğlu, 2018; Nagar ve ark., 2020).



Şekil 4.4. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin kalınlık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Prebiyotik ve probiyotik içeren filmler üzerine yapılan bazı çalışmalar sonucu elde edilen bulgular bizim araştırma sonuçlarımızı desteklemektedir. Zabihollahi ve ark. (2020) tarafından karboksimetil selüloz esaslı *L. plantarum*, selüloz nanofiber ve IN içeren filmlerde kalınlık değerleri 0.13-0.20 mm aralığında bulunmuştur. Formülasyona IN ilavesinin film kalınlığını önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir. IN ilavesi ile film kalınlığında meydana gelen değişim kurumadde içeriğinin artışı ve buna bağlı olarak film matrisinin değişmesi ile açıklanmıştır.

Bir başka çalışmada (Phovisay ve ark., 2018), sodyum aljinat, IN, gam arabik, konjak unu ve pektinden oluşan prebiyotik ajanlar ile hazırlanan jelatin esaslı probiyotik filmlerde kalınlık değerleri 0.09-0.12 mm aralığında bulunmuştur. Konjak unu ile hazırlanan filmlerin kalınlık değerinin diğer örnek gruplarından önemli ölçüde farklı olduğu bildirilmiştir. Ancak, konjak unu haricinde kullanılan diğer prebiyotiklerin film kalınlığı üzerindeki etkisinin önemli olmadığı ifade edilmiştir.

Prebiyotik ve probiyotik içeren filmlerde yapılan bazı çalışmalarda ise prebiyotik kullanımının film kalınlığı üzerindeki etkisi önemli bulunmamıştır. Jelatin

esaslı prebiyotikler ile hazırlanmış *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde ortalama kalınlık değerleri 0.140-0.145 mm arasında bildirilmiş ve IN içeren filmlerde kalınlık 0.145 mm olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kullanılan prebiyotik liflerin film kalınlığı üzerindeki etkisinin önemli olmadığı rapor edilmiştir (Soukoulis ve ark., 2014a). Bir başka çalışmada (La Stora ve ark., 2020), serum proteini izolatu, jelatin, IN ve *L. curvatus* içeren filmlerde kalınlık değerleri 0.130-0.162 mm olarak belirlenmiş ve filmlerin kalınlık değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.3. Filmlerin kalınlık, ağırlık ve nem değerleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

	<i>B. bifidum</i> BB-12		<i>L. rhamnosus</i> GG	
	Ağırlık	Nem	Ağırlık	Nem
Kalınlık	0.837**	0.694**	0.879**	0.383**

**Korelasyon 0.01 seviyesinde önemlidir.

Filmlerin kalınlık, ağırlık ve nem değerleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları Çizelge 4.3.'te verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde kalınlık ve nem arasında pozitif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Prebiyotiklerin higroskopik özellikleri göz önüne nedeniyle prebiyotik kullanımı film nem içeriğinde artışa neden olmakta ve böylece daha kalın filmler elde edilmektedir (Orozco-Parra ve ark., 2020). Bu bulgular, kalınlık ve nem arasındaki pozitif korelasyonu desteklemektedir. Ayrıca, *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren film örneklerinin kalınlık ve ağırlık değerleri arasında pozitif yönlü bir korelasyon olduğu saptanmıştır. Daha önce de ifade edildiği üzere, prebiyotik ilavesi film ağırlığının artışına yol açmıştır.

4.1.3. Film nem içeriği

Nem içeriği filmin ağızda eriyebilirliği üzerinde etkili olmasının yanında probiyotik içeren filmlerin uzun süre depolanması sırasında probiyotik canlılığı üzerinde de kritik bir öneme sahiptir (Ebrahimi ve ark., 2018). Filmlerin nem değerlerine ait varyans analiz sonuçlarına Çizelge 4.4.'te yer verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin nem değerleri üzerinde IN ($p<0.001$), FOS ($p<0.001$) ve

IN*FOS ($p<0.01$) etkileşiminin etkisi önemli bulunmuştur. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin nem içerikleri üzerinde FOS etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). Ancak, *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin nem değerlerinde IN ve IN*FOS etkileşimi önemli bir etkiye neden olmamıştır ($p>0.05$).

Çizelge 4.4. Filmlerin nem değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
<i>B. bifidum</i> BB-12 filmler					
IN	3	56.526	18.842	24.520	0.000***
FOS	3	186.260	62.087	80.794	0.000***
IN*FOS	9	26.968	2.996	3.899	0.002**
Hata	32	24.591	0.768		
<i>L. rhamnosus</i> GG filmler					
IN	3	4.838	1.613	1.655	0.196
FOS	3	51.772	17.257	17.705	0.000***
IN*FOS	9	15.140	1.682	1.726	0.124
Hata	32	31.191	0.975		

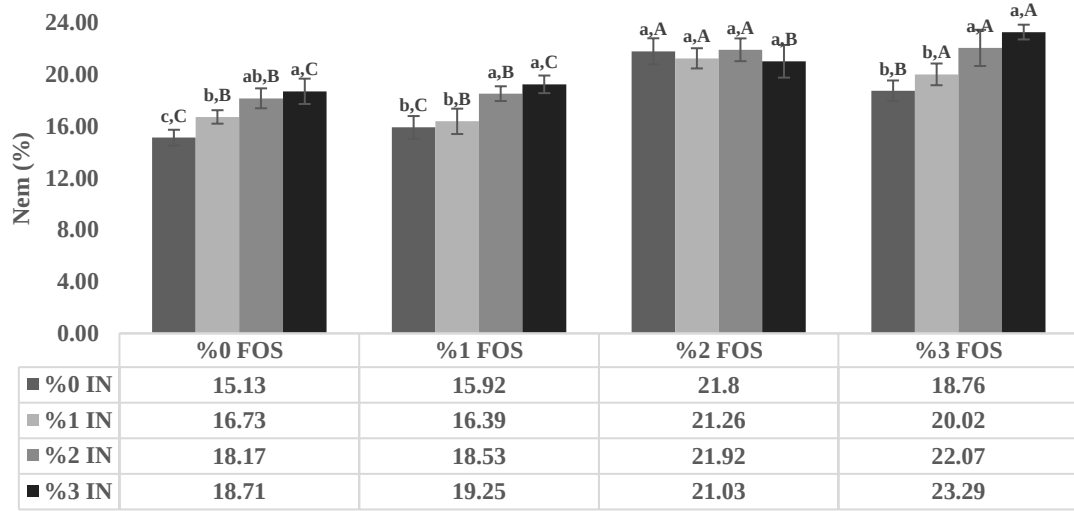
***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin nem içerikleri sırası ile Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin ortalama nem içerikleri %15.13 ile %23.29 aralığında bulunmuştur. En düşük ve en yüksek nem içerikleri sırasıyla %0 FOS + %0 IN ve %3 FOS + %3 IN içeren örneklerde tespit edilmiştir. *L. rhamnosus* GG filmlerin ortalama en yüksek ve en düşük nem içerikleri ise sırasıyla %17.91 ve %13.70 olarak tespit edilmiştir.

Aynı oranda FOS içeren *B. bifidum* BB-12 örneklerinin nem içerikleri genellikle IN konsantrasyonuna bağlı olarak artış göstermiştir. Film nem içeriklerinde görülen bu değişimin %2 FOS içeren örnek grubu haricinde önemli ($p<0.05$) olduğu saptanmıştır. Ayrıca, aynı konsantrasyonda IN içeren örnek gruplarında FOS ilavesinin nem üzerindeki etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. En yüksek nem içerikleri ise %2 ve 3 FOS içeren filmlerde tespit edilmiştir.

L. rhamnosus GG filmlerde aynı konsantrasyonda IN içeren filmlerin nem içerikleri üzerinde FOS konsantrasyonunun etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuş ve en yüksek nem %3 FOS içeren örneklerde tespit edilmiştir. Ayrıca, aynı konsantrasyonda

FOS içeren filmlerin nem içerikleri üzerinde IN oranının etkisinin %1 FOS içeren örnekler haricinde önemli olmadığı ($p>0.05$) saptanmıştır.

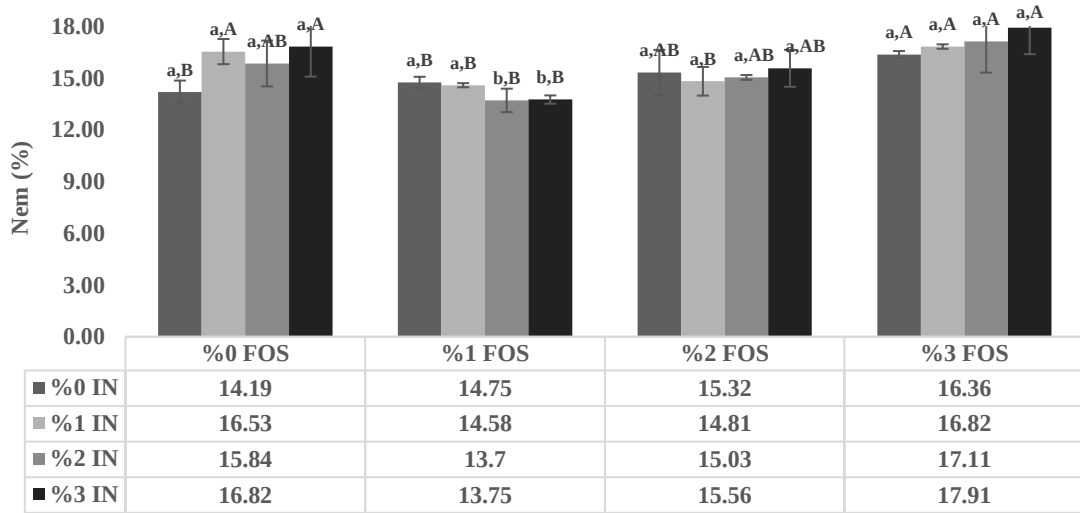


Şekil 4.5. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin nem değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı ($\alpha=0.05$) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı ($\alpha=0.05$) olduğunu ifade etmektedir.

Her iki probiyotik mikroorganizma ile hazırlanmış film örneklerinin nem içerikleri göz önüne alındığında, genel olarak FOS ve IN kullanımı nem değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu durumun başlıca nedeninin kullanılan prebiyotiklerin higroskopik yapısı olduğu düşünülmektedir (Phovisay ve ark., 2018; Orozco-Parra ve ark., 2020).

Serum proteini izolatu, jelatin, IN ve *L. curvatus* içeren filmlerde ortalama nem %14 olarak bildirilmiştir (La Storia ve ark., 2020). Bir başka çalışmada (Soukoulis ve ark., 2014a), jelatin ve prebiyotikler ile hazırlanmış *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin nem değerleri %9.18-11.70 aralığında tespit edilmiştir. Ebrahimi ve ark. (2018) tarafından 4 farklı probiyotik bakteri (*L. rhamnosus*, *L. casei*, *L. acidophilus* ve *B. bifidum*) içeren karboksimetil selüloz esaslı yenilebilir filmlerin nem içerikleri % 33.33-34.66 aralığında bildirilmiştir.

Şekil 4.6. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin nem değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Yenilebilir filmler üzerinde yürütülen çalışmalarda tespit edilen nem değerlerinin oldukça geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Film nem içeriğini kullanılan polimer türü ve miktarı ile plastikleştirici maddeler önemli düzeyde etkilemektedir (Shahrampour ve ark., 2020). Bununla birlikte, film formülasyonuna probiyotik bakteri ilavesi ile bakteri polimer etkileşimi nedeniyle hidrofilik maddeler azalmakta ve bu durum nem içeriğinin değişmesine neden olabilmektedir (Shahrampour ve ark., 2020).

Çizelge 4.5. Filmlerin nem, kalınlık ve ağırlık değerleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

	<i>B. bifidum</i> BB-12		<i>L. rhamnosus</i> GG	
	Ağırlık	Kalınlık	Ağırlık	Kalınlık
Nem	0.783**	0.694**	0.303*	0.383**

**Korelasyon 0.01 seviyesinde önemlidir.

*Korelasyon 0.05 seviyesinde önemlidir.

Filmlerin nem, ağırlık ve kalınlık değerleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları Çizelge 4.5.'te verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerinin nem ve kalınlık değerleri arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Daha önce ifade edildiği üzere, film formülasyonuna prebiyotik ilavesi daha kalın film

elde edilmesine neden olmaktadır. Film kalınlığında meydana gelen bu artışın ise filmde nemin uzaklaşmasını belli ölçüde yavaşlattığı düşünülmektedir (Jansson ve Thuvander, 2004).

4.1.4. Film ışık bariyer özellikleri

Opaklık tüketici kabulündeki rolü nedeniyle yenilebilir film formülasyonlarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Orozco-Parra ve ark., 2020). Filmlerde opaklık değerindeki artış daha az saydam film elde edildiğini ifade etmektedir (Kanmani ve Lim, 2013). Çizelge 4.6.'da filmlerin kalınlık değerlerine ait varyans analizi sonuçlarına yer verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin ışık bariyeri özellikleri üzerinde IN ve FOS kullanımının etkisi önemli ($p<0.001$) bulunmuştur. Ayrıca, IN*FOS etkileşiminin opaklık üzerindeki etkisinin *B. bifidum* BB-12 ($p<0.05$) ve *L. rhamnosus* GG ($p<0.001$) içeren filmlerde önemli olduğu görülmektedir.

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin opaklık değerleri sırası ile Şekil 4.7. ve 4.8.'de gösterilmiştir. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerde en yüksek ve en düşük opaklık değerleri sırası ile 3.455 ve 0.589 A/mm olarak tespit edilmiştir. *L. rhamnosus* GG film örneklerinin opaklık değerleri 4.746-0.748 A/mm aralığında saptanmıştır. Her iki örnek grubunda en düşük opaklık değeri %3 FOS + %0 IN örneklerinde tespit edilmiştir.

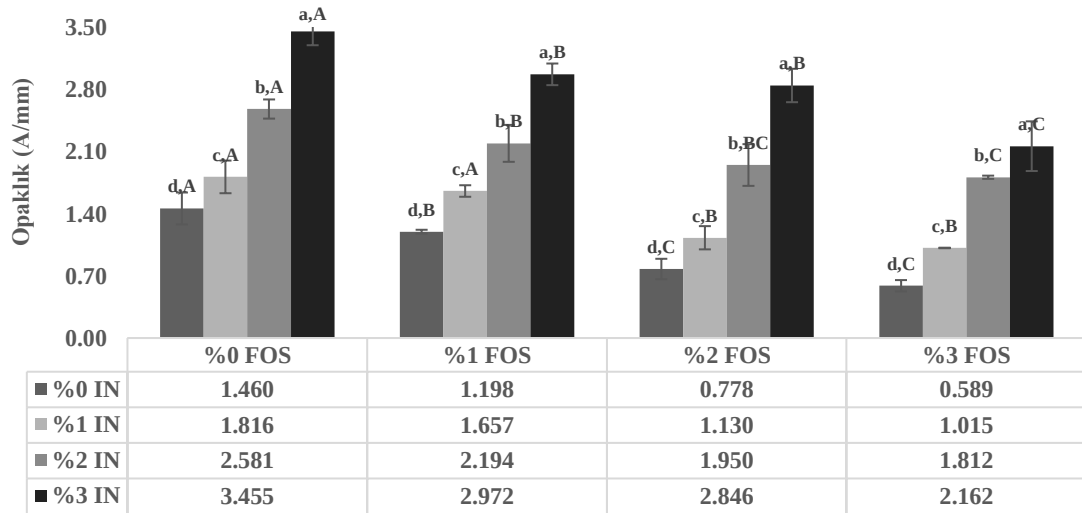
Çizelge 4.6. Filmlerin opaklık değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
<i>B. bifidum</i> BB-12 filmler					
IN	3	24.108	8.036	349.110	0.000***
FOS	3	5.883	1.961	85.192	0.000***
IN*FOS	9	0.487	0.054	2.353	0.036*
Hata	32	0.737			
<i>L. rhamnosus</i> GG filmler					
IN	3	40.787	13.596	255.801	0.000***
FOS	3	3.989	1.330	25.018	0.000***
IN*FOS	9	10.508	1.168	21.967	0.000***
Hata	32	1.701	0.053		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Abedinia ve ark. (2021) tarafından jelatin esaslı dört tip prebiyotik (dekstrin, polidekstroz, arap zambkı ve sago nişastası) ve probiyotik (*L. casei*) kullanılarak üretilen filmlerin opaklık değerleri 0.32 ile 3.94 A/mm aralığında bulunmuştur. Bir başka araştırmacı grubu (Akman ve ark., 2021) tarafından sodyum aljinat, sodyum aljinat + *L. plantarum*, sodyum aljinat + enkapsüle *L. plantarum* içeren filmlerin opaklık değerleri sırası ile 0.389, 0.406 ve 1.717 olarak bildirilmiştir.

Literatürde farklı polimer ve prebiyotik ajanlar kullanılarak hazırlanan filmlerde opaklık değerleri diğer parametrelerde olduğu gibi geniş bir aralıkta değişmektedir. Film kalınlığı, kristallik, plastikleştirici türü ve miktarı, film bileşenlerinin polimer yapısı ve boyutu, yapısal konformasyonu, uyumluluğu ve refraktif indeksi filmlerin opaklık özelliklerini etkileyen en önemli parametreler olup (Shahrampour ve ark., 2020; Soukoulis ve ark., 2016) yapılan çalışmalarda belirtilen değerler arasındaki farklılıkların bu parametreler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



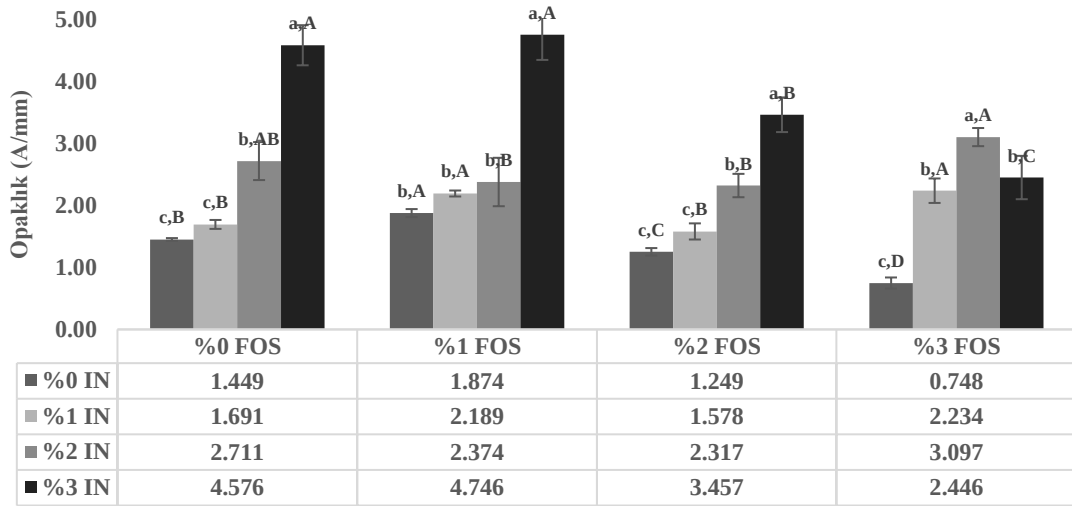
Şekil 4.7. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin opaklık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Aynı konsantrasyonda FOS içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin opaklık değerleri üzerinde IN konsantrasyonunun etkisi önemli ($p < 0.05$)

bulunmuştur. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin opaklık değerlerinin IN konsantrasyonuna bağlı olarak artış gösterdiği belirlenmiştir. Ancak, *L. rhamnosus* GG filmlerde %3 FOS içeren örnek grubunda IN konsantrasyonunun %2'den %3'e çıkması durumunda opaklık değerinde bir azalma tespit edilmiştir.

Film formülasyonuna ilave edilen IN film matrisi içerisinde katı madde miktarını arttırmakta ve bu durum ışık saçılımını arttırarak filmde geçen ışık miktarını etkilemektedir (Ebrahimi ve ark., 2018). Ayrıca, IN konsantrasyonuna bağlı olarak opaklık değerinde meydana gelen artışta film kalınlığındaki değişimin de etkili olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde, Orozco-Parra ve ark. (2020) tarafından *L. casei* içeren tapyoka nişastası esaslı filmlerde IN konsantrasyonu artışı ile opaklık değerinin arttığı bildirilmiştir. Bir başka çalışmada (Soukoulis ve ark., 2014a), farklı prebiyotik lif içeren jelatin esaslı *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde prebiyotik kullanımı ile daha opak filmler elde edildiği ifade edilmiştir. Cao ve ark. (2018) tarafından IN, kitosan ve IN + kitosan ile hazırlanan yenilebilir filmlerde opaklık değerleri sırası ile 21.90, 0.38 ve 3.28 A/mm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.8. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin opaklık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Aynı oranda IN içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerin opaklık değerleri FOS konsantrasyonunun artışı ile önemli düzeyde ($p<0.05$) azalma göstermiştir. Bazı araştırmacılar tarafından (Tang ve ark., 2015) IN moleküler ağırlığının FOS ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Prebiyotiklerin moleküler boyutu suda çözünürlüğü etkilemekte ve daha küçük boyutlu bileşenlerin suda daha iyi çözündüğü ve böylece filmin ışık geçirgenlik özelliklerini arttırdığı bilinmektedir (Tang ve ark., 2015). Bizim çalışmamızda da FOS oranındaki artışın daha şeffaf film elde edilmesine yol açması bu bulguları destekler niteliktedir. Benzer şekilde, nişasta içeren filmlere kıyasla kitosanın daha küçük molekül boyutuna sahip olmasının film geçirgenlik özelliklerini arttırdığı ifade edilmiştir (Kanmani ve Lim, 2013).

L. rhamnosus GG içeren filmlerde aynı konsantrasyonda IN içeren filmlerin opaklık değeri üzerinde FOS konsantrasyonlarının etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Ancak, *L. rhamnosus* GG filmlerin FOS konsantrasyonunun artışı ile opaklık değerinde meydana gelen trendin aynı olmadığı tespit edilmiştir. Film formülasyonunda kullanılan bileşenlerin tür, miktar ve uyumluluğu film geçirgenlik özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Shahrampour ve ark., 2020). Laktik asit bakteri hücrelerinin film oluşturucu çözeltiye eklenmesinin opaklık değerleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (La Stora ve ark., 2020). Bu nedenle, kullanılan probiyotik bakteri türünün farklı olmasının opaklık değerlerinde meydana gelen değişim üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

4.1.5. Film mekaniksel özellikleri

Mekanik özellikler, yenilebilir filmlerin dayanıklılığını ve gıdaların bütünlüğünü geliştirme yeteneğini yansıtmaları sebebiyle yenilebilir filmler ve kaplamalar için oldukça önemlidir (Sothornvit ve Krochta, 2000). Yenilebilir film formülasyonlarının geliştirilmesinde filmin uzamaya karşı direncini ifade eden gerilme direnci ve filmin gerilme kapasitesini bir diğer deyiş ile elastikiyetini ifade eden uzama katsayısı en sık kullanılan mekaniksel özellikleri oluşturmaktadır (Orozco-Parra ve ark., 2020).

Çizelge 4.7.'de görüldüğü üzere, *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin gerilme direnci (GD) üzerinde IN, FOS ve IN*FOS etkileşimi $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin GD değerlerine Şekil 4.9. ve 4.10.'da yer verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin GD değerleri sırası ile 1.56-11.40 ve 1.86-11.57 MPa arasında değişmektedir. Her iki örnek grubunda en yüksek GD değeri %0 IN + %0 FOS, en düşük GD değeri %3 IN + %3 FOS içeren filmlerde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Filmlerin gerilme direnci değerlerine ait varyans analiz sonuçları

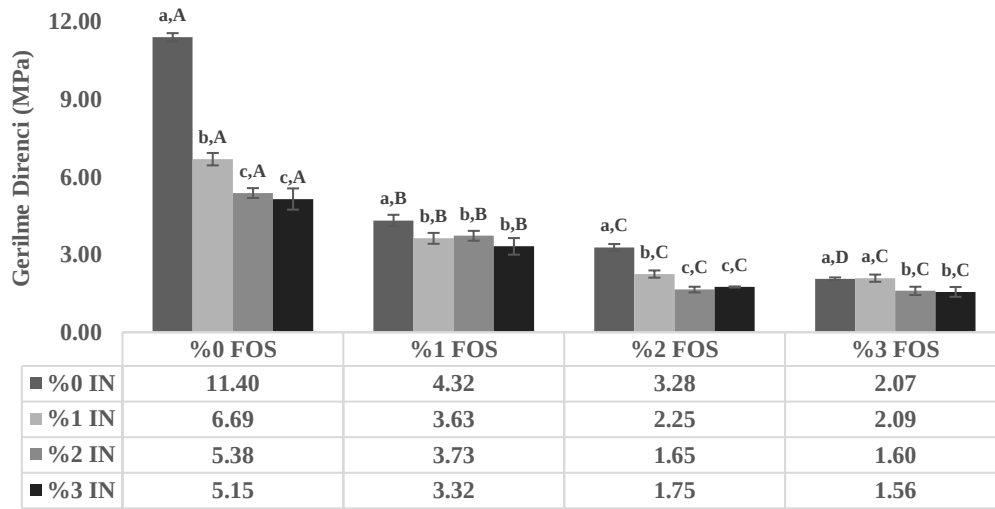
Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
<i>B. bifidum</i> BB-12 filmler					
IN	3	40.720	13.573	334.223	0.000***
FOS	3	210.977	70.326	1731.640	0.000***
IN*FOS	9	42.813	4.757	117.134	0.000***
Hata	32	1.300	0.041		
<i>L. rhamnosus</i> GG filmler					
IN	3	99.962	33.321	513.051	0.000***
FOS	3	175.319	58.440	899.820	0.000***
IN*FOS	9	28.745	3.194	49.178	0.000***
Hata	32	2.078	0.065		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Taşıma, nakliye ve pazarlama sırasında gıda maddelerinin korunabilmesi için yenilebilir filmlerin yüksek GD değerine sahip olması istenmektedir (Arham ve ark., 2016). Fernandes ve ark. (2020) tarafından gıda ambalajlamada kullanılan filmlerin GD değerinin genellikle 20 MPa'dan büyük olduğu; daha düşük GD değerlerinin filmin harici ambalaj malzemesi olarak kullanımını kısıtlayacağı ifade edilmiştir. Ancak, aynı araştırmacılar düşük GD değerine sahip filmlerin peynir dilimlerinin ayrılması gibi uygulamalarda tercih edilebileceğini rapor etmişlerdir.

Şekil 4.9. incelendiğinde, aynı oranda FOS içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerde IN oranının artışı genel olarak GD değerlerinde bir azalmaya yol açmış ve GD değerinde görülen bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Aynı oranda IN içeren *B. bifidum* BB-12 film örneklerinde FOS oranının artışı ile GD değerlerinin önemli düzeyde ($p<0.05$) azaldığı tespit edilmiştir.

B. bifidum BB-12 film örnekleri ile benzer olarak, *L. rhamnosus* GG filmlerin GD değerleri üzerinde IN ve FOS konsantrasyonunun etkisinin önemli olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. Şekil 4.10. incelendiğinde, aynı oranda FOS içeren *L. rhamnosus* GG filmlerde IN konsantrasyonu artışının filmlerin GD değerlerinde bir azalmaya yol açtığı görülmektedir. Benzer şekilde, aynı konsantrasyonda IN içeren filmlerin GD değerlerinin FOS konsantrasyonu artışı ile azaldığı tespit edilmiştir.



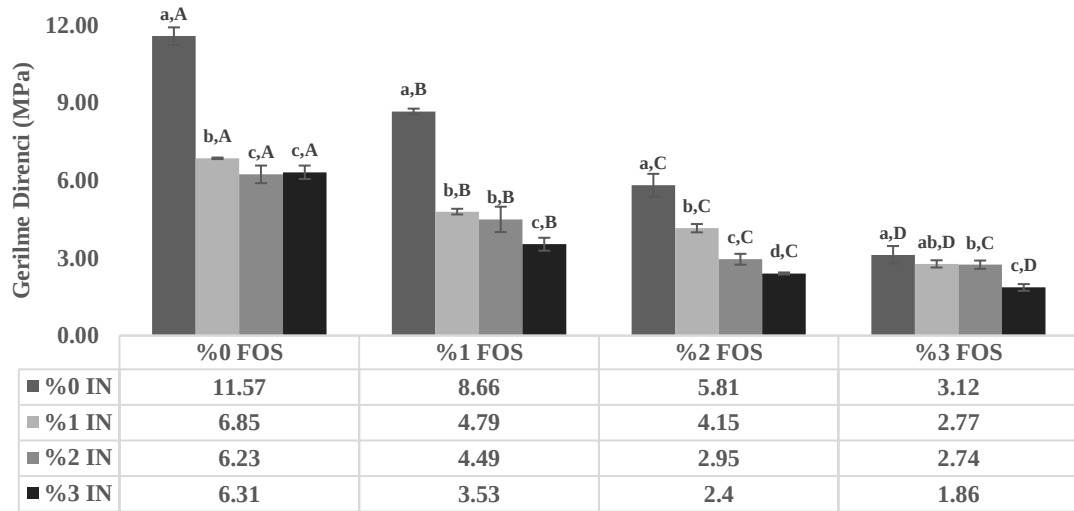
Şekil 4.9. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin gerilme direnci değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı ($\alpha=0.05$) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı ($\alpha=0.05$) olduğunu ifade etmektedir.

Mevcut çalışmada tespit edilen GD değerleri sodyum kazeinat, kalsiyum kazeinat, balmumu ve oleik asit (Fabra ve ark., 2010); sodyum kazeinat ve mısır nişastası (Jiménez ve ark., 2012); sodyum kazeinat, oleik asit ve balmumu (Fabra ve ark., 2008) ile hazırlanan filmler ile benzerlik göstermektedir. Sodyum kazeinat ve kalsiyum kazeinat esaslı kekik yağı ile hazırlanan filmlerde (Arrieta ve ark., 2013) ise bizim araştırma sonuçlarımızdan daha düşük GD değerleri tespit edilmiştir. Buna karşın, araştırma sonunda tespit edilen GD değerleri sodyum kazeinat (Schou ve ark., 2005) ile hazırlanan filmlerin GD değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Sodyum aljinat, gam arabik, konjak unu, pektin ve inülin ile hazırlanan jelatin esaslı probiyotik

filmlerde GD değerleri sırası ile 25.9, 3.63, 14.9, 7.13 ve 9.34 MPa olarak bildirilmiştir (Phovisay ve ark., 2018).

Sonuçlar incelendiğinde, film formülasyonuna prebiyotik ajanların ilavesinin filmlerin GD değerlerinde önemli bir azalmaya sebep olduğu görülmektedir. Farklı konsantrasyonlarda IN ve FOS içeren filmlerin GD değerlerinde meydana gelen bu azalmanın prebiyotiklerin plastikleştirici etkisi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. IN ve FOS gibi prebiyotiklerin yenilebilir filmlere dâhil edilmesinin plastikleştirici bir etkiye sahip olduğu ve gerilme direnci değerini azalttığı birçok çalışmada bildirilmiştir. GD değerinde prebiyotik kullanımı ile meydana gelen azalma IN gibi prebiyotiklerin yapısında bulunan furanoz halkasının polimer esnekliğine katkıda bulunması ile açıklanmaktadır (Mensink ve ark., 2015).



Şekil 4.10. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin gerilme direnci değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Fernandes ve ark. (2020) tarafından peynir altı suyu protein esaslı yenilebilir film formülasyonuna polimer miktarının %0, 10, 20 ve 30'una karşılık gelecek şekilde ksilooligosakkarit (KOS) ve galaktooligosakkarit (GOS) ilave edilmiştir. %10 seviyesinde prebiyotik kullanımının filmlerin GD değerinde önemli bir değişime sebep

olmadığı ancak %20 ve üzerinde prebiyotik kullanımının filmlerin gerilme mukavemetini önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir. KOS ve GOS eklenen filmlerdeki gerilme mukavemetinde görülen azalmanın, peynir altı suyu protein zincirleri arasındaki güçlü protein-protein etkileşimlerinin (örneğin hidrojen bağları ve elektrostatik etkileşimler) azalması ile ilişkili olabileceği rapor edilmiştir. Bu nedenle, prebiyotiklerin polimerik zincir hareketliliğini arttırarak daha az dirençli film oluşumuna yol açtığı ifade edilmiştir.

Bir başka çalışmada (Bersaneti ve ark., 2016), nişasta esaslı filmlerde FOS konsantrasyonu artışı filmlerin GD değerlerinde azalmaya neden olmuş ancak bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Zabihollahi ve ark. (2020) tarafından *L. plantarum*, selüloz nanofiber ve IN içeren karboksimetil selüloz esaslı filmlerde GD değerleri 32.26-7.27 MPa aralığında tespit edilmiş ve IN oranının %20 olması durumunda GD değerinde belirgin bir azalma meydana geldiği ifade edilmiştir.

Prebiyotiklerin plastikleştirici etkisine ek olarak, film nem içeriğinde görülen artışın filmlerin GD değerinde meydana gelen azalma üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, IN ve FOS ilavesi genel olarak film nem içeriğinde artışa sebep olmuştur. Suyun plastikleştirici etkiye sahip olduğu bilinmekte ve film nem içeriğinde görülen bu artışın GD değerinde meydana gelen azalmaya katkı sağladığı düşünülmektedir (Osés ve ark., 2009).

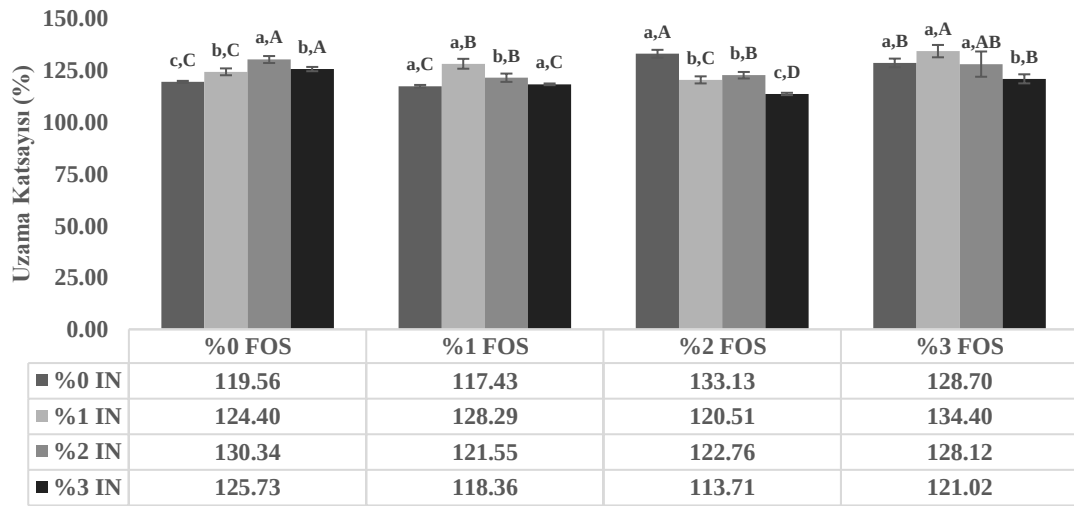
Çizelge 4.8. Filmlerin uzama katsayısı değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
<i>B. bifidum</i> BB-12 filmler					
IN	3	359.737	119.912	23.470	0.000***
FOS	3	313.805	104.602	20.473	0.000***
IN*FOS	9	887.914	98.657	19.310	0.000***
Hata	32	163.495	5.109		
<i>L. rhamnosus</i> GG filmler					
IN	3	1635.039	545.013	81.667	0.000***
FOS	3	10498.870	3499.623	524.398	0.000***
IN*FOS	9	3453.740	383.749	57.502	0.000***
Hata	32	213.555	6.674		

***:p<0.001, **:p<0.01, *:p<0.05

Her iki probiyotik bakteriyi içeren filmlerin uzama katsayısı (UK, %) değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Probiyotik filmlerin UK değerleri üzerinde IN, FOS ve IN*FOS interaksiyonunun etkisinin $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.11. ve 4.12.'de *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin UK değerleri verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerinin UK değerlerinin sırası ile 134.40-119.56 ve 117.75-171.80 aralığında değiştiği belirlenmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin elastikiyeti üzerinde IN ve FOS konsantrasyonunun etkisinin önemli olduğu ($p<0.05$) görülmektedir.



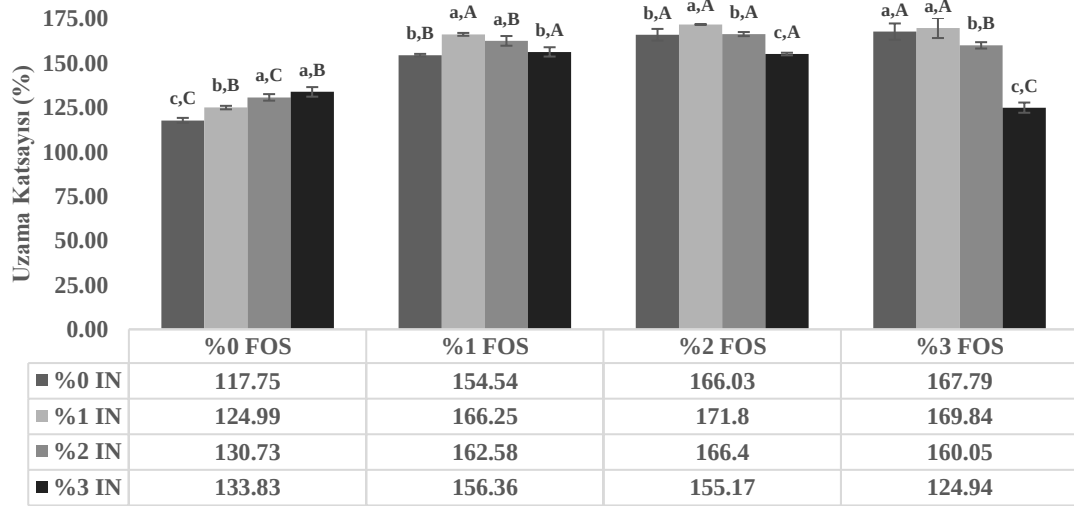
Şekil 4.11. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin uzama katsayısı değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı ($\alpha=0.05$) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı ($\alpha=0.05$) olduğunu ifade etmektedir.

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin UK değerleri üzerinde IN konsantrasyonunun etkisi incelendiğinde, formülasyonda FOS bulunan örnek gruplarında genel olarak %1 seviyesinden fazla IN kullanımının film esnekliğinde bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde formülasyonda FOS bulunmaması durumunda en yüksek UK değeri %2 ve

%3 IN içeren filmlerde tespit edilmiştir. %1 konsantrasyonda FOS içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerde ise en yüksek UK %1 IN içeren filmlerde belirlenmiştir. Ancak, FOS oranının %2 ve %3 olması durumunda en yüksek UK %0 ve %1 IN, en düşük UK %3 IN içeren filmlerde tespit edilmiştir.

Aynı konsantrasyonda IN içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG film örneklerinin UK değerleri üzerinde FOS konsantrasyonunun etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Film formülasyonunda IN bulunmaması durumunda, *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerde en yüksek UK değerleri %2 ve %3 FOS içeren filmlerde tespit edilmiştir. %1 IN içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerde ise en yüksek UK %3 ve %2 FOS içeren filmlerde belirlenmiştir.



Şekil 4.12. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin uzama katsayısı değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı ($\alpha=0.05$) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı ($\alpha=0.05$) olduğunu ifade etmektedir.

Her iki probiyotik bakteriyi içeren film örneklerinde elde edilen bulgular göz önüne alındığında, IN konsantrasyonunun %0 ve %1 olması durumunda FOS kullanımı UK üzerinde olumlu bir etkiye neden olmuştur. %2 ve %3 IN içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerde %0 ve %1 FOS içeren filmlerin en yüksek UK değerlerine

sahip örnekler olduğu belirlenmiştir. %2 ve %3 oranında IN içeren *L. rhamnosus* GG filmlerde ise en yüksek UK %2 ve %1 FOS içeren filmlerde tespit edilmiştir.

Çalışmamızda film örneklerinde tespit edilen UK değerleri sodyum kazeinat, oleik asit ve balmumu (Fabra ve ark., 2008); kekik yağı, sodyum kazeinat ve kalsiyum kazeinat (Arrieta ve ark., 2013); sodyum kazeinat, kalsiyum kazeinat, oleik asit ve balmumu (Fabra ve ark., 2010) içeren filmler ile benzer bulunmuştur.

Elde edilen bulguları literatürde film formülasyonuna prebiyotik ilave edilen çalışma sonuçlarının desteklediği görülmektedir. Orozco-Parra ve ark. (2020) tarafından farklı oranlarda IN (%0, 0.1, 0.5 ve 1.0) içeren tapyoka nişastasası esaslı filmlerde elastikiyet değerleri % 74-167 aralığında tespit edilmiştir. Nişasta esaslı bu filmlerde en yüksek elastikiyet %1 IN içeren filmlerde bulunmuştur. IN ve FOS gibi prebiyotiklerin yenilebilir filmlere dâhil edilmesinin plastikleştirici bir etki göstererek uzamayı artırdığı bildirilmiştir.

Zabihollahi ve ark. (2020) tarafından karboksimetil selüloz esaslı *L. plantarum*, selüloz nanofiber ve farklı konsantrasyonlarda IN içeren (karboksimetil selüloz miktarının %0, 10 ve 20'si oranında) filmlerde uzama katsayısı % 20.20-46.57 aralığında bulunmuştur. %10 oranında IN ilavesi uzama katsayısında önemli bir değişime neden olmazken %20 oranında IN ilavesinin film elastikiyetini önemli ölçüde artırdığı ifade edilmiştir.

Fernandes ve ark. (2020) tarafından peynir altı suyu protein esaslı yenilebilir film formülasyonuna polimer miktarının %0, 10, 20 ve 30'u oranında ksilooligosakkarit (KOS) ve galaktooligosakkarit (GOS) ilave edilmiştir. Film elastikiyetini %20 ve daha fazla oranda prebiyotik kullanımının önemli ölçüde artırdığı ifade edilmiştir. Aynı çalışmada, prebiyotik kullanımı ile filmlerin elastikiyet özelliklerinin gelişmesi birkaç farklı mekanizma ile açıklanmıştır. Oligosakkaritlerin film formülasyonuna eklenmesinin karbonhidratlar, proteinler ve su arasındaki karmaşık etkileşimleri tetikleyerek büyük ve dallı yapılar oluşturmalarının daha esnek film oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir. Prebiyotiklerin proteinlerin globüler

yapılarına kıyasla dallı bir yapıya sahip olması sebebiyle plastikleştiricilerin etkisine benzer olarak moleküler arası boşluk etkisi oluşmaktadır. Tüm bunlara ek olarak, prebiyotik ilavesi ile daha esnek film oluşumu film formülasyonunun heterojen olması ile de açıklanmıştır. Heterojen filmlerin daha esnek iken pürüzsüz mikro yapılara sahip filmlerin daha dirençli ve kırılgan malzemelerle ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Bir başka çalışmada (Bersaneti ve ark., 2016), kurumadde miktarının %0, 1, 5 ve 10'u oranında FOS ilave edilen nişasta esaslı filmlerde %13.69-51.24 aralığında uzama tespit edilmiştir. Formülasyonda FOS içermeyen filmin en düşük, %5' oranında FOS içeren filmin ise en yüksek elastikiyet katsayısına sahip olduğu bulunmuştur. Araştırma sonuçlarında görüldüğü üzere, FOS kullanımı uzama katsayısını arttırmış ancak belli bir seviyenin üzerinde filmin uzama katsayısında bir düşüşe neden olmuştur. Bu sonuçların mevcut çalışmamızda ettiğimiz bulguları desteklediği görülmektedir.

Bir başka araştırmacı grubu (Tang ve ark., 2015) tarafından mumlu ve normal mısır nişastası esaslı filmlere polimer oranının %20, 25 ve 30'u oranında KOS, IN ve FOS gibi prebiyotikler ilave edilmiştir. Prebiyotik ilavesi ile normal nişasta esaslı filmlerde uzama katsayısının %15.3'ten %46.5'e, mumlu nişasta esaslı filmlerde ise %13.8'den %44'e yükseldiği bildirilmiştir. Prebiyotik ilavesi ile elastikiyette görülen bu artış nişasta ile kıyaslandığında prebiyotiklerin daha düşük molekül ağırlığına sahip olması ve bu nedenle plastikleştirici etki göstermesi ile açıklanmıştır. Ancak, FOS kullanımının filmleri daha yapışkan ve yumuşak hale getirdiği bu nedenle bu örneklerde mekanik özelliklerin tespit edilemediği bildirilmiştir. Bu çalışmada da görüldüğü üzere, bazı prebiyotiklerin belli bir seviyenin üzerinde kullanımı film mekanik özellikleri üzerinde negatif bir etkiye sebep olmaktadır.

Mevcut çalışmamızda toplam prebiyotik konsantrasyonun belirli bir seviyenin üzerinde olması durumunda film elastikiyetinin azaldığı tespit edilmiştir. Prebiyotik konsantrasyonuna bağlı olarak filmlerin elastikiyet değerinde görülen bu azalma, film matrisi içerisinde katı madde miktarının artışı ve daha sıkı film oluşumuyla da açıklanabilir. Film matrisi içerisinde katı madde miktarının artışı filmin daha kırılgan

hale gelmesine sebep olmuştur. Farklı konsantrasyonlarda mekanik ayrılmış tavuk eti proteini ve gliserol ile hazırlanan filmlerde protein oranının %2'den %3'e çıkması ile film elastikiyetinin tüm gliserol konsantrasyonlarında arttığı bildirilmiştir (Sarıcaoğlu, 2018). Aynı çalışmada protein içeriğinin %4'e olması durumunda film elastikiyetinin azaldığı ifade edilmiştir. Film elastikiyetinde meydana gelen bu azalma, protein miktarının artması ile daha sıkı film matrisi oluşması ve bu nedenle gliserol moleküllerinin homojen dağılamaması ile açıklanmıştır.

4.1.6. Filmde kuruma sonrası probiyotik bakteri canlılığı

Bir biyopolimer matrisi içine dâhil edilen mikroorganizmaların canlılığını ve işlevselliğini sağlamak, probiyotik içeren filmlerin etkinliğini garanti etmek için en önemli adımlardan biridir (La Storia ve ark., 2020). Film oluşturma aşaması ve film kimyası, bakterinin işlem sonrası hayatta kalma oranını doğrudan etkilemesi sebebiyle kritik bir öneme sahiptir (Soukoulis ve ark., 2014a).

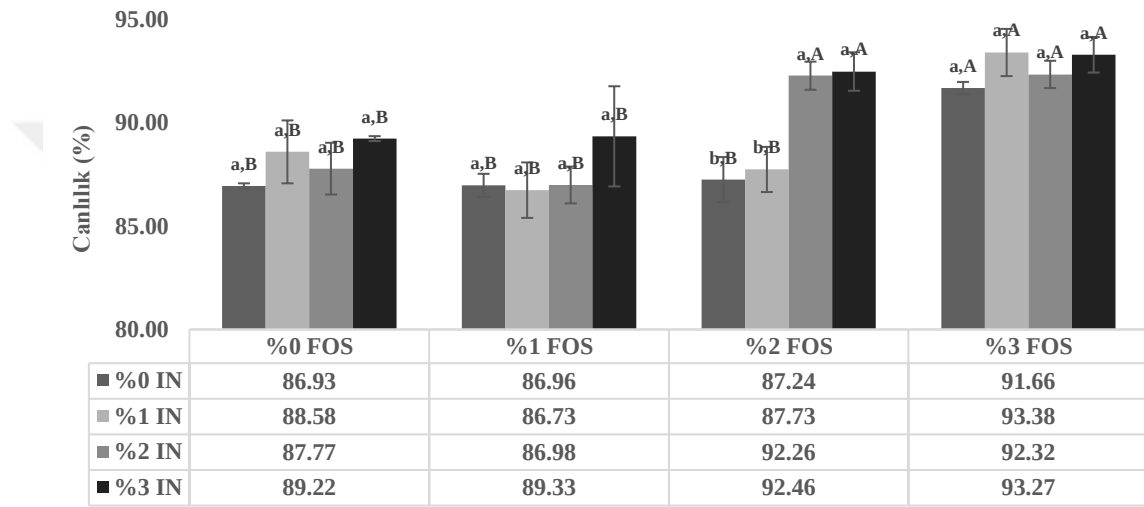
B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren film oluşturuç çözeltilerin kurutulması sonrası elde edilen filmlerde probiyotiklerin % canlılık değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9.'da yer verilmiştir. Probiyotik bakterilerin % canlılık değerleri üzerinde IN, FOS ve IN*FOS etkileşiminin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.001$).

Çizelge 4.9. Film örneklerinde probiyotiklerin % canlılık değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
<i>B. bifidum</i> BB-12 filmler					
IN	3	53.024	17.675	14.969	0.000***
FOS	3	192.244	64.081	54.271	0.000***
IN*FOS	9	47.045	5.227	4.427	0.001***
Hata	32	37.785	1.181		
<i>L. rhamnosus</i> GG filmler					
IN	3	62.824	20.941	28.294	0.000***
FOS	3	189.385	63.128	85.292	0.000***
IN*FOS	9	337.771	37.530	50.707	0.000***
Hata	32	23.685	0.740		

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

Şekil 4.13. ve 4.14.'te sırası ile *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren film oluşturuçu çözeltilerin kurutulması sonrası elde edilen filmlerde probiyotik canlılıkları (%) gösterilmiştir. Her iki örnek grubunda, film oluşturuçu çözeltilerin kurutulması sonrası film örneklerinde probiyotik canlı sayısı toplam katı miktarı üzerinden 9-10 log kob/g olarak belirlenmiştir (Veriler gösterilmedi). *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerde dehidrasyon sonrası probiyotik canlılıkları sırası ile %86.73-93.38 ve %77.67-89.61 aralığında bulunmuştur.

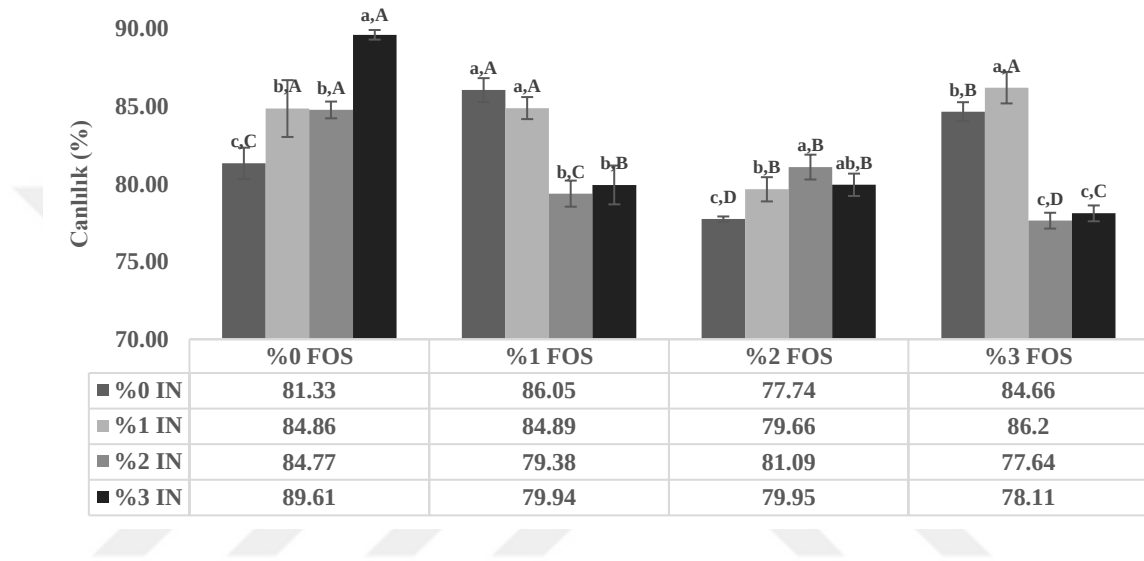


Şekil 4.13. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin kuruma sonrası canlılık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Her iki probiyotik bakterinin kuruma sonrası % canlılık değerleri göz önüne alındığında, film oluşturuçu çözeltilere kıyasla filmde tespit edilen canlı probiyotik sayısının kullanılan prebiyotik ajan fark etmeksizin daha düşük olduğu görülmektedir. Bakteri yüklü filmlerin hazırlanması prosesi, film oluşturuçu çözeltinin ilave edilen bakteriler üzerindeki ozmotik etkisi ve kurutmanın dehidrasyon etkisi olmak üzere potansiyel zararlı iki adım içermektedir (Romano ve ark., 2014). Bununla birlikte, film çözeltilerinin kurutulması işleminde probiyotik bakteriler için ısı stresi faktörü de söz konusudur (Oliveira-Alcântara ve ark., 2020). Ancak, düşük sıcaklıklarda kurutma işlemlerinde ısı stresi kaynaklı kayıplar önemsiz kabul edilmektedir (Soukoulis ve

ark., 2014a; Pereira ve ark., 2019a). Öyle ki, bizim çalışmamızda kurutma sıcaklığı hücre bileşenlerinin denatürasyonuna neden olacak kadar yüksek olmadığından, canlı sayısındaki azalmadan sitoplazmik membran hasarının sorumlu olduğu düşünülmektedir (Piermaria ve ark., 2015). Daha önce yapılan çalışmalarda da probiyotik bakterilerin film oluşturma işlemi sırasında ozmotik stres nedeniyle hasar gördükleri rapor edilmiştir (Soukoulis ve ark., 2014a; Nisar ve ark., 2022).



Şekil 4.14. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin kuruma sonrası canlılık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. FOS: fruktooligosakkarit, IN: inülin. Farklı küçük harfler aynı FOS konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu, farklı büyük harfler aynı IN konsantrasyonundaki değerlerin istatistiksel olarak farklı (alfa=0.05) olduğunu ifade etmektedir.

Film oluşturuucu çözeltilinin kurutulması aşamasında probiyotik bakteri canlılığında meydana gelen azalma benzer çalışma sonuçları ile paralellik göstermektedir. Orozco-Parra ve ark. (2020) tapyoka nişastası esaslı filmlerin kurutma prosesi sonrası probiyotik canlılığının IN içeren ve içermeyen filmlerde yaklaşık %93 olduğunu rapor etmiştir. Pereira ve ark. (2019a) tarafından aljinat ve peynir altı suyu protein izolatı içeren filmlerde kurutma prosesi sonrası *B. bifidum* BB-12 sayısının sırası ile 0.40 ve 0.24 log kob/g azaldığı bildirilmiştir. Bir başka çalışmada (Piermaria ve ark., 2015), kefiran filmlerde *L. plantarum* canlılığının kuruma prosesi sırasında önemli ölçüde azaldığı ifade edilmiştir. Soukoulis ve ark. (2016) tarafından nişasta-

protein esaslı filmlerde kuruma prosesi sonrası *L. rhamnosus* GG sayısında 0.81-1.87 log kob/g aralığında değişen bir azalma meydana geldiği rapor edilmiştir.

Şekil 4.13.'te görüldüğü üzere, aynı konsantrasyonda IN içeren filmlerde *B. bifidum* BB-12 canlılığı üzerinde FOS konsantrasyonunun etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Aynı konsantrasyonda IN içeren tüm örnek gruplarında, kuruma sonrası en yüksek probiyotik canlılığı %3 FOS içeren örneklerde tespit edilmiştir. Aynı konsantrasyonda IN içeren tüm örnek gruplarında %0 ve %1 FOS içeren filmler en düşük % canlılığa sahip filmler olup bu değerler arasında istatistiksel olarak belirgin bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Bununla birlikte, %0 IN ve %1 IN içeren örnek gruplarında %3 ve %2 FOS içeren filmlerde kuruma sonrası tespit edilen canlılık değerleri arasındaki fark önemli ($p<0.05$) bulunurken, %2 IN ve %3 IN içeren örnek gruplarında %3 ve %2 FOS içeren filmlerde canlılık değerleri arasındaki fark önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Aynı konsantrasyonda FOS içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerde, kuruma sonrası canlılığın en yüksek %3 IN içeren filmlerde (%3 FOS içeren örnek grubu haricinde) tespit edildiği görülmektedir. Aynı örnek gruplarında, kuruma sonrası en yüksek ikinci *B. bifidum* BB-12 canlılığı ise %2 IN içeren filmlerde tespit edilmiştir. Ancak, *B. bifidum* BB-12 canlılığı üzerinde IN kullanımının etkisi sadece %2 FOS içeren film örneklerinde önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Diğer FOS konsantrasyonlarında üretilen film örneklerinde ise IN ilavesi probiyotik canlılığı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir değişime yol açmamıştır ($p>0.05$). %2 FOS içeren filmlerde, %2 ve %3 IN içeren filmlerin canlılık düzeyi %0 ve %1 IN içeren filmlerden içeren filmlerden önemli düzeyde farklı ($p<0.05$) bulunmuştur. %3 FOS içeren örnek grubunda ise formülasyonda kullanılan IN oranına bağlı olarak canlılık üzerinde belirgin bir artış veya azalış tespit edilmemiştir.

Şekil 4.14. incelendiğinde, aynı konsantrasyonda IN içeren *L. rhamnosus* GG filmlerin kuruma sonrası canlılık değerleri üzerinde FOS kullanımının etkisinin istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) olduğu görülmektedir. %2 ve %3 konsantrasyonda IN içeren filmlerde FOS miktarındaki artışın *L. rhamnosus* GG canlılığında bir

azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Bu örnek gruplarında, en yüksek ve en düşük probiyotik canlılığı sırası ile %0 ve %3 FOS içeren filmlerde bulunmuştur. %0 ve %1 oranında IN içeren örnek gruplarında ise FOS konsantrasyonunun %0'dan 1'e çıkması durumunda tespit edilen probiyotik canlılığı artış göstermiştir. Ancak, aynı örnek gruplarında formülasyondaki FOS konsantrasyonunun %2'ye çıkması durumunda canlılık yüzdesinin azaldığı görülmektedir. %0 ve %1 konsantrasyonda IN içeren filmlerde en düşük probiyotik canlılığı %2 FOS içeren örneklerde tespit edilmiştir.

Aynı konsantrasyonda FOS içeren *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin kuruma sonrası canlılık değerleri üzerinde IN kullanımının etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Aynı konsantrasyonda FOS içeren örneklerde (%1 FOS içeren örnek grubu haricinde), IN konsantrasyonunun %0'dan %1'e çıkarılması durumunda kuruma sonrası *L. rhamnosus* GG canlılığında önemli bir artış meydana geldiği görülmektedir ($p<0.05$). Ancak, aynı örnek gruplarında formülasyonda yer alan IN miktarının %1'den %2'ye yükselmesi halinde kuruma sonrası canlılık yüzdesinin azaldığı tespit edilmiştir. %1 oranında FOS içeren örneklerde ise IN konsantrasyonundaki artış probiyotik bakterinin kuruma sonrası canlılığında azalmaya neden olmuştur. Bu örnek grubunda, IN konsantrasyonunun %0'dan %2'ye yükselmesi durumunda probiyotik canlılığı azalmış ve bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$). Aynı örnek grubunda IN miktarının %2 ve %3 olduğu filmlerde tespit edilen % canlılık değerleri arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, film formülasyonunda FOS miktarının artışı *B. bifidum* BB-12'nin kuruma işlemi sırasında inaktivasyon oranında azalmaya neden olmuştur. *L. rhamnosus* GG'nin kuruma prosesi sonrası canlılık oranı ise düşük IN konsantrasyonlarında FOS kullanımı ile artış göstermiştir. Ancak, IN oranının yüksek olduğu örnek gruplarında FOS konsantrasyonundaki artış inaktivasyon oranının artmasına neden olmuştur. Bir diğer ifade ile *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde, toplam prebiyotik konsantrasyonun yüksek olması halinde FOS kullanımı kuruma sonrası inaktivasyon oranında artışa neden olmuştur. Film formülasyonunda IN kullanımının probiyotik canlılığı üzerindeki etkisi

değerlendirildiğinde, %1 IN kullanımının genel olarak *L. rhamnosus* GG'nin kuruma sonrası inaktivasyon oranında azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak, IN oranının %2'ye çıkması durumunda *L. rhamnosus* GG'nin kuruma sonrası inaktivasyon oranında artış meydana gelmiştir. *B. bifidum* BB-12'nin kuruma sonrası inaktivasyon oranı ise IN kullanımı ile genel olarak azalmış ancak bu azalma %2 FOS örnek grubu haricinde önemli bulunmamıştır.

Broeckx ve ark. (2017) tarafından *L. rhamnosus* GG'nin dehidrasyon sonrası canlılık değerleri üzerinde farklı sakkaritlerden oluşan kurutma ortamlarının etkisi araştırılmıştır. *L. rhamnosus* GG'nin kuruma sonrası canlılık değeri üzerinde bazı sakkaritlerin (trehaloz ve laktoz) kontrole kıyasla belirgin bir artış sağladığı, ancak sakkaritlerin yüksek konsantrasyonlarının canlılıkta önemli bir artışa neden olmadığı rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, mannitolun yüksek konsantrasyonunun bakteriyel canlılıkta bir azalmaya yol açtığı bildirilmiştir. Araştırmacılar ilave edilen koruyucu ajanların hücre zarı etrafındaki bağlanma yerlerinin maksimum işgali ile bağlantılı olabilen, koruyucu kapasiteleri için muhtemelen optimal bir konsantrasyon değeri olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durum, mevcut çalışmamızdaki toplam prebiyotik konsantrasyonuna bağlı olarak *L. rhamnosus* GG'nin canlılığında meydana gelen azalmayı desteklemektedir.

Bakteriyel dehidrasyon içeren proseslerde, IN ve FOS gibi prebiyotik ajanların probiyotiklerin stabilitesini arttırmaları öncelikle cam geçiş fenomeni üzerindeki etkileri ile açıklanmaktadır (Soukoulis ve ark., 2014a). FOS'un koruyucu etkisi düşük su içeriğine sahip numunelerde yüksek viskozite ve düşük hareketlilik ile karakterize edilen camsı yapı oluşumu ile sağlanmaktadır (Romano ve ark., 2014; Oliveira-Alcântara ve ark., 2020). Serbest radikal süpürücü maddeler içeren gazlara karşı düşük geçirgenliğe sahip (hücre zarlarının lipid oksidasyonunu kontrol etmek için) camsı matrislerin elde edilmesi, gıda sistemlerinde probiyotik stabilitesini iyileştirmek için etkili bir strateji olarak bildirilmektedir (Soukoulis ve ark., 2014a). Bunlara ek olarak, bakteriyel dehidrasyon içeren proseslerde FOS ve IN gibi prebiyotiklerin koruyucu etkisi proteinler ve membranlarla doğrudan etkileşimlere bağlanmaktadır. Prebiyotikler, dehidrasyon sırasında membran fosfolipidlerin polar baş grupları ile

etkileşime girerek (hidrojen bağları) probiyotiklerin korunmasında rol oynamaktadırlar (Romano ve ark., 2014; Soukoulis ve ark., 2014a; Oliveira-Alcântara ve ark., 2020; Zabihollahi ve ark., 2020). Bununla birlikte, IN gibi prebiyotiklerin yapısında bulunan fruktanların kurutma işlemi sırasında stres toleransı üzerinde etkili olduğu rapor edilmektedir. IN fruktanların yanı sıra fruktooligosakkaritlerin de mono ve çift tabakalı membran fosfolipidleri ile doğrudan etkileşime girdiği bildirilmiştir. Bu membran-fruktan etkileşimlerinin dehidrasyon sırasında membranları stabilize ettiği bilinmektedir (Schwab ve ark., 2007).

Araştırma bulgularına benzer olarak, *B. coagulans* içeren kaju gamı ve selüloz esaslı yenilebilir filmlerde FOS kullanımının kuruma sonrası bakteri canlılığı üzerinde koruyucu bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir (Oliveira-Alcântara ve ark., 2020). Bir başka çalışmada (Romano ve ark., 2014), metilselüloz esaslı FOS içermeyen filmde kuruma prosesi sonrası *L. bulgaricus* sayısında 3.18 log kob/g azalma meydana geldiği bildirilmiştir. Formülasyonda %5'e kadar FOS kullanımının *L. bulgaricus* canlılığı üzerinde net bir koruyucu etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. Aynı çalışmada, FOS içermeyen filmde kuruma prosesi sonrası *L. plantarum* sayısında 1.45 log kob/g döngülük bir azalma meydana geldiği ve %5'e kadar FOS kullanımının inaktivasyon oranını önemli ölçüde etkilemediği bildirilmiştir. Bir başka araştırmacı grubu (Phovisay ve ark., 2018) tarafından dört farklı prebiyotik (sodyum aljinat, gam arabik, konjak unu, IN ve pektin) ile hazırlanan *L. casei* içeren filmlerde kuruma sonrası mikrobiyal hayatta kalma oranının IN içeren filmlerde %87.5 olduğu ifade edilmiştir. Aynı çalışmada, IN içeren filmlerde kuruma sonrası mikrobiyal canlılık oranı diğer filmlerde elde edilen sonuçlardan önemli ölçüde yüksek bulunmuştur.

Kuruma sonrası probiyotik canlılığı üzerinde FOS ve IN kullanımının koruyucu etkisi bulgularımıza benzerlik gösterirken, prebiyotik ajanların kuruma sonrası inaktivasyon oranı üzerinde koruyucu etkiye sahip olmadığı bazı çalışmalara da rastlanmıştır. Pereira ve ark. (2019a) tarafından aljinat ve peynir altı suyu protein izolatu esaslı %2 IN ve FOS içeren filmlerde, *B. bifidum* BB-12'nin kuruma sonrası inaktivasyon oranı üzerinde prebiyotiklerin önemli bir etkiye sahip olmadığı ifade edilmiştir. Soukoulis ve ark. (2014a) tarafından jelatin esaslı IN, polidekstroz, GOS ve

buğday dekstrini ilave edilen filmlerde *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon oranının kullanılan prebiyotik ajanlara bağlı olduğu ifade edilmiştir. GOS ve polidekstroz kullanımının en yüksek korumayı sağladığı ancak IN ve buğday dekstrini ilavesinin canlılık üzerinde kontrol örneğine kıyasla olumsuz bir etkiye neden olduğu rapor edilmiştir.

4.1.7. TOPSIS yöntemi ile filmlerde en iyi FOS ve IN konsantrasyonunun belirlenmesi

Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren sodyum kazeinat esaslı probiyotik filmlerin ağırlık, kalınlık, nem, gerilme direnci, uzama katsayısı, opaklık ve kuruma sonrası probiyotik canlılığı özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonuçları göz önüne alındığında, incelenen özellikler üzerinde FOS ve IN konsantrasyonunun etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ancak, en iyi film formülasyonu incelenen kriterlere bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bu nedenle, incelenen film özellikleri açısından en iyi film formülasyonunun tespit edilebilmesi için TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.

Farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin TOPSIS yöntemi ile elde edilen en iyi alternatif sıralaması Çizelge 4.10. ve 4.11.'de verilmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi (Bölüm 3.2.6), çalışmamızda TOPSIS yöntemi karar verme kriterleri olarak GD, UK, kuruma sonrası canlılık ve opaklık özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler için belirlenen ağırlık katsayıları kullanılarak her bir film örneği için d_i^+ , d_i^- ve C değerleri belirlenmiş ve en yüksek C değerine sahip film en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.

B. bifidum BB-12 içeren filmlerin en iyi alternatif sıralamaları incelendiğinde, en yüksek C katsayısına sahip (0.8584) %0 FOS + %0 IN içeren film en iyi alternatif olarak tespit edilmiştir. En iyi alternatif olarak belirlenen filmin C katsayısının diğer örneklerle kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç, en iyi alternatif filmin düşük opaklık ve yüksek TS değerlerine bağlanabilir. Öte yandan, en iyi

alternatif olarak belirlenen filmi 0.5296 ve 0.3932 C katsayıları ile sırasıyla %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri takip etmektedir.

Çizelge 4.10. Farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren *B. bifidum* BB-12 filmlerin TOPSIS yöntemi ile belirlenen en iyi alternatif sıralamaları

Sıralama	Alternatifler		d_i^+	d_i^-	C
	FOS (%)	IN (%)			
1	0	0	0.0191	0.1158	0.8584
2	0	1	0.0577	0.0650	0.5296
3	1	0	0.0804	0.0521	0.3932
4	0	2	0.0766	0.0461	0.3756
5	2	0	0.0908	0.0540	0.3726
6	3	0	0.1040	0.0543	0.3432
7	0	3	0.0879	0.0405	0.3155
8	1	1	0.0892	0.0411	0.3151
9	3	1	0.1040	0.0473	0.3125
10	2	1	0.1028	0.0440	0.2998
11	1	2	0.0910	0.0338	0.2709
12	3	2	0.1115	0.0319	0.2223
13	2	2	0.1116	0.0291	0.2067
14	3	3	0.1136	0.0256	0.1838
15	1	3	0.1007	0.0219	0.1788
16	2	3	0.1157	0.0136	0.1051

d_i^+ : alternatifin pozitif ideal çözümünden uzaklığı; d_i^- : alternatifin negatif ideal çözümünden uzaklığı; C : her bir alternatif için yakınlık katsayısı

L. rhamnosus GG filmlerin en iyi alternatif sıralamaları incelendiğinde, *B. bifidum* BB-12 film örnekleri ile benzer olarak en yüksek C katsayısının (0.8116) %0 FOS ve %0 IN içeren örnekte olduğu görülmektedir. Bu bulgular daha önce de ifade edildiği gibi en iyi alternatif filmin düşük opaklık ve yüksek GD değerlerine bağlanabilir. En iyi alternatif olarak belirlenen filmi 0.7047 C katsayısı ile %1 FOS + %0 IN örneği takip etmektedir. En yüksek C katsayısına sahip üçüncü film ise %0 FOS + %1 IN içeren örnek olarak belirlenmiştir. TOPSIS yöntemi kullanılarak IN ve FOS konsantrasyonu açısından istenen özelliklere sahip en iyi filmi belirlemek mümkündür. Bununla birlikte, kriterler ve ağırlık katsayıları karar vermede çok önemli olup kriterlerin ve ağırlıkların değiştirilmesi de en iyi alternatifin sıralamasını değiştirebilir.

Her iki probiyotik bakteriyi içeren filmlere ait sıralamalar göz önüne alındığında, en iyi alternatif olarak belirlenen örneklerin prebiyotik içermeyen filmler olduğu görülmektedir. Bununla birlikte *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerde

ikinci ve üçüncü sıradaki en iyi alternatifler formülasyonlarında %1 konsantrasyonda FOS ve IN içeren örnekler olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, FOS ve IN gibi prebiyotiklerin depolama boyunca probiyotik stabilitesi ve film özellikleri üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla ilk üç en iyi alternatif olarak tespit edilen filmlerin karakterizasyonuna karar verilmiştir. Bu amaçla, *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerde %0 FOS + %0 IN (BB1), %0 FOS + %1 IN (BB2) ve %1 FOS + %0 IN (BB3) ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde ise %0 FOS + %0 IN (LR1), %1 FOS + %0 IN (LR3) ve %0 FOS + %1 IN (LR2) konsantrasyonlarında hazırlanan örneklerin depolama boyunca probiyotik canlılıkları yanında fiziksel, kimyasal ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren *L. rhamnosus* GG filmlerin TOPSIS yöntemi ile belirlenen en iyi alternatif sıralamaları

Sıralama	Alternatifler		d_i^+	d_i^-	C
	FOS (%)	IN (%)			
1	0	0	0.0232	0.1000	0.8116
2	1	0	0.0318	0.0759	0.7047
3	0	1	0.0480	0.0635	0.5698
4	2	0	0.0553	0.0632	0.5331
5	0	2	0.0576	0.0502	0.4657
6	3	0	0.0772	0.0608	0.4407
7	2	1	0.0699	0.0526	0.4292
8	1	1	0.0653	0.0487	0.4270
9	1	2	0.0701	0.0437	0.3837
10	0	3	0.0734	0.0440	0.3748
11	3	1	0.0829	0.0420	0.3360
12	2	2	0.0824	0.0394	0.3238
13	3	3	0.0941	0.0327	0.2575
14	3	2	0.0886	0.0283	0.2420
15	2	3	0.0929	0.0227	0.1964
16	1	3	0.0936	0.0200	0.1759

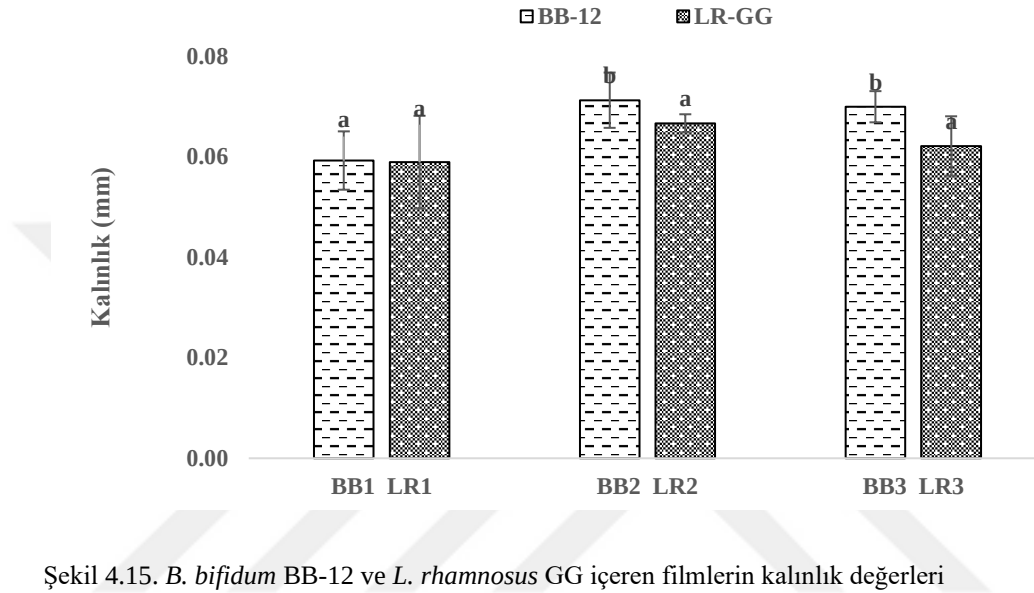
d_i^+ : alternatifin pozitif ideal çözümden uzaklığı; d_i^- : alternatifin negatif ideal çözümden uzaklığı; C : her bir alternatif için yakınlık katsayısı

4.2. TOPSIS Yöntemi ile En İyi Alternatif Olarak Belirlenen Filmlerin Karakterizasyonu

4.2.1. Kalınlık

%0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN içeren filmlerin kalınlıkları yapılan analizler ile ilişkilendirilebilmek amacıyla yeniden tespit edilmiş

ve sonuçlar Şekil 4.15.'te gösterilmiştir. *B. bifidum* BB-12 içeren ve BB1, BB2 ve BB3 film örneklerinin ortalama kalınlık değerleri sırası ile 0.0592, 0.0712 ve 0.0699 mm bulunmuştur. *L. rhamnosus* GG içeren LR1, LR2 ve LR3 film örneklerinin ise ortalama kalınlık değerleri sırası ile 0.0589, 0.0666 ve 0.0621 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.15. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin kalınlık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı küçük harfler aynı örnek grubunda (BB ve LR örnek gruplarında) istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. BB1: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %0 IN, BB2: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %1 IN, BB3: *B. bifidum* BB-12 ve %1 FOS + %0 IN; LR1: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %0 IN, LR2: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %1 IN, LR3: *L. rhamnosus* GG ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

Longares ve ark. (2005) tarafından plastikleştirici olarak farklı oranlarda gliserol ve sodyum kazeinat içeren filmlerin ortalama kalınlık değerleri 0.024-0.031 mm aralığında tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada (Bersaneti ve ark., 2016), farklı konsantrasyonlarda FOS ve nişasta ile üretilen yenilebilir filmlerin kalınlık değerleri 0.17-0.22 mm aralığında bildirilmiştir. Kalınlık değerlerindeki bu farklılık daha önce de ifade edildiği üzere film kurutma koşulları, film solüsyonunun miktarı ve kabın boyutu gibi faktörlere atfedilebilir. Bununla birlikte, yukarıda sözü edilen çalışmalardan farklı olarak probiyotiklerin varlığı da film kalınlığının değişmesi üzerinde etkili olabilir. Phovisay ve ark. (2018) tarafından farklı prebiyotik ajanlar içeren probiyotik filmlerin kalınlık değerleri 0.09-0.12 mm aralığında bildirilmiştir.

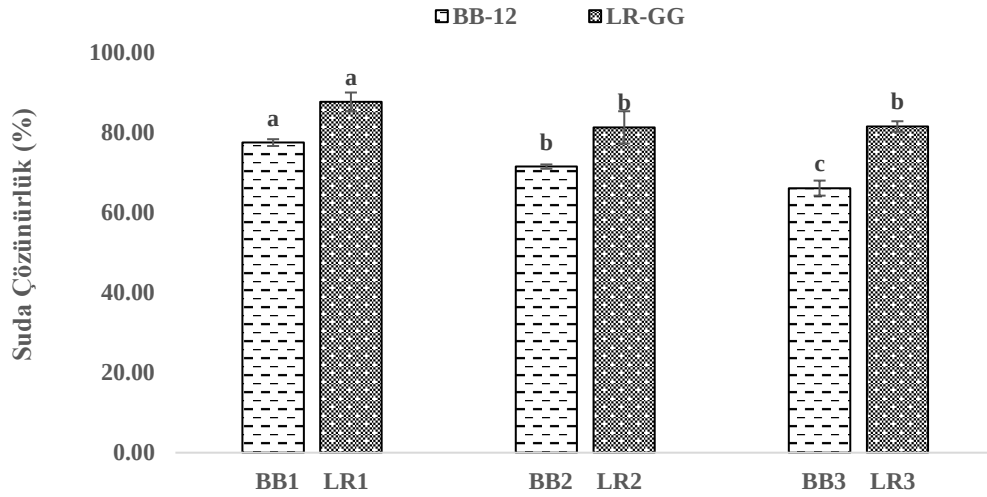
Şekil 4.15.'te görüldüğü üzere, film formülasyonunda FOS ve IN kullanımı film kalınlığında artışa neden olmuştur. Daha önce ifade edildiği üzere, filmlerin kalınlık değerinde IN ve FOS ilavesi ile meydana gelen değişim sabit hacimdeki kurumadde artışı ve buna bağlı olarak film matrisinin değişmesine atfedilebilir (Nagar ve ark., 2020; Zabihollahi ve ark., 2020). *B. bifidum* BB-12 filmlerin kalınlık değerleri üzerinde prebiyotiklerin etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ancak, *L. rhamnosus* GG filmlerin kalınlık değerlerinde meydana gelen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Benzer şekilde, Soukoulis ve ark. (2014a) tarafından yürütülen çalışmada film formülasyonunda prebiyotik ajanların kullanımının *L. rhamnosus* GG içeren film kalınlığı üzerinde etkisinin olmadığı ifade edilmiştir. FOS ve IN içermeyen *B. bifidum* BB-12 filmin kalınlık değeri %1 FOS ve %1 IN içeren filmlerden önemli ölçüde düşük bulunmuştur ($p<0.05$). *L. plantarum* içeren karboksimetilselüloz esaslı filmlerde IN kullanımının film kalınlığını önemli ölçüde etkilediği rapor edilmiştir (Zabihollahi ve ark., 2020; Ceylan ve Atasoy, 2022).

4.2.2. Suda çözünürlük

Suda çözünürlük biyopolimer filmlerin ilaç ve gıda endüstrilerinde kullanımını belirleyen önemli parametrelerden biridir. Bu özellik, filmlerin kimyasal yapısına bağlı olup yenilebilir filmin sudaki kararlılığını göstermektedir (Shahrampour ve ark., 2020). Gıda maddesinin su ile temas ettiği durumlarda, ürün bütünlüğünü korumak ve su direncini artırmak için suda çözünürlüğün düşük olması istenmektedir. Bununla birlikte, bazı durumlarda ürünün tüketiminden önce filmin suda çözünürlüğünün yüksek olması arzu edilmektedir (Perez-Gago ve Krochta, 2001). Ayrıca, prebiyotik içeren filmlerde suda çözünürlük prebiyotik hücrelerin salınmasında rol oynamakta olup suda çözünürlüğün artması hücre salınımını arttırmaktadır (Kalantarmahdavi ve ark., 2021).

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin suda çözünürlük (SÇ) değerleri Şekil 4.16.'da gösterilmiştir. BB1, BB2 ve BB3 filmlerin SÇ değerleri sırası ile %77.52, 71.52 ve 66.14 bulunmuştur. Film formülasyonunda prebiyotik bulunması halinde, *B. bifidum* BB-12 filmlerin çözünürlüğünün önemli ölçüde azaldığı

görülmektedir ($p<0.05$). LR1, LR2 ve LR3 film örneklerinde ortalama SÇ değerleri ise sırası ile %87.72, 81.31 ve 81.55 olarak tespit edilmiştir. Prebiyotik içermeyen filmin çözünürlüğünün FOS ve IN içeren *L. rhamnosus* GG filmlerden önemli ölçüde yüksek olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Bununla birlikte, LR2 ve LR3 filmlerin SÇ değerleri arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$).



Şekil 4.16. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin suda çözünürlük değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı küçük harfler aynı örnek grubunda (BB ve LR örnek gruplarında) istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. BB1: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %0 IN, BB2: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %1 IN, BB3: *B. bifidum* BB-12 ve %1 FOS + %0 IN; LR1: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %0 IN, LR2: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %1 IN, LR3: *L. rhamnosus* GG ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

Sodyum kazeinat yüksek suda çözünürlüğü, elektrostatik ve Van der Waal's kuvvetleri ve hidrofobik etkileşimler yoluyla zincir agregatları oluşturma kapasitesi sayesinde yenilebilir film üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir (Fabra ve ark., 2011). Film oluşumu kazein yapısı ve amino asit dizilimi nedeniyle hidrojen bağı, elektrostatik etkileşimler ve hidrofobik kuvvetlerden kaynaklanmaktadır (Atarés ve ark., 2010; Fabra ve ark., 2010). Sodyum kazeinat esaslı filmlerin yüksek çözünürlüğü, hidrofobik etkileşimler ve hidrojen bağları gibi düşük enerjili bu bağlantılar ile bir arada tutulması ile ilişkilendirilmektedir (Siew ve ark., 1999). Longares ve ark. (2005) tarafından plastikleştirici olarak gliserol kullanılan yenilebilir filmlerde sodyum kazeinat filmlerin suda çözünürlük değeri %90-100 aralığında tespit edilmiştir. Bu sonuçların bizim araştırma sonucumuzda elde edilen SÇ değerlerinden yüksek olduğu

görülmektedir. Suda çözünürlükte görülen bu farklılık formülasyona ilave edilen probiyotik bakteri pelletlerine atfedilebilir. Bakteri hücrelerinin film matrisi ile meydana getirmiş olduğu bağlar bakteri hücrelerinin stabilizasyonuna katkı sağlamaktadır (Kanmani ve Lim, 2013).

Bizim bulgularımızın aksine, %0, 1, 5 FOS ve toplam katı madde miktarı %3 olacak şekilde hazırlanan nişasta esaslı filmlerde nişasta filmlerinin suda çözünürlüğünün FOS ilavesi ile arttığı ifade edilmiştir (Bersaneti ve ark., 2016). Bununla birlikte, La Storia ve ark. (2020) tarafından serum proteini izolatu, jelatin, IN ve *L. curvatus* içeren filmlerde probiyotik kullanımının suda çözünürlük değerlerinde önemli bir farka neden olmadığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, Pereira ve ark. (2019a) tarafından aljinat ve peynir altı suyu protein izolatu esaslı %2 FOS ve IN içeren probiyotik filmlerde probiyotik ilavesinin suda çözünürlük değerlerinde belirgin bir farka neden olmadığı ifade edilmiştir.

Prebiyotiklerin film özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılmasında film kalınlığı parametreleri önemlidir. Film formülasyonuna prebiyotik ajanların ilavesinden sonra film kalınlığının korunması, prebiyotiklerin film oluşturan çözelti içinde iyi çözündüğünü ve bileşenler arasında iyi bir etkileşim olduğunu göstermektedir (Fernandes ve ark., 2020). Ancak, mevcut çalışmada filmlerin kalınlık değerlerindeki artış düşünüldüğünde, suda çözünürlükteki azalma film kalınlığındaki artış ile ilişkilendirilebilir.

4.2.3. Su buharı geçirgenliği

Su buharı geçirgenliği (SBG) gıdanın nem dengesini, tazeliğini ve mikrobiyal gelişimini kontrol etmek açısından oldukça önemli olup yenilebilir filmlerin en sık araştırılan bariyer özelliklerinden biridir (Işık ve ark., 2013). Yenilebilir filmlerin gıda ile etrafını çevreleyen atmosfer arasındaki nem geçişini engelleyebilmesi için SBG değerinin düşük olması arzu edilmektedir (Kurt ve Kahyaoglu, 2014). Su buharının polimer boyunca aktarımı, suyun yapıda çözünmesinin ardından difüzyonu ile gerçekleşmektedir (Turhan, 1999). Su buharı transferi, genellikle filmin hidrofilik

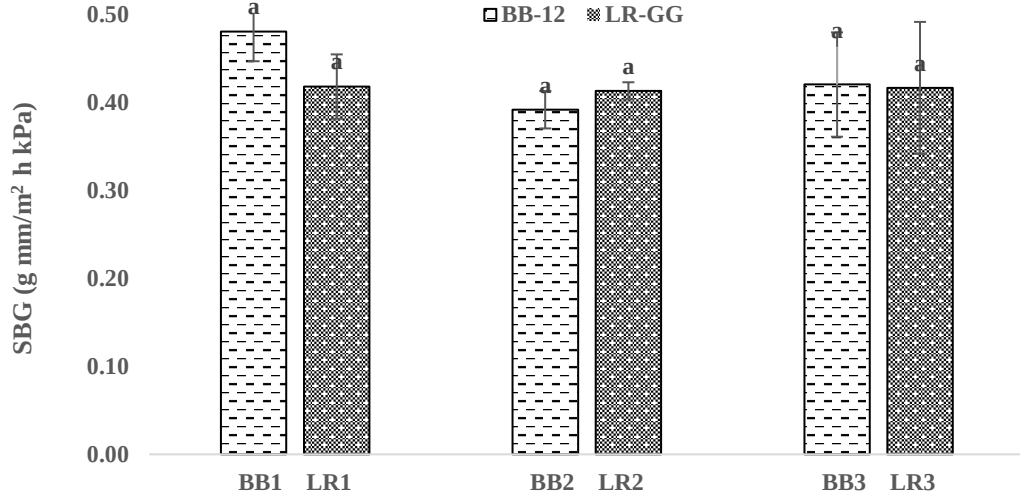
kısmı boyunca gerçekleşmekte ve bu nedenle film bileşenlerinin hidrofilik-hidrofobik oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Rojas-Graü ve ark., 2006).

Şekil 4.17.'de *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin SBG değerleri verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 içeren BB1, BB2 ve BB3 filmlerin SBG değerleri sırası ile 0.4806, 0.3917 ve 0.4203 g mm/m² h kPa olarak belirlenmiştir. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin SBG değerleri ise LR1, LR2 ve LR3 film örnekleri için sırası ile 0.418, 0.4131 ve 0.4165 g mm/m² h kPa olarak tespit edilmiştir.

Fabra ve ark. (2011) tarafından sodyum kazeinat esaslı yenilebilir filmlerin SBG değerleri 0.45-0.62 g mm/m² h kPa aralığında tespit edilmiştir. Akman ve ark. (2021) tarafından sodyum aljinat, sodyum aljinat + *L. plantarum*, sodyum aljinat + enkapsüle *L. plantarum* olmak üzere üç farklı formülasyon ile hazırlanan film örneklerinin SBG değerleri sırası ile 1.384, 1.404 ve 1.560 g mm/h m² kPa olarak bildirilmiştir. Bir başka çalışmada (Khwalidia ve ark., 2004), farklı oranlarda gliserol içeren sodyum kazeinat esaslı yenilebilir filmlerin SBG değerlerinin 7.3-200 g µm/m² gün kPa aralığında olduğu rapor edilmiştir.

Süt proteinleri esaslı yenilebilir filmler hidrofilik özellikleri sebebiyle zayıf nem bariyeri özelliklerine sahiptir (Fernandes ve ark., 2020). Bizim araştırma bulgularımız göz önüne alındığında, filmlerin su buharı bariyer özelliklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun olası sebepleri arasında sodyum kazeinatın kazein fraksiyonları oranı düşünülebilir. Yenilebilir film formülasyonlarında sıklıkla kullanılan kazeinatların SBG özellikleri kazein fraksiyonuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. α-kazein daha az hidrofobik kısım ve prolin içermesi sebebiyle nem ve gaz transferine karşı esnek film oluşumunda tercih edilmektedir. k-kazein fraksiyonu orta derecede hidrofobik özelliği ile su buharı geçişine karşı orta düzeyde etkiye sahip film oluşumuna imkan sunmaktadır. β-kazein fraksiyonu ise yüksek hidrofobik özelliği ile dikkat çekmektedir (McHugh ve Krochta, 1994; Sarioğlu, 2005). Bununla birlikte, yenilebilir filmlerin su buharı bariyer özelliğinin çözünürlük katsayısı, film matrisinin bütünlüğü, hidrofobiklik, difüzyon hızı, kristal ve amorf bölgeler arasındaki oran, kalınlık, polimerik zincir hareketliliği ve fonksiyonel gruplar

arasındaki etkileşimler gibi birçok faktöre bağlı olduğu bilinmektedir (Souza ve ark., 2010).



Şekil 4.17. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin su buharı geçirgenliği değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı küçük harfler aynı örnek grubunda (BB ve LR örnek gruplarında) istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. BB1: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %0 IN, BB2: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %1 IN, BB3: *B. bifidum* BB-12 ve %1 FOS + %0 IN; LR1: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %0 IN, LR2: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %1 IN, LR3: *L. rhamnosus* GG ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

Şekil 4.17.'de görüldüğü üzere, *L. rhamnosus* GG ve *B. bifidum* BB-12 içeren film örneklerinin SBG değerleri üzerinde film formülasyonuna ilave edilen prebiyotiklerin etkisi önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Mevcut çalışma sonuçlarımızın aksine, film formülasyonuna prebiyotiklerin ilave edildiği bazı çalışmalarda prebiyotik ilavesi ile SBG değerinin azaldığı rapor edilmiştir. Fernandes ve ark. (2020) tarafından polimer miktarının %0, 10, 20 ve 30'u oranında KOS ve GOS içeren peynir altı suyu protein esaslı yenilebilir filmlerin SBG değerleri 0.63-1.019 g mm/m² h kPa aralığında bildirilmiştir. Aynı çalışmada, prebiyotik türü ve konsantrasyonundan bağımsız olarak SBG değerinin azaldığı ifade edilmiştir. %0, 1, 5 FOS ve toplam katı madde miktarı %3 olacak şekilde hazırlanan nişasta esaslı filmlerin incelendiği bir başka çalışmada, FOS kullanımının SBG değerinde önemli bir azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Bersaneti ve ark., 2016). Abedinia ve ark. (2021) tarafından *L. casei* içeren jelatin esaslı ve farklı prebiyotikler (dekstrin, polidekstroz, arap zankı ve sago nişastası)

kullanılarak üretilen yenilebilir filmlerin SBG değerlerinin ilave edilen prebiyotik türüne bağlı olarak azaldığı rapor edilmiştir.

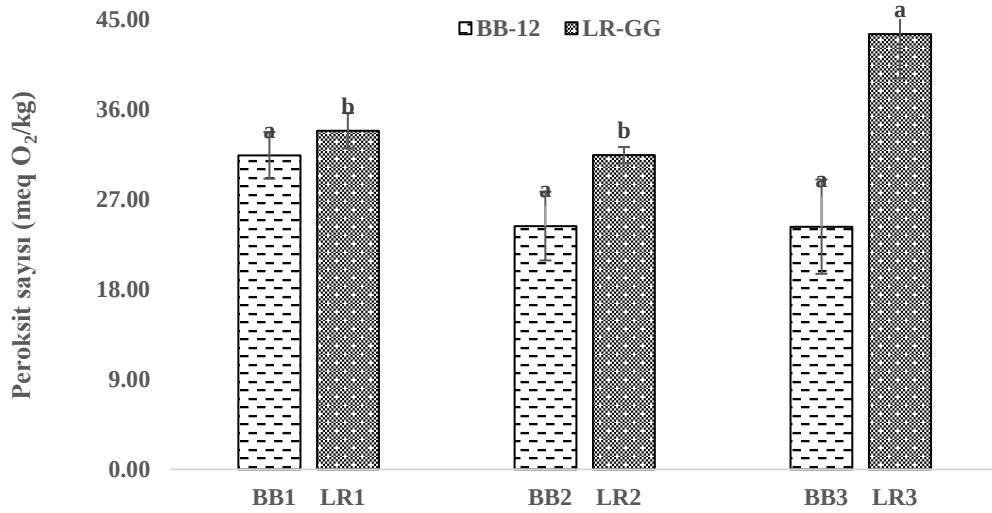
4.2.4. Oksijen geçirgenliği

Oksijen gıdalarda lipit oksidasyonu, mikroorganizmaların gelişmesi, enzimatik esmerleşme ve vitamin kaybı gibi birçok bozunma reaksiyonunda rol oynamaktadır. Bu nedenle, gıda ambalajlarının oksijen transfer özelliklerinin belirlenmesi büyük öneme sahiptir (Ayrancı ve Tunç, 2003). Geçirgenlik, gıda ambalajlamada yenilebilir malzemelerin seçilmesi veya uyarlanması için en önemli bir özelliklerden biri olup düşük oksijen geçirgenliğine (OG) sahip yenilebilir ambalaj materyalleri kullanmak, oksijene duyarlı gıdaların kalitesini koruyarak raf ömrünü uzatmaktadır (Miller ve Krochta, 1997; Janjarasskul ve Krochta, 2010). Ayrıca, probiyotik içeren yenilebilir ambalaj materyallerinin oksijen bariyeri özelliklerinin probiyotik hücre canlılığı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Öyle ki, probiyotik bakterilerin etrafındaki oksijen varlığı, hücrelerde toksik metabolitlere neden olarak oksidatif strese, hasara ve hücre ölümüne neden olmaktadır. Bu nedenle, düşük OG değerine sahip filmlerin probiyotik canlılığı üzerinde koruyucu etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Abedinia ve ark., 2021).

Çalışmamızda filmlerin OG özelliğini belirlemek için peroksit sayısı (PS) değerleri kullanılmış olup %0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN, %1 FOS + %0 IN içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin ortalama PS değerleri Şekil 4.18.'de verilmiştir. BB1, BB2 ve BB3 filmlerin PS değerleri sırasıyla 31.40, 24.33, 24.27 meq O₂/kg olarak tespit edilmiştir. LR1, LR2 ve LR3 filmlerin PS değerleri sırasıyla 33.87, 31.43, 43.53 meq O₂/kg olarak belirlenmiştir. Film örneklerinin PS sonuçları, tüm filmlerin iyi oksijen bariyer özelliğine sahip olduğunu ve yağ oksidasyonunu azalttığını ortaya koymaktadır.

Şekil 4.18.'den görüldüğü üzere, *B. bifidum* BB-12 filmlerin PS değerleri üzerinde FOS ve IN etkisi önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). *L. rhamnosus* GG filmlerde ise en yüksek PS LR3 örneğinde tespit edilmiş olup %1 FOS ilavesinin OG üzerindeki

etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). %1 FOS içeren *L. rhamnosus* GG film örneğinde yüksek PS değerinin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu durum Bölüm 4.2.6'da yer alan film örneklerinin mikroyapısal özelliklerinin açıklandığı bölümde detaylandırılmıştır.



Şekil 4.18. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin peroksit sayısı değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı küçük harfler aynı örnek grubunda (BB ve LR örnek gruplarında) istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. BB1: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %0 IN, BB2: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %1 IN, BB3: *B. bifidum* BB-12 ve %1 FOS + %0 IN; LR1: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %0 IN, LR2: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %1 IN, LR3: *L. rhamnosus* GG ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

Literatürde farklı film formülasyonları ile hazırlanmış probiyotik ilave edilen film örnekleri için bildirilen PS değerleri geniş bir aralıkta değişiklik göstermektedir. Abedinia ve ark. (2021), *L. casei* ve farklı prebiyotikler içeren jelatin esaslı filmlerin PS değerlerini 5.01 ile 15.41 meq O₂/kg aralığında bildirilmişlerdir. Bir başka araştırmacı grubu (Akman ve ark., 2021) tarafından sodyum aljinat esaslı *L. plantarum* ve mikroenkapsüle *L. plantarum* içeren filmlerin PS değerlerinin sırası ile 127.95 ve 123.12 meq/kg olduğu rapor edilmiştir.

4.2.5. Renk özellikleri

Renk, tüketici kabul edilebilirliğindeki fonksiyonu sebebiyle yenilebilir film ve kaplamaların geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Orozco-Parra ve ark.,

2020). Filmlerin optik özelliklerinin film formülasyonu, kullanılan plastikleştirici türü ve miktarı, film kalınlığı, filmin yapısal konformasyonu ve bileşenlerinin uyumluluğu gibi özelliklere bağlı olarak değiştiği bilinmektedir (Shahrampour ve ark., 2020).

Çizelge 4.12. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin L*, a* ve b* değerleri

Film	L*	a*	b*
<i>B. bifidum</i> BB-12 filmler			
BB1	88.96±0.40 ^a	0.24±0.03 ^b	0.64±0.28 ^a
BB2	89.01±0.41 ^a	0.25±0.02 ^b	1.02±0.02 ^a
BB3	89.12±0.51 ^a	0.45±0.08 ^a	0.55±0.36 ^a
<i>L. rhamnosus</i> GG filmler			
LR1	91.82±0.14 ^a	0.94±0.05 ^a	-0.24±0.07 ^{ab}
LR2	91.75±0.40 ^a	0.62±0.03 ^c	-0.11±0.07 ^a
LR3	91.71±0.09 ^a	0.85±0.02 ^b	-0.53±0.24 ^b

Değerler ortalama ± standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı küçük harfler aynı örnek grubunda (BB ve LR örnek gruplarında) istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. BB1: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %0 IN, BB2: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %1 IN, BB3: *B. bifidum* BB-12 ve %1 FOS + %0 IN; LR1: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %0 IN, LR2: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %1 IN, LR3: *L. rhamnosus* GG ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

%1 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin L*, a* ve b* değerlerine Çizelge 4.12.'de yer verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 filmlerin L* (parlaklık, 0:siyah, 100:beyaz) değerleri 88.96-89.12; *L. rhamnosus* GG filmlerin L* değerleri ise 91.71-91.82 aralığında tespit edilmiştir. Her iki örnek grubunda tespit edilen yüksek L* değerleri, filmlerin şeffaf ve berrak özelliklere sahip olduğunu ifade etmektedir (Soukoulis ve ark., 2014a; Pereira ve ark., 2019a; Ceylan ve Atasoy, 2022). Bununla birlikte, *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin L* değerleri üzerinde film formülasyonunun önemli bir değişime neden olmadığı (p>0.05) görülmektedir.

Yenilebilir filmlerin formülasyonlarında sıklıkla kullanılan sodyum kazeinatın şeffaf film üretimine imkân sağladığı bilinmektedir (Caprioli ve ark., 2009). Ayrıca, çalışmamızda filmlerin şeffaf ve berrak özelliklere sahip olması elde edilen film örneklerinin kalınlıklarının düşük olmasına atfedilebilir. Benzer şekilde, Shahrampour ve ark. (2020), aljinat/pektin esaslı probiyotik filmlerde en yüksek L* değerine sahip örneklerin en ince örnekler olduğunu rapor etmişlerdir.

Araştırma bulgularımız ile benzer olarak, Zabihollahi ve ark. (2020) tarafından *L. plantarum*, selüloz nanofiber ve farklı konsantrasyonda IN içeren karboksimetil selüloz esaslı filmlerin parlaklığını film formülasyonunun etkili olmadığı ifade edilmiştir. Bir başka araştırmacı grubu (Orozco-Parra ve ark., 2020) tarafından nişasta esaslı *L. casei* içeren filmlerde IN ilavesinin film parlaklığını etkilemediği ifade edilmiştir. Pereira ve ark. (2019a), probiyotik içeren aljinat ve peynir altı suyu protein izolatu esaslı filmlerde IN ve FOS ilavesinin film parlaklığı üzerinde belirgin bir değişime neden olmadığını rapor etmişlerdir.

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG film örneklerinin a^* (kırmızı:+, yeşil:-) değerleri sırası ile 0.24-0.45 ve 0.62-0.94 aralığında bulunmuştur. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin b^* (sarı:+, mavi:-) değerleri sırası ile 0.55-1.02 ve (-0.53)-(-0.11) aralığında tespit edilmiştir. Bununla birlikte, her iki örnek grubunda a^* ve b^* değerlerinin sıfıra yakın olması, güçlü renk tonlarının olmadığını ifade etmektedir (Orozco-Parra ve ark., 2020; Ceylan ve Atasoy, 2022).

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG örneklerinin a^* değerleri incelediğinde, formülasyonun filmlerin a^* değeri üzerinde önemli bir değişime ($p < 0.05$) neden olduğu görülmektedir. %1 FOS + %0 IN içeren *B. bifidum* BB-12 (BB3) filmde a^* değerinin diğer filmlere kıyasla önemli ölçüde yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Film kalınlığının renk özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Piermaria ve ark., 2015). Bu nedenle, BB3 filminin a^* değerindeki artış %1 oranında FOS ilavesi sonucu film kalınlığının artışı ile ilişkilendirilebilir. *L. rhamnosus* GG filmlerde ise formülasyonda prebiyotik kullanımı ile a^* değerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak, daha önce de ifade edildiği üzere *L. rhamnosus* GG filmlerin kalınlığında %1 FOS ve IN kullanımı ile istatistiksel olarak önemli bir değişim meydana gelmemiştir. *L. rhamnosus* GG filmlerde prebiyotik kullanımı ile a^* değerinde görülen bu azalma prebiyotik tipi ve film formülasyonundaki bileşenlerin uyumluluğuna atfedilebilir. Benzer şekilde, Soukoulis ve ark. (2014a) tarafından farklı prebiyotikler ve *L. rhamnosus* GG içeren film kalınlıkları arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir. Aynı çalışmada, filmlerin renk özelliklerinde meydana gelen değişim, kullanılan prebiyotiklerin tipine atfedilmiştir.

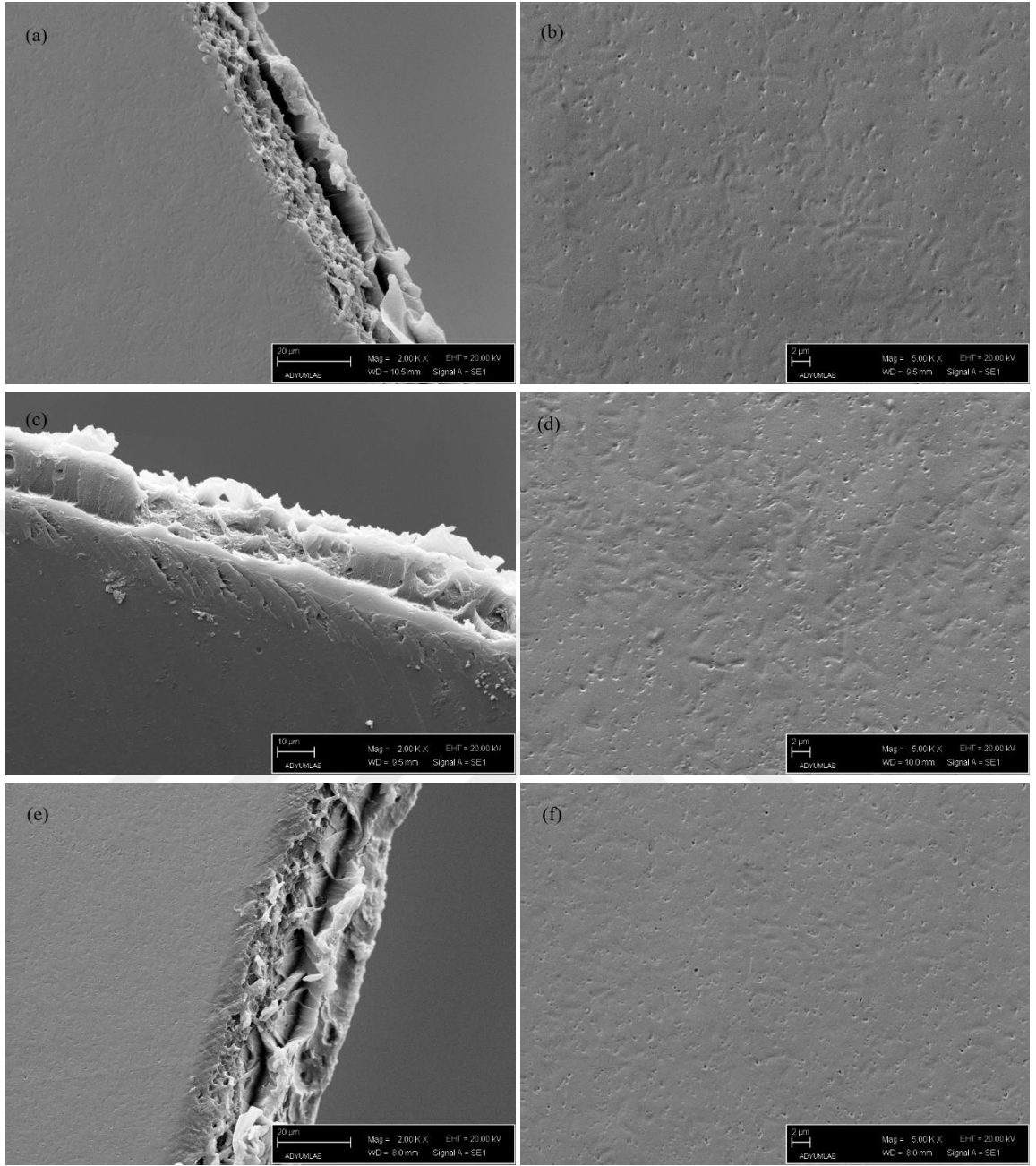
B. bifidum BB-12 filmlerin b^* değerleri arasında istatistiksel olarak belirgin bir fark tespit edilmezken ($p>0.05$), *L. rhamnosus* GG filmlerin b^* değerleri üzerinde film formülasyonunun etkisi önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Orozco-Parra ve ark. (2020) tarafından probiyotik ve farklı oranlarda IN içeren filmlerin a^* ve b^* değerleri üzerinde IN kullanımının etkisinin önemli olmadığı rapor edilmiştir.

4.2.6. Mikroyapısal özellikler

Filmlerin mikroyapısı bileşenler arası etkileşimler ve kurutma aşaması hakkında fikir vermekte olup sonuçların daha iyi tartışılmasına imkân sağlamaktadır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleme analizi ile filmlerin yüzey pürüzlülüğü, homojenliği, delik ve katman yapısı hakkında detaylı bilgi edinilebilmektedir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen kesit (2000x) ve yüzey (5000x) görüntüleri sırası ile Şekil 4.19. ve 4.20.'de sunulmuştur.

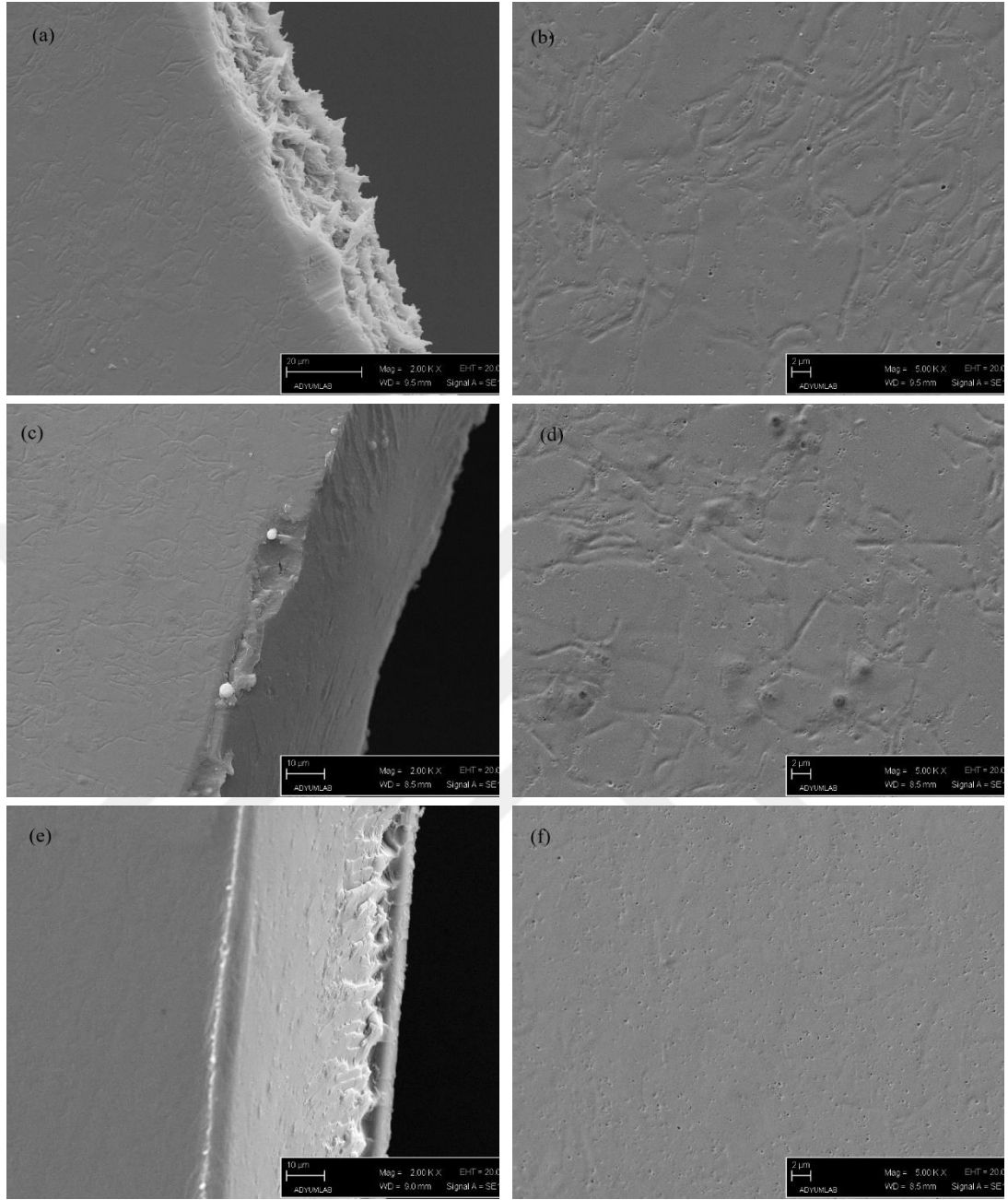
Her iki probiyotik bakteriyi içeren film örneklerine ait yüzey görüntülerinde herhangi bir faz ayrılması veya toplanma tespit edilmemiştir. Bu durum, film formülasyonunda yer alan bileşenlerin iyi bir uyumluluk göstermesi şeklinde yorumlanabilir. Bakteri hücrelerinin film yüzeyinde homojen bir şekilde dağılması film formülasyonlarının ilave edilen probiyotikler için uygun olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, formülasyona ilave edilen bakteri hücrelerinin film matrisine gömülü olduğu (küçük çubuk benzeri şekiller) dikkat çekmektedir. Bakteri hücrelerinin film matrisine gömülü olması yenilebilir film matrislerinin probiyotik hücre koruyucu etkisini açıklamaktadır (Ye ve ark., 2018). Ye ve ark. (2018) tarafından farklı oranlarda *L. lactis* içeren aljinat/karboksimetilselüloz esaslı filmlerde *L. lactis* hücrelerinin filmde eşit şekilde dağıldığı ve küresel-oval şekillerinin korunduğunu bildirilmiştir. Bu durum, film formülasyonlarının probiyotik bakteri üzerindeki koruyucu etkisi ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.19. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin SEM görüntüleri

(a: BB1 filmin kesit görüntüsü, b: BB1 filmin yüzey görüntüsü, c: BB2 içeren filmin kesit görüntüsü, d: BB2 içeren filmin yüzey görüntüsü ve e: BB3 filmin kesit görüntüsü, f: BB3 filmin yüzey görüntüsü)



Şekil 4.20. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin SEM görüntüleri

(a: LR1 filmin kesit görüntüsü, b: LR1 filmin yüzey görüntüsü, c: LR2 filmin kesit görüntüsü, d: LR2 filmin yüzey görüntüsü ve e: LR3 filmin kesit görüntüsü, f: LR3 filmin yüzey görüntüsü)

Benzer şekilde, Ebrahimi ve ark. (2018) tarafından *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. rhamnosus* ve *B. bifidum* ilave edilen karboksimetil selüloz esaslı probiyotik filmlerde bakteri hücrelerinin film matrisine gömülü olduğu ifade edilmiştir. Pereira ve ark. (2016) tarafından peynir altı suyu protein izolatı esaslı film formülasyonuna dâhil edilen *B. bifidum* ve *L. casei* hücrelerinin film matrisine gömülü olduğu ve bu durumun

hücre canlılığı üzerinde koruyucu bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir. Bir başka çalışmada (Shahrampour ve ark., 2020), *L. plantarum* içeren probiyotik filmlerde film yüzeyi üzerinde bakteri dağılımının gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Bununla birlikte, film formülasyonuna ilave edilen probiyotiklerin az da olsa pürüzlü yüzey oluşumuna neden olduğu dikkat çekmektedir. Ancak, kesit görüntülerinde bu durum belirgin şekilde gözlenmemiştir. Benzer bulgular, Oliveira-Alcântara ve ark. (2020) tarafından kaju gamı ve bakteriyel selüloz esaslı yenilebilir film formülasyonuna ilave edilen bakteri hücreleri için de ifade edilmiştir. Piermaria ve ark. (2015), mikroorganizma içeren yenilebilir kefiran filmlerin daha az kompakt bir yapı gösterdiğini bildirmiştir. Ancak, probiyotik içeren yenilebilir film formülasyonuna ilave edilen hücrelerin film yapısını bozmaksızın film oluşumuna imkân sağladığı pek çok çalışmada rapor edilmiştir. Romano ve ark. (2014) tarafından metil selüloz esaslı probiyotik filmlerin bakteri varlığından etkilenmeksizin homojen bir yapısal bütünlük gösterdiği ifade edilmiştir. Bir başka çalışmada (Orozco-Parra ve ark., 2020), tapyoka nişastası esaslı film formülasyonuna *L. casei* ilavesinin film yapısını bozmadığı bildirilmiştir.

Şekil 4.19.'da *B. bifidum* BB-12 bakteri hücreleri BB2 (%0 FOS + %1 IN içeren) film yüzeyinde belirgin şekilde görüntülenmiştir. BB1 (%0 FOS + %0 IN) ve BB3 (%1 FOS + %0 IN) içeren film formülasyonlarında ise yüzeyde bakteri hücre görüntülerine daha az rastlanılmıştır. Özellikle, BB3 film yüzeyinde neredeyse bakteri hücresine rastlanılmamıştır. Bu durum, *B. bifidum* BB-12 hücrelerinin %1 FOS + %0 IN film formülasyonunda yer alan bileşenler içerisine daha iyi gömüldüğünü düşündürmektedir. Bununla birlikte, *B. bifidum* BB-12 filmlerin yüzey görüntülerinde bakteri hücreleri haricinde örnekler arasında belirgin bir fark gözlemlenmemiştir. Bu bulgular, *B. bifidum* BB-12 içeren örnekler için SBG ve OG özellikleri ile uyumlu bulunmuştur.

Ancak, BB1 (*B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %0 IN içeren) filmin kesit görüntüsünde diğer örnekler ile kıyasla daha fazla boşluk olduğu dikkat çekmektedir. BB3 (%1 FOS + %0 IN) ve BB2 (%0 FOS + %1 IN) filmlerin kesit görüntülerinde

daha az boşluk olması sodyum kazeinat matrisine FOS ve IN bileşenlerinin tam olarak dâhil edildiğini göstermektedir. Bu nedenle, IN ve FOS içeren örneklerin yüzey görüntüsünde gözlemlenen gözeneklerin sadece yüzeyde meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

B. bifidum BB-12 film yüzey görüntüleri ile benzer olarak, Şekil 4.20.'de *L. rhamnosus* GG bakteri hücrelerinin BB3 (%1 FOS + %0 IN) film örneğinde neredeyse gözlemlenmediği görülmektedir. BB1 ve BB2 filmlerin yüzey görüntülerinde ise *L. rhamnosus* GG hücreleri daha belirgin şekilde seçilebilmektedir. Bu durum, *L. rhamnosus* GG hücrelerinin %1 FOS + %0 IN film formülasyonunda yer alan bileşenler içerisine iyi şekilde gömülmesi ile açıklanabilir. Ancak, BB3 filmin yüzeyinde diğer iki örnek grubuna kıyasla daha fazla gözenek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, %1 FOS + %0 IN içeren *L. rhamnosus* GG filmin OG değerinde sonuçları ile uyumlu bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü BB3 filmin OG değerlerinde görülen artışın nedeni olarak düşünülebilir.

L. rhamnosus GG filmin kesit görüntülerinde ise BB3 (%1 FOS + %0 IN) ve BB2 (%0 FOS + %1 IN) filmlerin çatlak ve gözenekler olmaksızın pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle, örneklerin yüzey görüntüsünde gözlemlenen gözeneklerin sadece yüzeyde meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir. Bu sonuçlar, %1 konsantrasyonda FOS ve IN ilavesinin sodyum kazeinat polimerik matrisi ile iyi bir uyumluluk ve karışabilirlik gösterdiğine dikkat çekmektedir. Ayrıca, bakteri hücrelerinin kesit görüntülerinde de seçilebildiği dikkat çekmektedir. Yüzey görüntüleriyle uyumlu olarak, BB3 filmine ait kesit görüntüsünde hücrelerin daha iyi gömüldüğü görülmektedir.

Orozco-Parra ve ark. (2020), *L. casei* ve farklı konsantrasyonlarda IN içeren tapyoka nişastası esaslı filmlerde, çatlak ve gözenekler olmaksızın homojen bir film matrisi meydana geldiğini gözlemlemiştir. Aynı çalışmada, IN'nin tapyoka nişastası polimerik matrisine uyumlu şekilde dâhil edildiği ifade edilmiştir. Bir başka çalışmada (Soukoulis ve ark., 2014a), probiyotik içeren filmlere probiyotik ilavesinin filmlerin mikroyapısal özelliklerinde saptanabilir değişikliklere neden olduğu rapor edilmiştir.

Bununla birlikte, prebiyotikler ve polimer olarak kullanılan jelatin arasında iyi bir uyumluluk olduğu bildirilmiştir. Bersaneti ve ark. (2016), farklı konsantrasyonlarda FOS içeren nişasta esaslı filmlerde, FOS ilavesinin daha pürüzlü yüzey oluşumuna neden olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak, aynı çalışmada yüksek konsantrasyonda FOS kullanılması (nişasta miktarının %10'u) durumunda filmin daha pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu ifade edilmiştir.

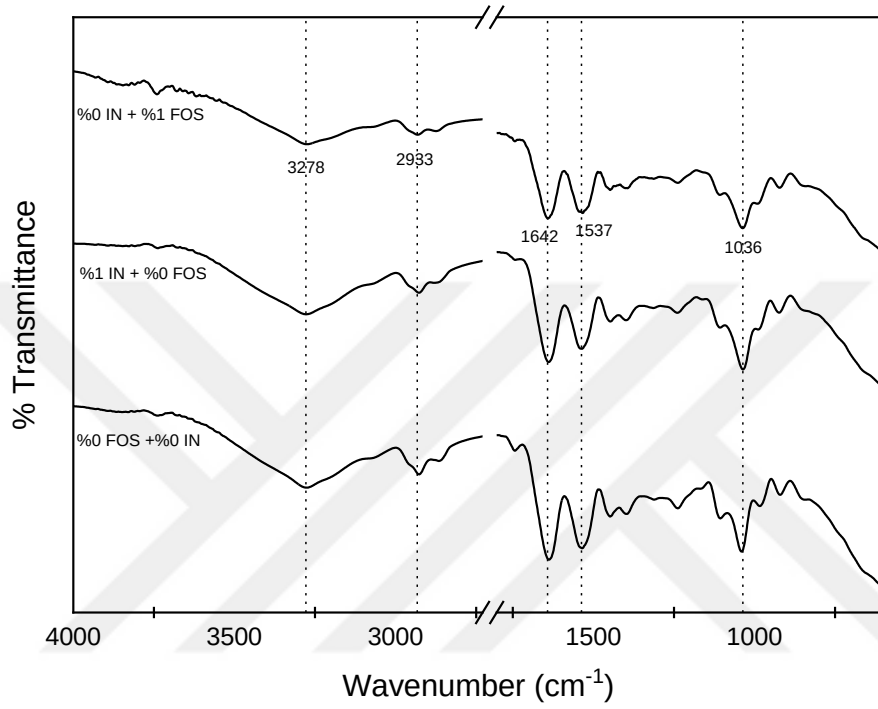
4.2.7. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Kızılötesi spektroskopisi, inorganik ve organik bileşenlerin karakterize edilmesi amacıyla sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem ile elde edilen spektrumlar, orta kızılötesi bölgedeki ($4000-400\text{ cm}^{-1}$) moleküler bağların titreşimlerini içermektedir. Bu titreşimler ile oluşan frekanslara karşılık gelen absorpsiyon pikleri ile molekülün parmak izi bölgesi belirlenmektedir. Her maddenin kendine has bir spektrumu vardır ve bu durumun tek istisnasını optik izomerler oluşturmaktadır. Farklı moleküler bağlar farklı titreşim frekansları ile ayırt edilebilmekte ve böylece elde edilen spektrum bantları numunedeki moleküllerin kimyasal bağ yapısı ve fonksiyonel grupları ile ilişkilendirilebilmektedir (Büyüksırt ve Kuleaşan, 2014; İçyer ve Durak, 2020).

%0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN içeren *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin FTIR spektrumları sırasıyla Şekil 4.21. ve 4.22.'de gösterilmiştir. Her iki örnek grubunda %0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN ve %1 FOS + %0 IN içeren filmlerin FTIR spektrumları incelendiğinde, en belirgin piklerin benzer olduğu dikkat çekmektedir. En belirgin piklerin $3700-2700\text{ cm}^{-1}$ 'lik hidrojen gerilme, $3000-2850\text{ cm}^{-1}$ 'lik alifatik CH, $1950-1550\text{ cm}^{-1}$ 'lik ikili bağ ve $1500-700\text{ cm}^{-1}$ 'lik parmak izi bölgelerine karşılık geldiği görülmektedir (Hışıl, 2015).

$3700-2700\text{ cm}^{-1}$ 'lik bölge hidrojen gerilme bölgesine ait olup $3500-3100\text{ cm}^{-1}$ 'lik bölgedeki geniş piklerin hidroksil (O-H) grubuna karşılık geldiği bilinmektedir (Agrebi ve ark., 2019; Hışıl, 2015). Film formülasyonunda kullanılan gliserole atfedilen bu bantlar tüm filmlerde tespit edilmiştir (Pereira ve ark., 2019a; Soukoulis

ve ark., 2014a). Film oluşturuıcı çözeltilerin kurutulması sebebiyle tespit edilen bu banda suyun etkisinin az olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, O-H piklerine kullanılan prebiyotikler ve bakteri polisakkaritlerinin O-H gruplarının da katkıda bulunduğu rapor edilmiştir (Romano ve ark., 2014).

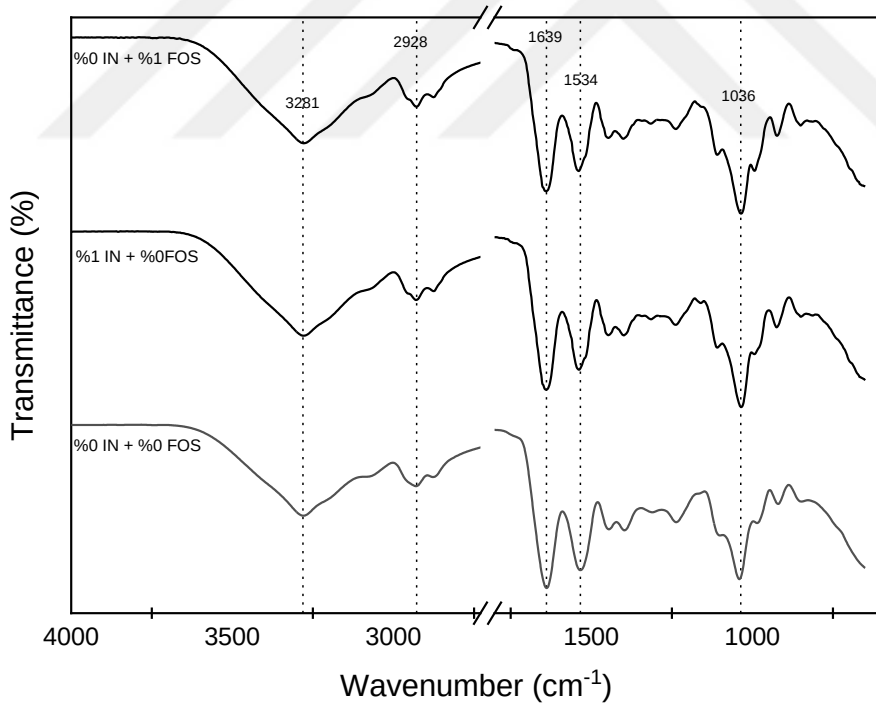


Şekil 4.21. *B. bifidum* BB-12 içeren filmlerin FTIR spektrumları

3100-2600 cm^{-1} 'lik bölgeye karşılık gelen ve C-H titreşimlerine ait olduğu bilinen pikler tüm filmlerde tespit edilmiştir (Agrebi ve ark., 2019). Pek çok alifatik bileşik bu piki vermek için yeterli sayıda CH bağına sahiptir (Hışıl, 2015). Bu bandın varlığı oksijene bağlı CH bağının varlığı ile ilişkilendirilmektedir (Ma ve ark., 2019). Ayrıca bir çalışmada (Pereira ve ark., 2019a), serum proteini esaslı filmlerde 2924-2854 cm^{-1} 'lik bölgeye karşılık gelen C-H bağları süt ürünlerinde yer alan yağ ile ilişkilendirilmiştir. Bizim çalışmamızda polimer olarak kullanılan süt proteini sodyum kazeinat ile bu bandın ilişkili olduğu düşünülebilir.

Filmlerin FTIR spektrumlarında tespit edilen bir diğer önemli bant bölgesi 1850-1550 cm^{-1} 'lik ikili bağlara karşılık gelmekte ve bu bantlar karbonil gerilme titreşimleri

ile karakterize edilmektedir (Hışıl, 2015). $\sim 1600 \text{ cm}^{-1}$ 'ye karşılık gelen bant Amide I bandı olarak bilinen ($\text{C}=\text{O}$ gerilme titreşimleri/ COO ile bağlanmış hidrojen bağı) gerilme titreşimlerini temsil etmektedir (Jridi ve ark., 2014). $1550\text{-}1400 \text{ cm}^{-1}$ 'lik bölgede yer alan $\sim 1534 \text{ cm}^{-1}$ 'lik bant ise Amide II (N-H gruplarının eğilme titreşimi ve C-N gruplarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanan) bağına atfedilmektedir (Jridi ve ark., 2014). Tespit edilen Amide I ve II bantları peptid bağları (CO-NH) ile ilgilidir. Bu bantlar örnekte yer alan protein konsantrasyonu ile ilişkili olup çalışmamızda polimer olarak kullanılan sodyum kazeinat ile ilişkilendirilebilir. Benzer şekilde, serum proteini izolatu esaslı probiyotik filmlerde tespit edilen peptid bağları kullanılan serum proteini izolatına atfedilmiştir (Pereira ve ark., 2019a). Tüm filmlerde tespit edilen bir diğer önemli pik ise $\sim 1030\text{-}1040 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığına karşılık gelmekte ve C-O gerilme ve bükme bantlarına atfedilmektedir (Agrebi ve ark., 2019; Oliveira-Alcântara ve ark., 2020).



Şekil 4.22. *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin FTIR spektrumları

Şekil 4.21. incelendiğinde, BB1 (%0 FOS + %0 IN), BB2 (%0 FOS + %1 IN) ve BB3 (%1 FOS + %0 IN) filmlerin FTIR spektrumlarının benzer olduğu

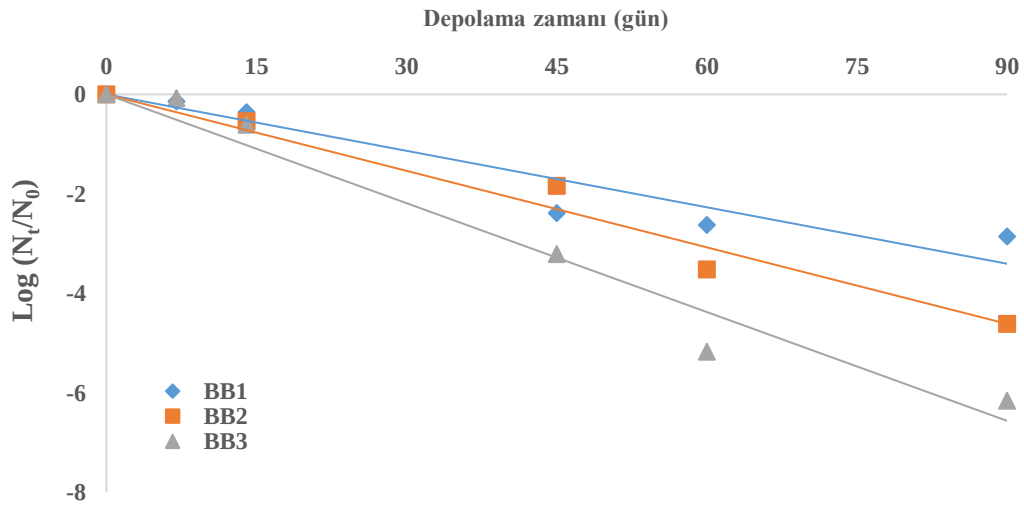
görülmektedir. En belirgin pikler ise ~ 3278 , ~ 2933 , ~ 1642 , ~ 1537 ve ~ 1036 cm^{-1} 'ye karşılık gelen bantlar olarak tespit edilmiştir. *B. bifidum* BB-12 filmlerde tespit edilen belirgin bantlar dışında 3742 cm^{-1} 'lik bölgede bir spektral bant görülmektedir. ~ 3742 cm^{-1} 'deki bant, protein ipliklerinin serbest O–H ve N–H gruplarına atfedilir (Karimi ve ark., 2020). Ayrıca, ~ 2864 , ~ 1743 , ~ 1398 , ~ 1241 , ~ 1109 , ~ 984 ve ~ 923 cm^{-1} 'lik dalga sayılarına karşılık gelen bölgelerde de spektrum bantları göze çarpmaktadır.

Şekil 4.22. incelendiğinde, en belirgin piklerin ~ 3281 , ~ 2928 , ~ 1639 , ~ 1534 ve ~ 1036 cm^{-1} 'lik bantlara karşılık geldiği görülmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN), LR2 (%0 FOS + %1 IN) ve LR3 (%1 FOS + %0 IN) filmlerin FTIR spektrumları arasında belirgin fark tespit edilmemiştir. Spektrumların çok küçük bazı yoğunluk değişimleri dışında FOS ve IN ilavesinden etkilenmediği dikkat çekmektedir. *L. rhamnosus* GG filmlerin ifade edilen belirgin spektral bantlar haricinde (~ 2873 , ~ 1400 , ~ 1240 , ~ 920 cm^{-1}) pikler içerdiği göze çarpmaktadır. ~ 2873 ve ~ 1400 cm^{-1} dalga sayısına karşılık gelen pikler sırası ile C-H germe bölgesine (Agrebi ve ark., 2019) ve 3,6 glikosidik köprüsünün varlığına atfedilmektedir (Ma ve ark., 2019). ~ 1242 cm^{-1} bandının 1400 - 1200 cm^{-1} bölgesinde bulunan C-N ve N-H bağlarını içeren Amide III bandına karşılık geldiği ifade edilmektedir (Fakhreddin ve ark., 2013; Khedri ve ark., 2021). Son olarak, ~ 920 cm^{-1} dalga sayısını absorbe eden bandın C-O-C bağına ait olduğu düşünülmektedir (Ma ve ark., 2019). Bu spektral bant prebiyotik olarak kullanılan FOS ve IN gibi polisakkaritlerin varlığı ile ilişkilendirilebilir.

Bizim çalışmamızda FTIR spektrumlarında elde ettiğimiz bulgular, prebiyotik filmler üzerinde prebiyotik ajanların etkisinin incelendiği pek çok çalışma ile benzer bulunmuştur. Oliveira-Alcântara ve ark. (2020) tarafından kaju gamı ve bakteriyel selüloz esaslı film formülasyonunda FOS ve prebiyotik etkisinin araştırıldığı çalışmada, filmlerin FTIR spektrumlarında FOS varlığında gözle görülür biçimde bir değişim meydana gelmediğini ifade etmiştir. Bir başka çalışmada (Orozco-Parra ve ark., 2020), farklı konsantrasyonlarda IN ilave edilen nişasta esaslı *L. casei* içeren filmlerin FTIR spektrumları arasında önemli bir değişim gözlemlenmediği bildirilmiştir.

4.2.8. Filmlerde depolama boyunca probiyotik bakteri canlılığı

BB1, BB2 ve BB3 film örnekleri için *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon eğrileri Şekil 4.23.'te gösterilmiştir. Ayrıca, bu film örneklerinde *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon oranları ve tahmini raf ömrü değerlerine Çizelge 4.13.'te yer verilmiştir. *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon oranı üzerinde film formülasyonuna IN ve FOS ilavesi önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Beklenenin aksine, formülasyonda %1 IN veya FOS kullanımı *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon hızında artışa neden olmuştur. *B. bifidum* BB-12'nin en yüksek inaktivasyon oranı BB3 (0.167, $R^2 = 0.967$) örneğinde tespit edilmiş ve bunu sırası ile BB2 (0.120, $R^2 = 0.958$) ve BB1 (0.086, $R^2 = 0.892$) film örnekleri takip etmiştir.

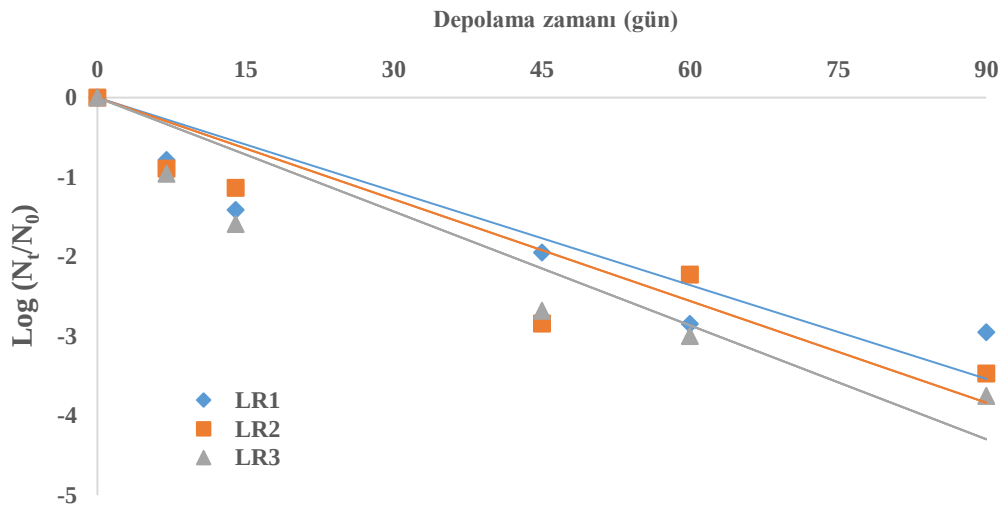


Şekil 4.23. Depolama boyunca *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon eğrileri

BB1: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %0 IN, BB2: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %1 IN, BB3: *B. bifidum* BB-12 ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

B. bifidum BB-12 canlı hücre sayısının 6 log kob/g değerine düşmesi için gereken süreyi ifade eden tahmini raf ömrü değerleri BB1, BB2 ve BB3 örnekleri için sırası ile 98, 70 ve 51 gün olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, film örneklerinin raf ömrü süreleri üzerinde %1 FOS veya IN kullanımının önemli bir farka ($p < 0.05$) neden olduğu tespit edilmiştir.

LR1, LR2 ve LR3 örnekleri için *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon eğrileri Şekil 4.24.'te gösterilmiştir. *L. rhamnosus* GG'nin depolama sırasındaki inaktivasyonu üzerinde film formülasyonunun etkili olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$). *L. rhamnosus* GG'nin en yüksek inaktivasyon oranı 0.111 ($R^2 = 0.807$) değeri ile LR3 örneğinde tespit edilmiştir. İkinci en yüksek inaktivasyon oranı 0.099 ($R^2 = 0.789$) LR2 örneğinde belirlenmiştir. Görüldüğü üzere, film formülasyonuna %1 FOS ilavesi *L. rhamnosus* GG inaktivasyonunda önemli bir artışa neden olmuştur. Ancak, formülasyonda %1 IN kullanımı *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon hızında önemli bir değişime yol açmamıştır ($p > 0.05$).



Şekil 4.24. Depolama boyunca *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon eğrileri

LR1: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %0 IN, LR2: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %1 IN, LR3: *L. rhamnosus* GG ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

L. rhamnosus GG'nin inaktivasyon oranları ve tahmini raf ömrü değerlerine Çizelge 4.14.'te yer verilmiştir. *L. rhamnosus* GG içeren film örneklerinin raf ömrü değerleri üzerinde FOS veya IN ilavesinin etkisi önemli ($p < 0.05$) olduğu görülmektedir. Ayrıca, *L. rhamnosus* GG içeren LR1, LR2 ve LR3 örneklerinin raf ömrü değerleri sırası ile 82, 73 ve 68 gün olarak hesaplanmıştır.

Probiyotik içeren yenilebilir filmlerde prebiyotiklerin depolama stabilitesini arttırdığı birçok çalışmada (Soukoulis ve ark., 2014a; Pereira ve ark., 2019a; Orozco-

Parra ve ark., 2020) bildirilmiştir. Ancak, kaju gamı ve bakteriyel selüloz esaslı film formülasyonunda FOS ve probiyotik etkisinin incelendiği çalışmada, FOS ilavesinin probiyotiğin depolama stabilitesinde önemli bir değişime neden olmadığı ifade edilmiştir (Oliveira-Alcântara ve ark., 2020). Aynı çalışmada, FOS ilavesinin depolama stabilitesi üzerindeki beklenen etkiyi göstermemesi, FOS içermeyen filmde probiyotik stabilitesinin depolama sırasında oldukça yüksek olması ve FOS etkisinin tespit edilemeyecek kadar küçük olması ile ilişkilendirilmiştir. Benzer şekilde, mevcut çalışmada test edilen probiyotik bakterilerin depolama stabilitesi kullanılan film formülasyonlarında oldukça yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Depolama boyunca *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon oranları ve raf ömrü değerleri

Film	İnaktivasyon Oranı (R ²) (kob/g gün ⁻¹)	Tahmini Raf Ömrü (gün)
BB1	0.086±0.001 ^c (0.892)	98±0.57 ^a
BB2	0.120±0.003 ^b (0.958)	70±0.62 ^b
BB3	0.167±0.003 ^a (0.967)	51±0.73 ^c

^{a-c}Satırlar arasındaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Tahmini raf ömrü, probiyotik canlı bakteri sayısının 6 log kob/g değerine düşmesi için gereken süreyi ifade etmektedir. BB1: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %0 IN, BB2: *B. bifidum* BB-12 ve %0 FOS + %1 IN, BB3: *B. bifidum* BB-12 ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

Çalışmamızda, %1 oranında FOS ve IN kullanımının probiyotik bakterilerin depolama stabilitesi üzerinde beklenen etkiyi göstermemesinin film kalınlığında meydana gelen artış ile de ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bölüm 4.2.1'de ifade edildiği üzere, film formülasyonuna %1 FOS ve IN ilavesi film kalınlığında artışa neden olmuştur. Film kalınlığında meydana gelen artış sebebiyle tartım aşamasında probiyotik içeren filmlerin daha küçük yüzey alanına sahip parçaları, probiyotik içermeyen örnek ile aynı ağırlığa karşılık gelmektedir. Bu durumun probiyotik içeren film örneklerinin birim yüzey alanında daha az sayıda bakteri bulunmasına sebep olabileceği düşünülmektedir (Ceylan ve Atasoy, 2022).

Elde edilen filmlerde test edilen probiyotik bakterilerin depolama stabilitesinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, film formülasyonlarının *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG için uygun birer taşıyıcı olduğunu göstermektedir. Film üretiminde kullanılan polimer türü de mikrobiyal hayatta kalma oranı üzerinde önemli

bir rol oynamaktadır (Sánchez-González ve ark., 2014). Proteinlerin probiyotik bakterilerin gelişimini iyileştirmek için gerekli olan mikro besinler sağlayarak ve serbest radikalleri (amino asitler ve peptitler gibi) temizleyerek probiyotik hayatta kalma süresini arttırabildiği rapor edilmiştir (Abedinia ve ark., 2021). Mevcut çalışmamızda, probiyotiklerin depolama stabilitesi üzerinde polimer olarak protein esaslı sodyum kazeinat kullanımının etkili olduğu düşünülmektedir. Sodyum kazeinat kullanımına bağlı olarak filmlerde probiyotik bakteri canlılığı için gerekli besin elementlerinin varlığının hücre stabilitesi üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Öyle ki, bazı polisakkarit esaslı filmlere kıyasla protein esaslı filmlerde bakteri canlılığının daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Sánchez-González ve ark., 2013; 2014; Ceylan ve Atasoy, 2022).

Çizelge 4.14. Depolama boyunca *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon oranları ve raf ömrü değerleri

Film	İnaktivasyon Oranı (R^2) (kob/g gün ⁻¹)	Tahmini Raf Ömrü (gün)
LR1	0.091±0.005 ^b (0.750)	82±1.03 ^a
LR2	0.099±0.004 ^b (0.789)	73±1.51 ^b
LR3	0.111±0.003 ^a (0.807)	68±1.11 ^c

^{a-c}Satırlar arasındaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Tahmini raf ömrü, probiyotik canlı bakteri sayısının 6 log kob/g değerine düşmesi için gereken süreyi ifade etmektedir. LR1: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %0 IN, LR2: *L. rhamnosus* GG ve %0 FOS + %1 IN, LR3: *L. rhamnosus* GG ve %1 FOS + %0 IN içeren film örnekleri.

Ayrıca, bazı araştırmacılar tarafından (Burgain ve ark., 2013a; Burgain ve ark., 2013b) *L. rhamnosus* GG gibi bakterilerin spesifik substratlara iyi yapışma kabiliyetinin ısı veya ozmotik kaynaklı stresin üstesinden gelmek için önemli bir faktör olduğu ifade edilmiştir. Bu yapışma kuvvetleri sayesinde, probiyotik bakteriler jelde daha iyi tutunabilmektedir. Çalışmamızda probiyotiklerin depolama stabilitelerinin yüksek olmasının probiyotiklerin sodyum kazeinat proteinlerine yapışma kabiliyeti ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Biyopolimer matrisler içerisinde probiyotiklerin stabilitesini tam olarak açıklayan bir mekanizma mevcut değildir. Ancak, çözünen maddelerin sterik engellemesi ve membran fosfolipidlerinin polar baş grupları ile hidrojen bağı yoluyla etkileşim, serbest radikal süpürücü ajanların ve besinlerin varlığının olası faktörler

olabileceği bildirilmektedir (Abedinia ve ark., 2021). Hareketsizleştirici matrisin yapısal durumu tarafından yönlendirilen çözünen maddelerin moleküler hareketliliğinin de probiyotiklerin canlılığını etkileyebildiği rapor edilmiştir. Bunlara ek olarak, yenilebilir filmlerde yüksek miktarda çözünen maddenin yanı sıra kauçuksu fiziksel durumun (çözünenlerin artan moleküler hareketliliği), fosfolipid membran çift katmanları gibi hücresel yapılara zarar veren kimyasal ve enzimatik reaksiyonların oluşumunu basitleştirdiği bildirilmektedir. (Zoghi ve ark., 2020). Ancak, altta yatan mekanizmaların tam olarak anlaşılabilmesi için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Sánchez-González ve ark. (2014) tarafından sodyum kazeinat ve metil selüloz esaslı filmlerde soğukta depolama sırasında *L. reuteri* ve *L. acidophilus* canlılığı incelenmiştir. Test edilen bakterilerin canlılığı için sodyum kazeinat esaslı filmlerin daha uygun olduğu rapor edilmiştir. Bir başka çalışmada (Sánchez-González ve ark., 2013) dört farklı polimer (sodyum kazeinat, bezelye proteini, metil selüloz ve hidroksipropil metil selüloz) ile hazırlanan filmlerin 5 °C’de depolanması sırasında *L. plantarum* canlılığının karbonhidrat esaslı filmlerde daha düşük olduğu ifade edilmiştir. Özellikle sodyum kazeinat içeren filmlerde depolama sonunda *L. plantarum* canlılığının %90 oranında korunduğu rapor edilmiştir.

Literatürde farklı polimer esaslı filmlerde ve farklı depolama koşullarında probiyotiklerin canlılık düzeylerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur. Orozco-Parra ve ark. (2020) tarafından *L. casei* içeren tapyoka nişastası ve IN kullanılarak üretilen filmlerin 10 ve 25 °C’de 28 günlük depolama sırasında probiyotik canlılığı incelenmiştir. Çalışılan her iki sıcaklıkta depolamanın ilk haftasında *L. casei* popülasyonunda önemli bir azalma olduğu ve probiyotik stabilitesi üzerinde depolama sıcaklığının önemli bir rol oynadığını ifade edilmiştir. %0 ve %0.5 IN içeren filmlerde 10 °C’de depolama sırasında *L. casei* inaktivasyon oranları sırası ile 0.181 ($R^2 = 0.991$) ve 0.164 ($R^2 = 0.989$) kob/g gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. 25 °C’de depolamada ise *L. casei* inaktivasyon hızı daha da artarak %0 ve %0.5 IN içeren filmler için sırası ile 0.543 ($R^2 = 0.992$) ve 0.533 ($R^2 = 0.988$) kob/g gün⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Bizim

çalışma sonuçlarımızın aksine, her iki depolama sıcaklığında *L. casei* sayısında en önemli azalma IN içermeyen filmlerde tespit edilmiştir.

Bir grup araştırmacı (Soukoulis ve ark., 2014a) tarafından jelatin esaslı *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin 4 ve 25 °C'de depolanması boyunca prebiyotiklerin (IN, polidekstroz, glikooligosakkarit ve buğday dekstrini) etkisi incelenmiştir. Beklendiği üzere, sıcaklık artışı *L. rhamnosus* inaktivasyon hızının yaklaşık 4 kat artmasına neden olmuştur. *L. rhamnosus* canlılığı açısından 4 ve 25 °C'de depolanan filmlerin raf ömrünün sırasıyla 63 ila 100 gün ve 17 ila 30 gün arasında olduğu ifade edilmiştir. Mevcut çalışmada 4 °C için hesaplanan tahmini raf ömrü değerlerinin bizim çalışma sonuçlarımız ile benzer olduğu görülmektedir. Ancak, bizim sonuçlarımızın aksine IN kullanımının *L. rhamnosus*'un depolama stabilitesi üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur.

Phovisay ve ark. (2018), jelatin esaslı *L. casei* içeren filmlerde farklı prebiyotik ajanların (sodyum aljinat, gam arabik, konjak unu, pektin ve IN) etkisini incelemişlerdir. 4 °C'de depolamada, en yüksek inaktivasyon oranı sırasıyla konjak unu, IN, aljinat ve gam arabik içeren filmlerde tespit edilmiştir. Ayrıca, 4 °C'de depolanan film örneklerinin tahmini raf ömrü değerleri 67 ile 130 gün arasında bulunmuştur.

Pereira ve ark. (2019a) tarafından *Bifidobacterium bifidum* BB-12 içeren aljinat ve peynir altı suyu protein izolatu esaslı yenilebilir film formülasyonunda 23 °C'de 60 gün depolama boyunca IN (%2) ve FOS (%2) etkisi incelenmiştir. Depolama sonunda filmlerin probiyotik etki göstermesi için gerekli düzeyde canlı bakteri içerdiği ve prebiyotiklerin probiyotiğin depolama stabilitesini arttırdığı bildirilmiştir. Depolama sonunda, IN ve FOS içeren filmlerde probiyotik sayısında sırası ile 2 ve 2.5 log kob/g azalma meydana gelirken prebiyotik içermeyen filmde bu azalmanın 3 log kob/g olduğu ifade edilmiştir.

Bir başka araştırmacı grubu (Abedinia ve ark., 2021) tarafından jelatin esaslı *L. casei* içeren farklı prebiyotikler (dekstrin, polidekstroz, arap zıkkı ve sago nişastası)

ile hazırlanan yenilebilir film örneklerinde 4 ve 25 °C’de 25 günlük depolama boyunca probiyotik stabilitesi incelenmiştir. 4 ve 25 °C’de depolanan film örneklerinde probiyotik bakterinin inaktivasyon oranları sırası ile 0.80-1.14 ($R^2 = 0.95-0.97$) ve 3.10-4.49 ($R^2 = 0.95-0.97$) aralığında belirlenmiştir. Ayrıca, film örneklerinin probiyotik canlılığı açısından hesaplanan raf ömrü değerleri 4 ve 25 °C’de depolanan örnekler için sırası ile 78–111 ve 20–29 gün aralığında rapor edilmiştir. Araştırmacılar tarafından 4 °C’de depolanan film örnekleri için bildirilen raf ömrü değerlerinin bizim bulgularımıza paralel olduğu görülmektedir.

4.3. Kaplanmış Peynirlerin Özellikleri

4.3.1. pH değeri

Peynirlerin pH değerlerine ait varyans analiz sonuçlarına Çizelge 4.15.’te yer verilmiştir. Peynir örneklerinin pH değerleri üzerinde depolama, probiyotik ($p<0.001$) ve prebiyotik ($p<0.05$) etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, depolama*probiyotik ve depolama*probiyotik*prebiyotik etkileşimin pH üzerindeki etkisi $p<0.001$ seviyesinde önemli bulunmuştur.

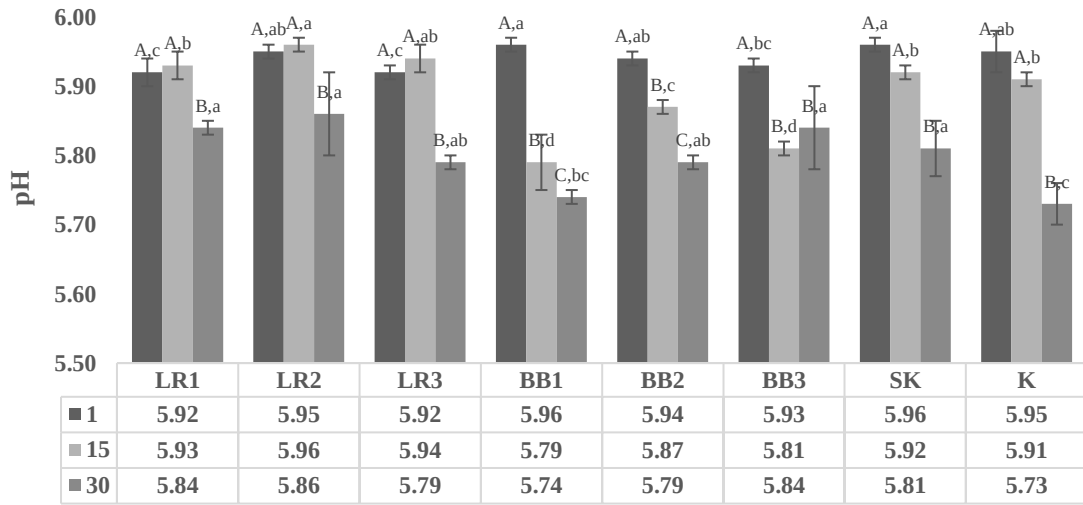
Çizelge 4.15. Peynirlerin pH değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	0.012	0.006	19.12	0.000***
Prebiyotik	2	0.003	0.002	5.55	0.014*
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.001	0.001	1.99	0.167
Hata	17	0.005	0.000		
Depolama	2	0.215	0.107	184.24	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	0.051	0.013	21.99	0.000***
Depolama*Prebiyotik	4	0.005	0.001	2.21	0.089
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.017	0.04	7.25	0.000***
Hata	34	0.020	0.001		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Depolama süresince örneklerin pH değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.25.’te verilmiştir. Peynir örneklerinin pH değerleri 5.96 ile 5.73 arasında ölçülmüştür. Depolama başında en düşük pH değeri LR1 ve LR3 örneklerinde belirlenirken depolama sonunda en düşük pH değeri K örneğinde belirlenmiştir.

Depolamanın 15. gününde 1. güne kıyasla, LR ve kontrol örneklerinin pH değerlerinin önemli düzeyde değişmediği ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Ancak, depolamanın 15. gününde BB örnek grubunda pH değerlerinin önemli düzeyde ($p<0.05$) azaldığı belirlenmiştir. Bu durumun BB örneklerinin kaplama formülasyonunda bulunan *B. bifidum* BB-12'nin aktivitesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, tüm örnek gruplarında pH değerlerinin depolama sonunda belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir ($p<0.05$).



Şekil 4.25. Peynir örneklerinin depolama boyunca pH değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Göncü (2018) farklı baharat karışımları ilave edilen blok tipi Eritme peynirlerinin 90 günlük depolama periyodu boyunca pH değerlerini 5.32 ile 5.64 aralığında rapor etmiştir. Yüksel (2019) tarafından depolama sırasında blok tipi Eritme peynirlerinin pH değerleri 5.71-5.81 aralığında tespit edilmiştir. Blok tipi Eritme peynirleri için bildirilen bu değerler mevcut çalışma sonuçlarımız ile uyumlu bulunmuştur. Bir başka çalışmada (Çürük, 2006), eritme tuzları ile üretilen Kaşar benzeri peynir örneklerinde bildirilen pH değerleri bizim sonuçlarımız ile benzerlik

göstermektedir. Ancak, sodyum kazeinat esaslı film ile kaplanmış Kaşar peynirlerinde depolama boyunca tespit edilen pH değerleri (4.30-5.21) mevcut çalışma sonuçlarımızdan düşük bulunmuştur (Sarioğlu ve Öner, 2006).

Depolama periyodu boyunca Eritme peynirlerinde pH değerinin azaldığı pek çok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Cankurt, 2015; Çelikel, 2017; Yüksel, 2019). Depolama aşamasında peynir pH'sında meydana gelen azalma kalıntı laktozun mikrobiyal aktivite nedeniyle laktik aside dönüşümü ile açıklanmaktadır (Farkye ve Fox, 1990).

Mevcut çalışma sonuçlarımız ile benzer olarak, Ríos-de-Benito ve ark. (2021), sodyum kazeinat ve kitosan esaslı antimikrobiyal film ile kaplanmış peynirlerde pH değerinin kaplanmamış kontrol örneğinden yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bizim sonuçlarımızın aksine, Bonilla ve Sobral (2019) jelatin-kitosan esaslı yenilebilir kaplama uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin pH değerlerinin istatistiksel olarak farklı olmadığını ifade etmişlerdir.

Kaplama formülasyonuna *B. bifidum* BB-12 ilavesi probiyotik içermeyen (SK ve K) ($p<0.05$) ve *L. rhamnosus* GG içeren ($p<0.001$) örneklerle kıyasla pH değerlerinde önemli bir farka neden olmuştur. Ancak, *L. rhamnosus* GG içeren örnekler ve kontrol örneklerinin pH değerleri benzer ($p>0.05$) bulunmuştur. *B. bifidum* BB-12 örneklerinin yüksek sayıda probiyotik bakteri ihtiva etmesinin daha fazla asit üretimi ve buna bağlı olarak pH'daki azalmadan sorumlu olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde, Pavli ve ark. (2017) tarafından probiyotik içeren kaplama uygulanan salam dilimlerinin kontrol örneğine kıyasla düşük pH'ya sahip olduğu ve bu durumun probiyotik popülasyonu ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Probiyotik bakteriler kullanılarak üretilen farklı tip peynirler üzerine yapılan çalışmalarda, bu bakterilerin pH değerleri üzerinde önemli bir değişime sebep olduğu bildirilmiştir. Dafalla ve ark. (2021) tarafından peynirin kalite özellikleri üzerinde farklı probiyotik bakterilerin (*L. rhamnosus*, *L. casei* ve *B. bifidum*) kullanımı

incelenmiştir. Peynir pH'sının probiyotik türünden etkilendiği ve en düşük pH'nın *L. rhamnosus* içeren peynirlerde belirlendiği rapor edilmiştir.

Demers-Mathieu ve ark. (2016), beş farklı probiyotik bakteri kullanılarak üretilen Cheddar peynirlerinin pH değerleri üzerinde probiyotik türünün önemli etkileri olduğunu rapor etmişlerdir. Burns ve ark. (2012), probiyotik *L. paracasei* ve *L. plantarum* ilave edilerek hazırlanan peynirlerin pH değerlerinin kontrol örneğinden önemli ölçüde düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada (Mushtaq ve ark., 2016), *L. plantarum*, *L. brevis* ve *L. casei* kullanılarak üretilen Himalaya peynirlerinde pH değerlerinin probiyotik içermeyen örneklerle kıyasla düşük olduğu ifade edilmiştir. Bir başka çalışmada (Prezzi ve ark., 2020), *L. rhamnosus* ilavesinin kontrole kıyasla Minas peynirinin pH'sı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ifade edilmiştir.

IN içeren formülasyon ile kaplanmış peynirlerin pH değerleri prebiyotik içermeyen örneklerle kıyasla önemli düzeyde yüksek ($p<0.05$) bulunmuştur. IN ve FOS içeren örneklerin pH değerleri arasında ise önemli bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir.

4.3.2. Titrasyon asitliği

Peynirler örneklerinin titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.16.'da verilmiştir. Titrasyon asitliği değerleri üzerinde probiyotik ($p<0.001$), prebiyotik ($p<0.01$) ve probiyotik*prebiyotik interaksiyonunun ($p<0.001$) önemli olduğu saptanmıştır. Ayrıca, depolama, depolama*probiyotik, depolama*prebiyotik ($p<0.001$) ve depolama*probiyotik*prebiyotik ($p<0.05$) etkileşiminin titrasyon asitliği üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur.

Şekil 4.26.'da peynir örneklerinin depolama boyunca titrasyon asitliği değerlerinde meydana gelen değişime yer verilmiştir. Peynir örneklerinin titrasyon asitliği değerlerinin laktik asit cinsinden %0.197 ile 0.415 aralığında değiştiği ve depolama sonunda örneklerin titrasyon asitliği değerlerinin genel olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Eritme peynirleri üzerinde yapılan çalışmalarda, depolama

periyodu boyunca titrasyon asitliği değerlerinin artış gösterdiği rapor edilmiştir (Cankurt, 2015; Çelikel, 2017; Göncü, 2018; Yüksel, 2019).

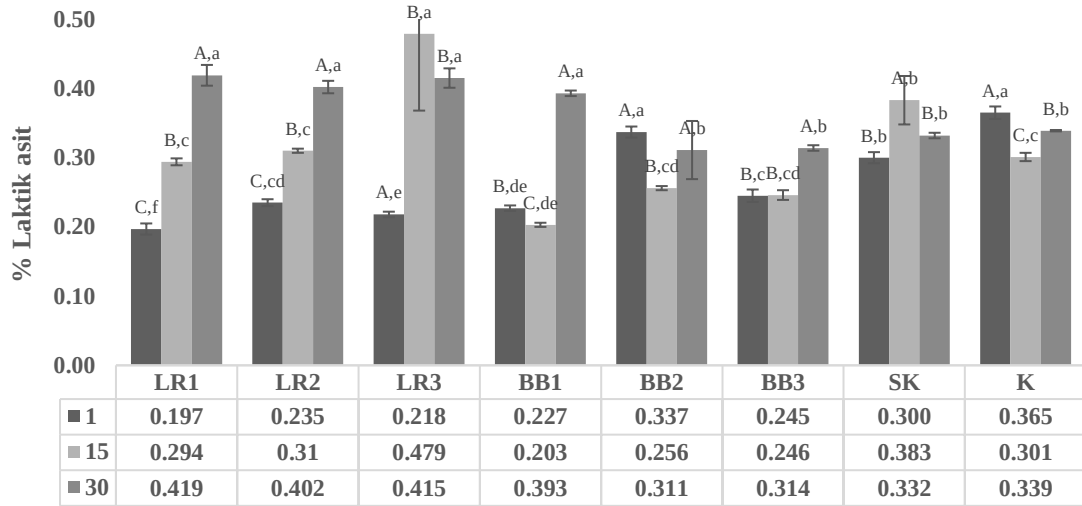
Çizelge 4.16. Peynirlerin titrasyon asitliği değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	0.017	0.009	47.93	0.000***
Prebiyotik	2	0.003	0.001	8.01	0.004**
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.007	0.003	18.07	0.000***
Hata	17	0.003	0.000		
Depolama	2	0.098	0.049	42.10	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	0.141	0.035	30.32	0.000***
Depolama*Prebiyotik	4	0.058	0.015	12.57	0.000***
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.017	0.04	3.69	0.013*
Hata	34	0.039	0.001		

***:p<0.001, **:p<0.01, *:p<0.05

Ahmed ve ark. (2021) tarafından starter kültür ve farklı probiyotik bakteriler kullanılarak üretilen peynirlerin asitlik değerleri mevcut çalışma sonuçlarımız ile benzer bulunmuştur. Aynı çalışmada depolama boyunca titrasyon asitliğinin yükseldiği rapor edilmiştir. Benzer şekilde, Mahmoud ve ark. (2013) tarafından *L. rhamnosus* ve *B. bifidum* probiyotik kültürleri kullanılarak üretilen peynirlerin depolama boyunca asitlik değerlerinin arttığı ifade edilmiştir. Uzun (2006) tarafından mikrokapsüle *L. acidophilus* LA-5 ve *B. bifidum* BB-12 probiyotik suşlarının kaşar peynirinde canlı kalma düzeylerinin incelendiği çalışmada, depolama süresince titrasyon asitliği değerlerinin arttığı ifade edilmiştir.

B. bifidum BB-12 içeren örneklerin titrasyon asitliği değerlerinin probiyotik içermeyen ve *L. rhamnosus* GG içeren örneklerle kıyasla farklı olduğu (p<0.001) olduğu tespit edilmiştir. Ancak, *L. rhamnosus* GG içeren örnekler ve kontrol örneklerinin titrasyon asitliği değerleri benzer (p>0.05) bulunmuştur. Örneklerin titrasyon asitliği ve pH sonuçlarının depolama ve probiyotik etkileri bakımından paralel olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26. Peynir örneklerinin depolama boyunca titrasyon asitliği değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Benzer şekilde, probiyotik bakteriler kullanılarak üretilen farklı tip peynirlerde titrasyon asitliği üzerinde probiyotiklerin etkili olduğu rapor edilmiştir (Mahmoud ve ark., 2013; Setyawardani ve ark., 2017; Dafalla ve ark., 2021). Yerlikaya ve Özer (2014) *S. thermophilus* ve probiyotik bakteriler kullanılarak ürettikleri Beyaz peynirlerin asitlik değerlerinin bakterilerin aktivitesine bağlı olarak farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada (Dafalla ve ark., 2021), *L. rhamnosus*, *B. bifidum* ve *L. casei* kullanılarak üretilen Beyaz peynirlerin asitlik değerlerinin probiyotik ilavesi ile arttığı rapor edilmiştir. Titrasyon asitliğinde probiyotik ilavesi ile meydana gelen artış bakterilerin proteinaz ve peptidaz aktivitesine atfedilmiştir.

4.3.3. Ağırlık kaybı

Çizelge 4.17.'de peynirlerin ağırlık kaybı değerlerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Peynirlerin ağırlık kaybı değerleri üzerinde kaplama

formülasyonuna probiyotik eklenmesi $p<0.001$ düzeyinde etkili bulunmuştur. Benzer şekilde, depolama, depolama*probiyotik ($p<0.001$) ve depolama*prebiyotik etkileşiminin ($p<0.05$) ağırlık kaybı üzerinde istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

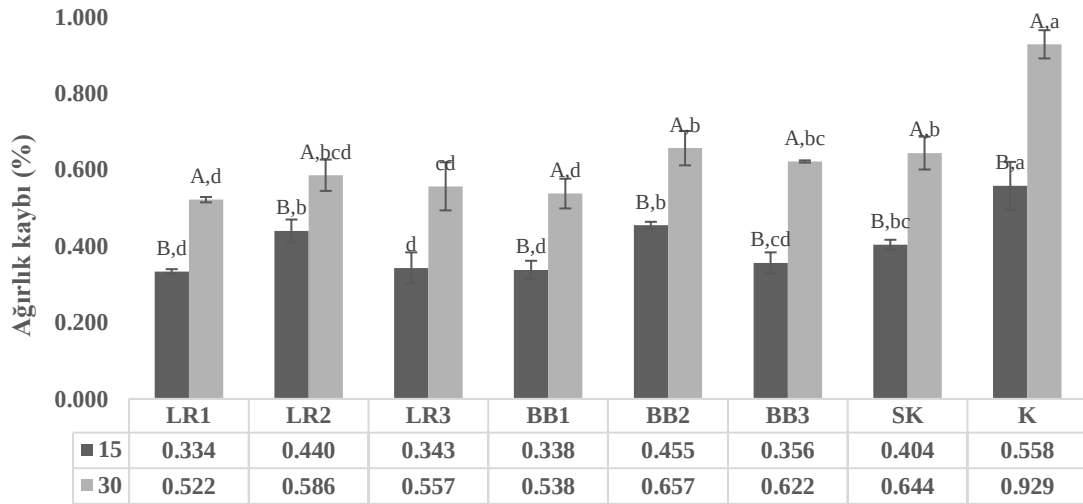
Peynir örneklerinde depolama boyunca meydana gelen ağırlık kaybı Şekil 4.27.'de verilmiştir. Peynirlerin ağırlık kaybı değerleri %0.334 ile 0.929 aralığında belirlenmiştir. Civelek (2019) tarafından peynir altı suyu proteini izolatu esaslı *W. saturnus* var. *saturnus* mayası içeren yenilebilir film formülasyonları ile kaplanmış taze Kaşar peynirlerinin depolama boyunca ağırlık kaybı değerleri %0.46 ile %0.72 aralığında bulunmuştur.

Çizelge 4.17. Peynirlerin ağırlık kaybı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	0.058	0.029	12.081	0.001**
Prebiyotik	2	0.014	0.007	2.905	0.082
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.000	0.000	0.093	0.912
Hata	17	0.041	0.002		
Depolama	2	4.680	2.340	933.536	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	0.107	0.027	10.630	0.000***
Depolama*Prebiyotik	4	0.028	0.007	2.779	0.042*
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.002	0.000	0.153	0.960
Hata	34	0.085	0.003		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Peynir örneklerinin ağırlık kaybı değerlerinin zamanla artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ağırlık kaybında zamanla meydana gelen artış peynir yüzeyinden ortama doğru gerçekleşen nem hareketi ile ilişkilidir (Zhong ve ark., 2014). Şekil 4.27.'de görüldüğü üzere, en yüksek ağırlık kaybı kontrol örneğinde tespit edilmiş ve kaplama uygulamalarının depolama boyunca peynir örneklerinden su kaybını sınırlamada etkili olduğu belirlenmiştir. Bu durumun kaplama uygulamalarının su kaybını geciktiren bariyer etkisi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Pereira ve ark., 2018). Literatürde pek çok çalışmada, farklı peynir türleri üzerinde yenilebilir kaplama uygulamalarının depolama boyunca ağırlık kaybını sınırlamada etkili olduğu rapor edilmiştir (Sarıoğlu ve Öner, 2006; Cerqueira ve ark., 2009; Mei ve ark., 2013).



Şekil 4.27. Peynir örneklerinin depolama boyunca ağırlık kaybı değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Zhong ve ark. (2014) tarafından farklı kaplama teknikleri uygulanmış Mozzarella peynirlerinde, kaplanmış örneklerin kontrol örneğine kıyasla daha düşük ağırlık kaybına sahip olduğu bildirilmiştir. Bir başka araştırmacı grubu (Salem ve ark., 2021) tarafından bitki ekstraktı ile zenginleştirilmiş jelatin esaslı film ile kaplanmış peynirlerin ağırlık kaybının depolama ile arttığı rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, depolama boyunca en yüksek ağırlık kaybının ambalajsız peynirde saptandığı ifade edilmiştir.

Probiyotik içermeyen SK ve K örneklerinin ağırlık kaybı değerleri *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren örneklerle kıyasla farklı ($p < 0.01$) bulunmuştur. BB ve LR örnek gruplarında ise ağırlık kaybı açısından önemli bir fark ($p > 0.05$) tespit edilmemiştir. Kaplamanın fiziksel özelliklerinin üründen kütle transferini etkilediği bilinmektedir (Navarro-Tarazaga ve ark., 2011). Bu nedenle, probiyotik bakterilerin ilavesi ile kaplama kalınlığının artarak peynir yüzeyinden nemin uzaklaşmasını sınırlandırabileceği düşünülmektedir.

Bunlara ek olarak, BB ve LR örnek gruplarının ağırlık kaybı değerlerinin benzer olmasının film örneklerinin SBG sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bizim çalışma sonuçlarımız ile benzer şekilde, Minas peynirinin depolanması boyunca zein esaslı film formülasyonları ile kaplama işleminin SBG değerinin bir sonucu olarak peynirden ağırlık kaybını sınırladığı rapor edilmiştir (Pena-Serna ve ark., 2016).

Silva ve ark. (2022) tarafından bakteriyosin üreten *L. lactis* ve *L. garvieae* bakterileri ilave edilen aljinat/maltodekstrin esaslı formülasyonlar ile kaplanmış peynirlerin ağırlık kaybı değerlerinin kaplanmamış kontrol örneğine kıyasla düşük olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada, depolama boyunca *Lc. lactis* ve *Lc. garvieae* içeren formülasyonlar ile kaplanmış peynirlerin ağırlık kayıpları arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir.

4.3.4. Nem

Peynirlerin nem içeriklerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18.'de ve depolama boyunca nem değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.28.'de verilmiştir. Peynirlerin nem değerleri üzerinde probiyotik, prebiyotik ($p<0.001$) ve probiyotik*prebiyotik ($p<0.05$) etkisi önemli bulunmuştur. Ayrıca, depolamanın peynir nem değerleri üzerinde önemli bir etkiye ($p<0.001$) sahip olduğu belirlenmiştir.

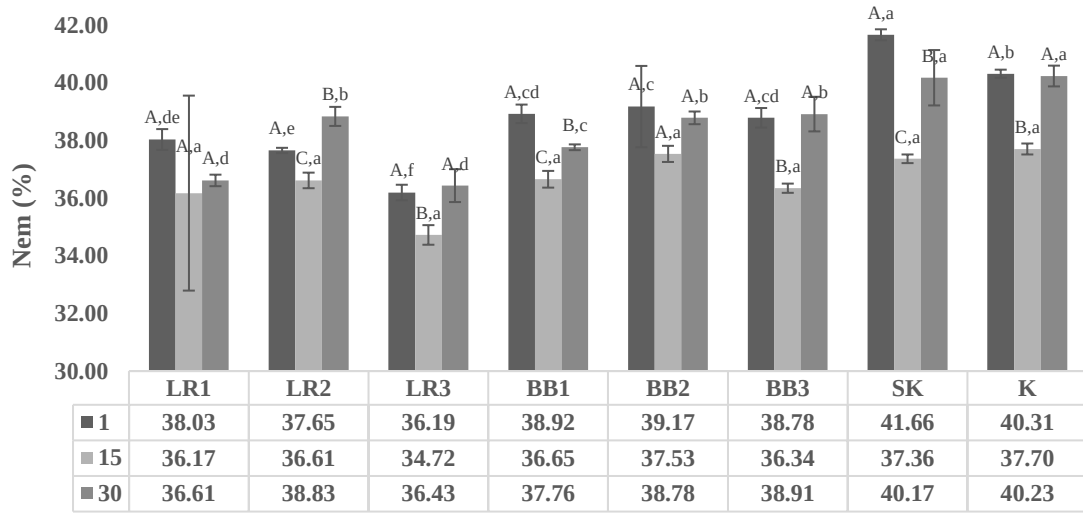
Çizelge 4.18. Peynirlerin nem değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	21.749	10.874	61.085	0.000***
Prebiyotik	2	4.405	2.203	12.373	0.000***
Probiyotik*Prebiyotik	2	2.000	1.000	5.619	0.013*
Hata	17	3.026	0.178		
Depolama	2	61.587	30.793	39.836	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	6.354	1.589	2.055	0.109
Depolama*Prebiyotik	4	5.944	1.486	1.922	0.129
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	2.032	0.508	0.657	0.626
Hata	34	26.282	17.000	1.546	

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Depolama boyunca peynir örneklerinin nem içerikleri %34.72 ile 41.66 aralığında bulunmuştur. Örneklerin düşük nem içeriğine sahip olması kaplama

solüsyonunun kurutulması aşaması ile ilişkilendirilebilir. En yüksek nem içeriği depolama başında SK ve K örneklerinde tespit edilmiştir. Peynirlerin nem değerlerinin tüm örnek gruplarında depolamanın 15. gününde azaldığı belirlenmiş ancak nem içerikleri bakımından istatistiksel olarak önemli bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir. Depolamanın 30. gününde ise örneklerin nem değerlerinin arttığı ve kontrol örneklerinin (K ve SK) depolama sonunda en yüksek nem içeriğine sahip olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.28. Peynir örneklerinin depolama boyunca nem değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Kaplama uygulaması peynirden ağırlık kaybını sınırlandırmasına rağmen, kaplanmamış numunelerin yüksek nem içeriği “kaplamanın fedakârlık etkisi” ile açıklanabilir. Yenilebilir kaplamalar üründen önce su kaybetmekte ve bu “kaplamanın fedakârlık etkisi” olarak bilinmektedir. Bu varsayım Rodrigues ve ark. (2018) tarafından doğrulanmıştır. Bunlara ek olarak, probiyotik ve prebiyotik içeren film solüsyonları ile kaplanmış numunelerin düşük nem içerikleri, kaplama formülasyonunun kurumadde içeriği ile ilişkilendirilebilir.

Mevcut çalışma sonuçlarımızın aksine, Fajardo ve ark. (2010) tarafından natamisin içeren kitosan kaplama uygulanmış peynirlerin kaplanmamış örneğe kıyasla daha yüksek neme sahip olduğu rapor edilmiştir. Bir başka çalışmada (Bonilla ve Sobral, 2019), bitki ekstraktı içeren jelatin/kitosan esaslı kaplama uygulanmış peynirlerin nem içerikleri kaplanmamış kontrol örneğine kıyasla yüksek bulunmuştur. Cruz-Diaz ve ark. (2019) tarafından farklı teknikler ile üretilen peynir altı suyu proteini izolatları kullanılarak elde edilen yenilebilir filmlerin bazı özellikleri ve peynir dilimleri arasında kullanımları incelenmiştir. Aynı çalışmada peynir dilimlerinin nem içerikleri %37 olarak bildirilmiştir.

Dimitreli ve Thomareis (2007) farklı formülasyonlar ile üretilen blok tipi Eritme peynirlerinde nem içeriklerini %38.6 ile %51.1 aralığında tespit etmişlerdir. Çelikel (2017) ve Göncü (2018) blok tipi Eritme peynirlerinde kurumadde içeriklerini sırasıyla %53.05-56.59 ve %55.64-57.74 olarak rapor etmişlerdir. Bir başka araştırmacı (Özkan, 2012), blok tipi Eritme peynirlerinde depolama boyunca kurumadde içeriklerini ortalama %47.53 ile 49.22 aralığında bildirmiştir.

Probiyotik içermeyen SK ve K örnek gruplarının nem değerlerinin probiyotik içeren BB ve LR örnek gruplarından önemli ölçüde ($p<0.001$) yüksek olduğu belirlenmiştir. FOS içeren peynirlerin nem değerleri IN içeren ve prebiyotik içermeyen örneklerden farklı ($p<0.001$) bulunmuştur. Ancak, IN ilavesinin probiyotik içermeyen örneklerle kıyasla nem içeriğinde önemli bir değişime ($p>0.05$) neden olmadığı saptanmıştır. FOS içeren formülasyon ile kaplanmış peynirlerin diğer örneklerle kıyasla daha düşük neme sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.3.5. Su aktivitesi

Örneklerin su aktivitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.19.'da gösterilmiştir. Kaplama formülasyonuna probiyotik ve prebiyotik ilavesi peynirlerin su aktivitesi değerleri üzerinde önemli bir değişime neden olmamıştır ($p>0.05$). Probiyotik*prebiyotik interaksiyonunun su aktivitesi değerleri üzerindeki etkisinin ise

önemli ($p<0.05$) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, örneklerin su aktivitesi değerleri üzerinde depolama $p<0.001$ düzeyinde etkili bulunmuştur.

Depolama boyunca peynirlerin su aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.29.'da gösterilmiştir. Depolamanın 15. gününde peynirlerin su aktivitesi değerlerinin azaldığı, depolamanın 30. gününde ise artış gösterdiği saptanmıştır. Depolama başında tüm örnek gruplarında su aktivitesi değerleri önemli ölçüde farklı ($p<0.05$) bulunmuştur. Ancak, depolamanın ilerlemesi ile tüm örnek gruplarında su aktivitesi değerlerinin benzer olduğu ($p>0.05$) belirlenmiştir. Çalışmamızda, peynirlerin su aktivitesi değerlerinde zamanla meydana gelen değişimin nem değerleri ile paralel olduğu saptanmıştır. Peynirin depolanması sırasında nem ile su aktivitesi arasında pozitif bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Hickey ve ark., 2013).

Çizelge 4.19. Peynirlerin su aktivitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

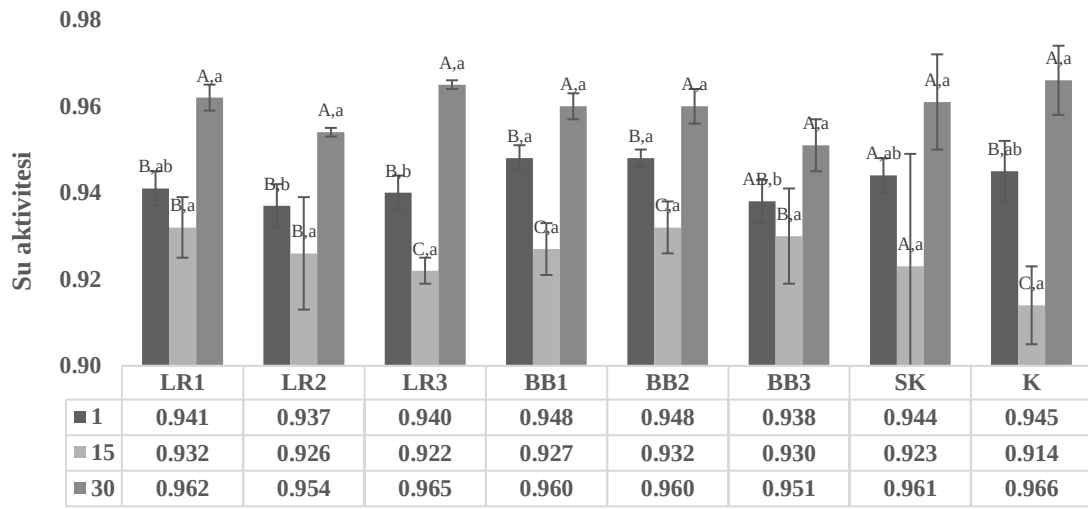
Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	0.000	0.000	1.724	0.208
Prebiyotik	2	0.000	0.000	2.244	0.137
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.000	0.000	4.220	0.032*
Hata	17	0.000	0.000		
Depolama	2	0.013	0.006	80.822	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	0.001	0.000	1.591	0.199
Depolama*Prebiyotik	4	0.000	0.000	0.130	0.970
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.000	0.000	0.998	0.422
Hata	34	0.003	0.000		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Peynir örneklerinin su aktivitesi değerleri üzerinde kaplama işlemleri depolamanın 1. günü haricinde önemli bir farka neden olmamıştır. Benzer şekilde, Cano Embuena ve ark. (2017) tarafından esansiyel yağlar içeren kitosan esaslı formülasyon ile kaplanmış peynirlerin su aktivitesi değerlerinin kaplama uygulamalarından etkilenmediği rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, depolama başında peynirlerin su aktivitesi değerlerinin 0.989 olduğu bildirilmiştir.

Mevcut çalışma sonuçlarımızın aksine, bazı araştırmacılar (Awad ve ark., 2004; Hickey ve ark., 2013; Çelebi ve Şimşek, 2020) tarafından depolama sırasında peynirlerin su aktivitesi değerlerinde azalma meydana geldiği rapor edilmiştir. Awad ve ark. (2004) tarafından farklı emülsifiye edici tuz karışımları ile hazırlanan blok tipi

Eritme peynirlerinin su aktivitesi değerlerinin depolama sırasında hafif bir düşüş gösterdiği bildirilmiştir. Bir başka çalışmada (Hickey ve ark., 2013), Cheddar peynirlerinin depolama boyunca ortalama su aktivitesi değerlerinin 0.964'ten 0.956'ya düştüğü tespit edilmiştir. Çelebi ve Şimşek (2020) tarafından piyasadaki farklı üreticilerden temin edilen Kaşar peynirlerinde olgunlaşma boyunca su aktivitesi değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir.



Şekil 4.29. Peynir örneklerinin depolama boyunca su aktivitesi değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Salem ve ark. (2021), bitki ekstraktı ilave edilerek hazırlanan jelatin esaslı film ile kaplanmış peynirlerin su aktivitesi değerlerini 0.89 ile 0.92 aralığında rapor etmişlerdir. Ambalajsız kontrol örneğinin su aktivitesi değerinin depolama sırasında azaldığı, ancak bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olmadığı bildirilmiştir. Film ile kaplanmış peynir örneklerinin su aktiviteleri ise depolama boyunca stabil ve kontrol örneğine kıyasla yüksek bulunmuştur. Aynı çalışmada, peynirlerde tespit edilen su aktivitesi değerlerinin bakteri gelişimi için uygun olduğu rapor edilmiştir.

4.3.6. Renk analizi

4.3.6.1. L* değeri

L* değeri 0 ile 100 arasında değişen bir skalaya dayalı olarak bir maddenin ışığı yansıtma veya iletme kapasitesini ifade etmektedir (Oliveria ve ark., 2012). Çizelge 4.20.'de peynir örneklerinin L* değerlerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Örneklerin L* değerleri üzerinde probiyotik ve prebiyotik kullanımının etkisi $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Benzer olarak, örneklerin L* değerleri üzerinde depolamanın etkisinin önemli ($p<0.001$) olduğu tespit edilmiştir.

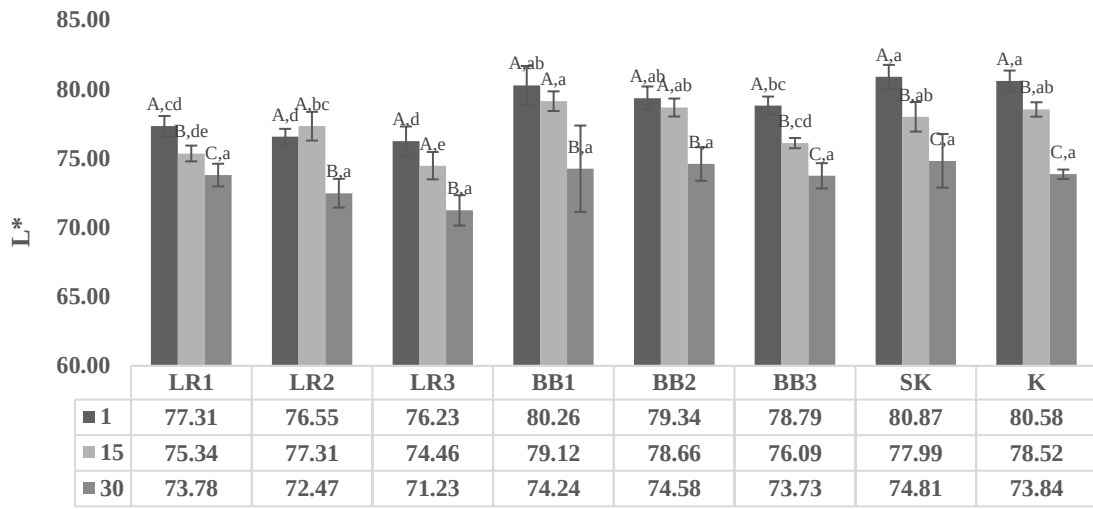
Çizelge 4.20. Peynirlerin L* değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	26.105	13.053	33.830	0.000**
Prebiyotik	2	9.022	4.511	11.691	0.001**
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.074	0.037	0.096	0.909
Hata	17	6.559	0.386		
Depolama	2	312.443	156.221	124.590	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	6.619	1.655	1.320	2.282
Depolama*Prebiyotik	4	8.833	2.208	1.761	0.160
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	8.730	2.183	1.741	0.164
Hata	34	42.632	1.254		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Şekil 4.30.'da görüldüğü üzere, depolama periyodu boyunca peynir örneklerinin L* değerleri 71.23 ile 80.87 aralığında bulunmuştur. Örneklerin L* değerlerinin depolama başlangıcında istatistiksel olarak farklı ($p<0.05$) olduğu saptanmıştır. Peynirlerin L* değerleri depolama boyunca azalma göstermiş ancak depolama sonunda örneklerin L* değerleri arasında belirgin bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir. Örneklerin L* değerlerinde zamanla meydana gelen azalmanın peynir yüzeyindeki mikrobiyal gelişime bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, parlaklığın zamanla azalması peynir yüzeyden suyun uzaklaşması ile ilişkilendirilmektedir (Akarca ve Yildirim, 2021). Benzer şekilde, Eritme peynirleri üzerinde yapılan araştırmalarda (Awad ve ark., 2004; Göncü, 2018; Çavuş ve ark., 2021) peynir parlaklığının zamanla azaldığı rapor edilmiştir.

Özkan (2012) tarafından farklı tip peynirlerin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen blok tipi Eritme peynirlerinin ortalama L^* değerleri 78.96 ile 86.21 aralığında bulunmuştur. Bonilla ve Sobral (2019) tarafından bitki ekstraktı içeren jelatin/kitosan esaslı kaplama uygulanmış dilimlenmiş Prato peynirlerinin L^* değerleri 86.6 ve 84.7 aralığında tespit edilmiş ve parlaklığın yüksek (>84) olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 4.30. Peynir örneklerinin depolama boyunca L^* değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Temiz (2010) tarafından modifiye atmosfer ile paketlenmiş Kaşar peynirlerinin L^* değerlerinin depolama sonunda 81.9'dan 73.7'ye düştüğü ve depolamanın 30., 60. ve 90. günlerinde örneklerin L^* değerleri arasında önemli bir fark saptanmadığı bildirilmiştir. Bir başka çalışmada (Kavak ve Karabiyik, 2020), palm yağı kullanılan Kaşar peynirlerinin olgunlaşma sürecinde L^* değerlerinin 81.45-83.34 aralığında değiştiği bildirilmiştir.

Kaplama formülasyonuna *L. rhamnosus* GG ilave edilmesi durumunda peynirlerin L^* değerlerinin diğer örnek gruplarından farklılaştığı ($p<0.001$) tespit edilmiştir. *L. rhamnosus* GG içeren formülasyon ile kaplanmış peynirlerin *B. bifidum* BB-12 içeren örneklerden ve kontrol örneklerinden daha düşük L^* değerine sahip olduğu saptanmıştır. Bu sonuçların LR örnek gruplarında tespit edilen düşük nem değerleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, formülasyonda kullanılan probiyotik bakterilerin mikrometre ölçeğindeki boyutu ışığı kolayca dağıtarak opaklığın artmasına neden olduğu bildirilmektedir (Orozco-Parra ve ark., 2020). Bu nedenle, *L. rhamnosus* GG'nin *B. bifidum* BB-12'ye kıyasla daha büyük hücre yapısına sahip olması LR örnek grubunda parlaklığın düşük bulunmasını desteklemektedir (Gorbach ve ark., 2017).

Mushtaq ve ark. (2016) tarafından farklı probiyotik bakteriler içeren Himalaya peynirlerinde, kontrol örneklerinin probiyotik içeren peynirlere kıyasla daha yüksek L^* değerine sahip olduğu ifade edilmiştir. Araştırmacılar tüm peynir örneklerinin depolama boyunca yüksek L^* değerleri sergilediğini ve bu nedenle probiyotik bakteri ilavesinin peynir beyazlığını önemli düzeyde etkilemediğini rapor etmişlerdir.

FOS içeren formülasyon ile kaplanmış örneklerin L^* değerleri IN içeren ($p<0.01$) ve prebiyotik içermeyen ($p<0.001$) örneklerle göre önemli ölçüde düşük bulunmuştur. Bu durumun, FOS'un partikül yapısı nedeniyle ışık saçan merkezler olarak hareket etmesi ve opaklığı arttırması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Sołowiej ve ark., 2015). Daha önce ifade edildiği üzere, film örneklerinde FOS ilavesinin film opaklığında azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir. Bu duruma paralel olarak, peynir örneklerinde FOS içeren formülasyon ile kaplanmış örneklerin daha yüksek parlaklığa sahip olması beklenmektedir. Bu nedenle, FOS içeren formülasyon ile kaplanmış örneklerin parlaklık değerlerinin düşük olmasının

FOS varlığından ziyade büyük ölçüde nem içeriği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. FOS içeren formülasyon ile kaplanmış peynirlerin daha düşük nem içeriğine sahip olması bu bulguları destekler niteliktedir.

4.3.6.2. a* değeri

Çizelge 4.21.'de peynirlerin a* değerlerine ait varyans analizi sonuçlarına yer verilmiştir. Örneklerin a* değerleri üzerinde probiyotik ($p<0.001$) ve prebiyotik ($p<0.01$) kullanımının etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, a* değerleri üzerinde depolama ($p<0.001$), depolama*probiyotik ($p<0.001$) ve depolama*probiyotik*prebiyotik ($p<0.05$) etkileşimi önemli düzeyde etkili bulunmuştur.

Çizelge 4.21. Peynirlerin a* değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	0.489	0.245	17.520	0.000***
Prebiyotik	2	0.248	0.124	8.878	0.002**
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.096	0.048	3.440	0.056
Hata	17	0.237	0.014		
Depolama	2	1.805	0.903	32.391	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	0.926	0.232	8.308	0.000***
Depolama*Prebiyotik	4	0.174	0.043	1.559	0.208
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.324	0.081	2.909	0.036*
Hata	34	0.948	0.028		

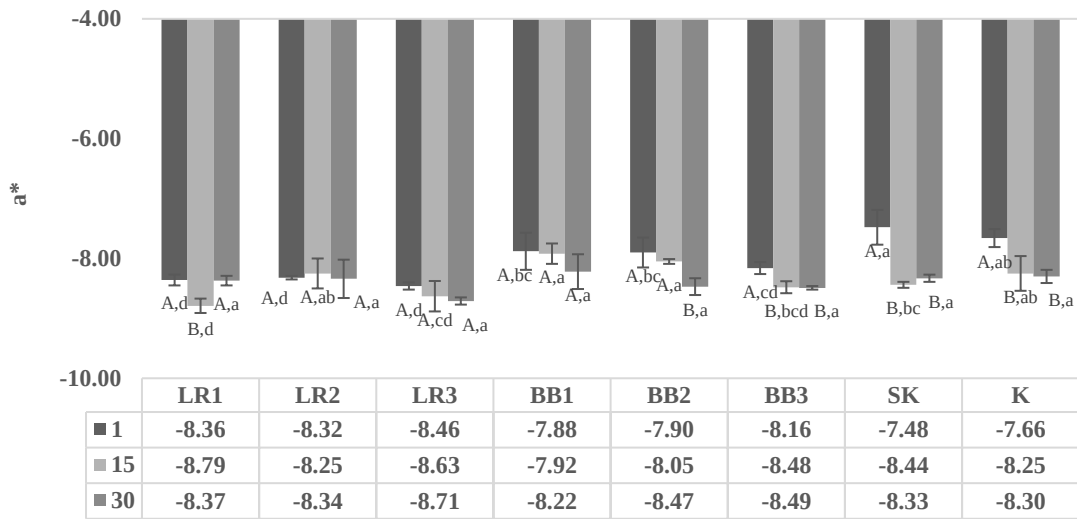
***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Şekil 4.31.'de peynir örneklerinin a* değerlerinde depolama boyunca meydana gelen değişim verilmiştir. Depolama periyodu boyunca örneklerin hafif bir yeşil rengin göstergesi olan negatif a* değerlerine sahip olduğu ve a* değerlerinin -8.79 ile -7.48 aralığında değiştiği görülmektedir. Depolama başlangıcında örneklerin a* değerleri arasındaki fark önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Genel olarak, depolama sonunda örneklerin a* değerlerinde hafif bir azalma tespit edilmiş ve örneklerin a* değerlerinin benzer ($p>0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Çavuş ve ark. (2021) tarafından tavuk yumurtası ilave edilmiş blok tip Eritme peyniri örneklerinin a* değerleri -7.09 ile -4.85 aralığında belirlenmiştir. Yakalı (2021) farklı firmalardan temin edilen Kaşar ve Eritme peynirlerinin bazı özelliklerini araştırdığı çalışmasında, Eritme peynirlerinin iç ve yüzey ortalama a* değerlerini sırası ile -3.61 ve -3.46 olarak tespit etmiştir.

Bir başka çalışmada (Özkan, 2012), farklı tip peynirlerin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen blok tipi Eritme peynirlerinde ortalama a^* değerleri -5.13 ile -3.96 aralığında bulunmuştur.

a^* değerleri kaplama formülasyonunda *L. rhamnosus* GG bulunan örneklerde *B. bifidum* BB-12 içeren ve probiyotik içermeyen kontrol örneklerine kıyasla önemli düzeyde ($p<0.001$) düşük bulunmuştur. *B. bifidum* BB-12 içeren ve probiyotik içermeyen örneklerin a^* değerleri arasında ise belirgin bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir. *L. rhamnosus* GG içeren peynirlerin düşük a^* değerlerinin LR örnek grubunun nem değerleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Öyle ki, ürün yüzeyinden suyun uzaklaşması a^* değerinde azalmaya sebep olmaktadır (Sarıcaoğlu, 2018).



Şekil 4.31. Peynir örneklerinin depolama boyunca a^* değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Örneklerin a^* değerleri üzerinde formülasyonda FOS kullanımının $p<0.01$ düzeyinde etkili olduğu saptanmıştır. FOS içeren formülasyonlar ile kaplanmış

örneklerin a^* değerleri IN içeren ve prebiyotik içermeyen örneklerle kıyasla daha düşük bulunmuştur. Diğer örneklerle kıyasla FOS içeren örneklerde tespit edilen düşük a^* değerlerinin örneklerin nem içerikleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

4.3.6.3. b^* değeri

Peynirlerin b^* değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.22.'de gösterilmiştir. Peynirlerin b^* değerleri üzerinde probiyotik, prebiyotik ve probiyotik*prebiyotik etkisi $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca, depolamanın örneklerin b^* değerleri üzerinde önemli ($p<0.001$) etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

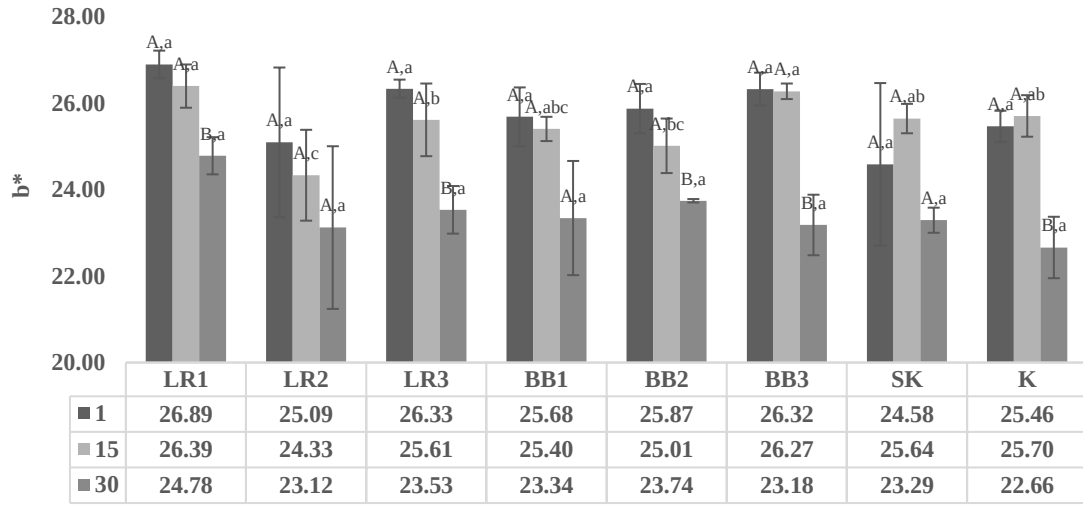
Çizelge 4.22. Peynirlerin b^* değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	0.298	1.149	4.618	0.025*
Prebiyotik	2	2.582	1.291	5.187	0.017*
Probiyotik*Prebiyotik	2	2.862	1.431	5.751	0.012*
Hata	17	4.231	0.249		
Depolama	2	74.928	37.464	52.653	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	2.448	0.612	0.680	0.498
Depolama*Prebiyotik	4	3.001	0.750	1.055	0.394
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.401	0.100	0.141	0.966
Hata	34	24.192	0.712		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Şekil 4.32.'de peynir örneklerinin b^* değerlerinde depolama periyodu boyunca meydana gelen değişim verilmiştir. Depolama başında örneklerin b^* değerlerinin 24.58 ile 26.89 aralığında olduğu belirlenmiş ve b^* değerleri arasında önemli ($p>0.05$) bir fark tespit edilmemiştir. Genel olarak, örneklerin b^* değerleri zamanla azalma göstermiştir. b^* değerlerindeki bu azalma depolamanın 15. gününde önemli bulunmazken ($p>0.05$), depolamanın 30. gününde önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Ancak, örnek grupları arasında depolama sonunda tespit edilen b^* değerlerinin istatistiksel olarak benzer olduğu ($p>0.05$) saptanmıştır.

Çalışmamızda depolama süresince örneklerde tespit edilen b^* değerleri Kaşar ve Eritme peynirleri üzerinde yapılan bazı çalışma sonuçları ile benzer bulunmuştur (Göncü, 2018; Civelek, 2019; Çavuş ve ark., 2021).



Şekil 4.32. Peynir örneklerinin depolama boyunca b* değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Mevcut çalışma sonuçlarımızın aksine, farklı peynir türleri üzerinde yürütülen bazı çalışmalarda (Kavak ve Karabiyik, 2020; Akarca ve Yildirim, 2021) depolama süresince b* değerlerinin arttığı bildirilmiştir. Civelek ve Çağrı-Mehmetoğlu (2019) tarafından ise antagonistik maya ilave edilen peynir altı suyu proteini izolatu esaslı kaplama uygulanan Kaşar peynirlerinin b* değerlerinin depolamadan etkilenmediği ifade edilmiştir.

4.3.6.4. Beyazlık indeksi (WI) değeri

Beyazlık indeksi (WI) gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan renk parametrelerden biridir. WI değerinin 100 olması ideal bir beyaz yüzeyi, bu değerdeki herhangi bir farklılık ideal beyazdan bir sapmayı ifade etmektedir (Ramírez-Navas ve Rodríguez De Stouvenel, 2012). WI değeri L*, a* ve b* değerleri ile matematiksel olarak hesaplanmaktadır (Kapoor ve ark., 2021).

Peynirlerin WI değerlerine ait varyans analizi sonuçlarına Çizelge 4.23.'te yer verilmiştir. Peynirlerin beyazlık indeksi üzerinde probiyotik ($p<0.001$), prebiyotik ($p<0.01$) ve depolama ($p<0.001$) etkisinin önemli olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.23. Peynirlerin WI değerlerine ait varyans analizi sonuçları

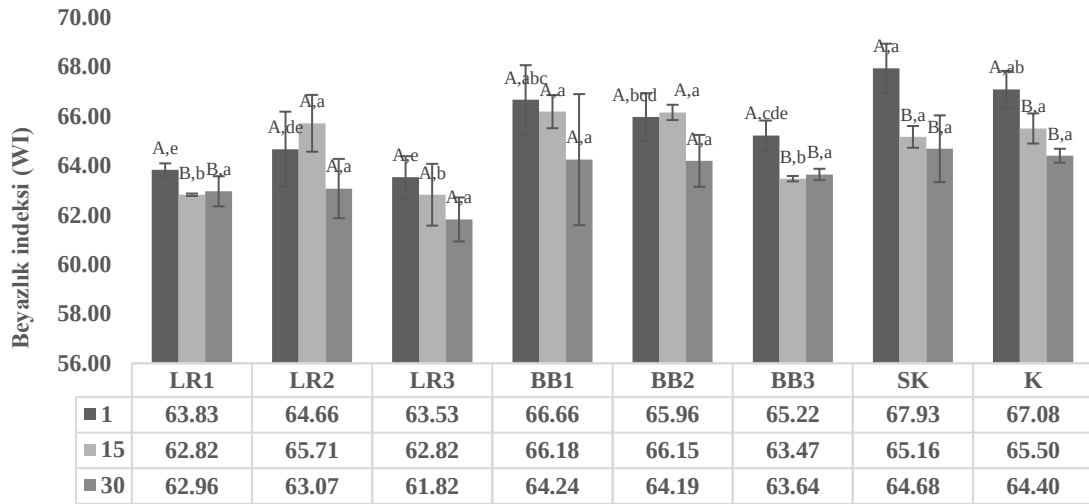
Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	17.571	8.785	28.311	0.000***
Prebiyotik	2	6.878	3.439	11.082	0.001**
Probiyotik*Prebiyotik	2	1.816	0.908	2.926	0.081
Hata	17	5.275	0.310		
Depolama	2	41.536	20.768	20.329	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	4.377	1.094	1.071	0.386
Depolama*Prebiyotik	4	8.081	2.020	1.978	0.120
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	5.245	1.311	1.284	0.296
Hata	34	34.734	1.022		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Depolama boyunca peynir örneklerinin WI değerlerinde tespit edilen değişim Şekil 4.33.'te gösterilmiştir. Örneklerin WI değerlerinin 63.53 ile 67.93 aralığında değiştiği ve depolama sonunda azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, depolama sonunda örnek gruplarının WI değerleri arasında önemli bir fark ($p>0.05$) bulunmamıştır.

Quesillo peynirinin renk özelliklerinin karakterize edildiği çalışmada (Ramírez-Navas ve Rodríguez De Stouvenel, 2012) ortalama WI değeri 68.28 olarak bildirilmiştir. Zonoubi ve Goli (2021) tarafından ultrafiltrasyon tekniği ile üretilen Feta peynirlerinde depolama süresince WI değerleri 67.75 ile 79.96 aralığında tespit edilmiştir.

Depolama süresince WI değerinde meydana gelen değişimin renk parametrelerindeki değişikliklere paralel olması beklenmektedir. Renk parametreleri sonuçlarına göre, sarı renk yoğunluğunun ve parlaklığının azaldığını ifade eden b^* ve L^* değerlerindeki azalmaya paralel olarak WI değerlerinin düştüğü görülmektedir. Benzer şekilde, Artiga-Artigas ve ark. (2017) ve Zonoubi ve Goli (2021) tarafından peynir örneklerinin b^* ve L^* değerlerine paralel olarak WI değerlerinin değiştiği bildirmiştir. Bielecka ve Cichosz (2019) Hollanda tipi peynirlerin parlaklığındaki azalmaya bağlı olarak WI değerlerinin düştüğünü bildirmişlerdir.



Şekil 4.33. Peynir örneklerinin depolama boyunca beyazlık indeksi (WI) değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

LR örnek grubunda tespit edilen WI değerleri BB ve kontrol örnek gruplarından önemli ölçüde düşük ($p < 0.001$) bulunmuştur. BB ve kontrol örnek grupları arasında ise önemli bir fark ($p > 0.05$) tespit edilmemiştir. FOS içeren örnek gruplarının WI değerlerinin IN içeren ve prebiyotik içermeyen örneklerden önemli düzeyde düşük olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, IN içeren ve prebiyotik içermeyen örneklerin WI değerlerinin istatistiksel olarak benzer ($p > 0.05$) olduğu tespit edilmiştir. LR örneklerinin BB ve kontrol örneklerine kıyasla düşük WI değeri sergilemesi bu örnek grubunda tespit edilen L^* değerleri ile uyumlu bulunmuştur. Benzer şekilde, FOS içeren peynirlerin IN içeren ve prebiyotik içermeyen örneklerden düşük WI değerine sahip olmasının L^* değerleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

4.3.6.5. Sarılık indeksi (YI) değeri

Sarılık indeksi (YI) gıda maddelerinin renk özelliklerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan bir parametre olup gıda yüzeyinin sarılık açısından ideal beyazdan

farklı olma derecesini ifade etmektedir. İdeal beyazlıktaki fark arttığında YI değerinde de artış meydana gelmektedir. Ancak, bu değerler pozitif skalada büyürse sarılıkta bir farklılığı; negatif skalada azalırsa mavilikte farklılığı ifade etmektedir (Ramírez-Navas ve Rodríguez De Stouvenel, 2012).

Çizelge 4.24. Peynirlerin YI değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	27.590	13.795	14.071	0.001**
Prebiyotik	2	14.657	7.328	7.475	0.005**
Probiyotik*Prebiyotik	2	10.929	5.465	5.574	0.014*
Hata	17	16.667	0.980		
Depolama	2	36.995	18.497	6.208	0.005**
Depolama*Probiyotik	4	9.757	2.439	0.819	0.522
Depolama*Prebiyotik	4	20.039	5.010	1.681	0.177
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	5.002	1.251	0.420	0.793
Hata	34	101.314	2.980		

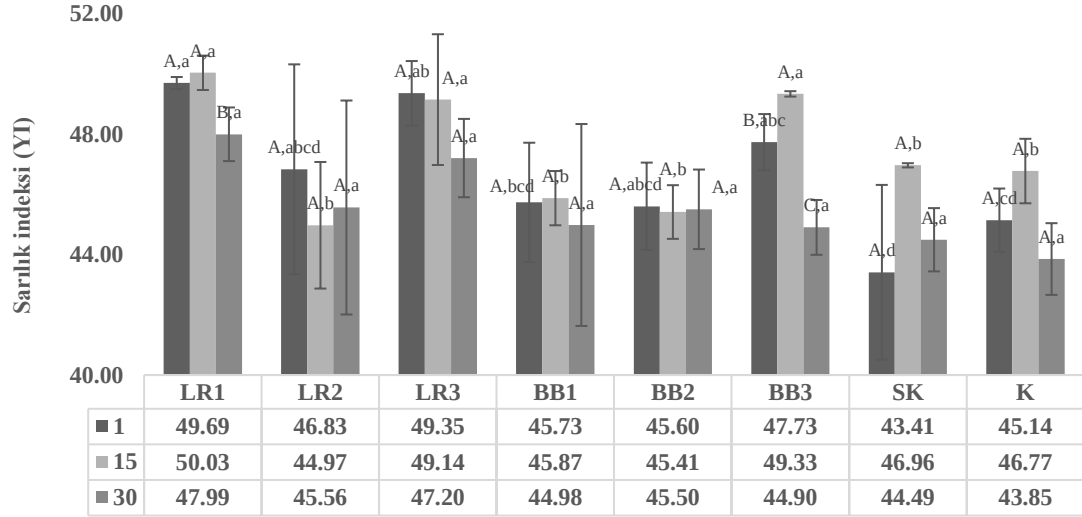
***:p<0.001, **:p<0.01, *:p<0.05

Çizelge 4.24.'te peynirlerin YI değerleri için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Ayrıca, depolama boyunca örneklerin YI değerlerinde tespit edilen değişimler Şekil 4.34.'te gösterilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, örneklerin YI değerleri üzerinde probiyotik, prebiyotik, depolama ($p<0.01$) ve probiyotik*prebiyotik etkisi ($p<0.05$) önemli bulunmuştur.

Şekil 4.34.'te görüldüğü üzere, depolama periyodu boyunca örneklerde tespit edilen YI değerleri 43.41 ile 50.03 aralığında değişmektedir. Bu değerler, peynir örneklerinin yoğun bir sarı renge sahip olmadığını, ancak sarı tonların görülebildiğini ifade etmektedir (Ramírez-Navas ve Rodríguez De Stouvenel, 2012). Depolamanın 1. gününde örneklerin YI değerlerinin önemli düzeyde farklı ($p<0.05$) olduğu ve depolama sonunda YI değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, depolama sonunda örneklerin tespit edilen YI değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark ($p>0.05$) bulunmamıştır.

YI değeri b^* ve L^* değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Ramírez-Navas ve Rodríguez De Stouvenel, 2012). Bu nedenle, depolama sonunda YI değerindeki azalma sarı renkte bir azalmaya işaret eden b^* değerindeki düşüşten etkilenmiştir.

Ayrıca, depolama sonunda örneklerin YI değerleri arasında önemli düzeyde bir fark bulunmaması b^* ve L^* değerlerinin depolama sırasındaki değişimi ile uyumlu bulunmuştur.



Şekil 4.34. Peynir örneklerinin depolama boyunca sarılık indeksi (YI) değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Ramirez-Navas ve Rodriguez de Stouvenel (2012) tarafından Quesillo peynirinin renk özelliklerinin karakterize edildiği çalışmada ortalama YI değeri 41.97 olarak bildirilmiştir. Bizim bulgularımızın aksine, Bielecka ve Cichosz (2019) tarafından Hollanda tipi peynirlerin YI değerlerinin depolama ile artış gösterdiği rapor edilmiştir.

LR örnek gruplarında tespit edilen YI değerleri BB ($p<0.01$) ve kontrol örnek gruplarına ($p<0.001$) kıyasla farklı bulunmuştur. Ancak, BB ve kontrol örnek gruplarının YI değerleri arasında önemli düzeyde bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, FOS içeren peynirlerin YI değerlerinin IN içeren peynirlere kıyasla farklı ($p<0.01$) olduğu belirlenmiştir.

4.3.6.6. Chroma (C*) değeri

Chroma (C*) bir yüzeyin canlılık ile donukluk arasındaki saf bir spektruma daha yakın olan nötr gri renkten ne ölçüde ayrıldığını tanımlamaktadır (Ramírez-Navas ve Rodríguez De Stouvenel, 2012). Renk yoğunluğu veya doygunluğunu ifade eden C* değeri a* ve b* değerlerine bağlı olarak matematiksel olarak hesaplanmaktadır (Awad ve ark., 2004).

Çizelge 4.25.'te peynirlerin C* (yoğunluk) değerlerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Peynirlerin C* değerleri üzerinde probiyotik, prebiyotik ve probiyotik*prebiyotik etkileşiminin etkisi $p<0.05$, depolamanın etkisi ise $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.25. Peynirlerin C* değerlerine ait varyans analizi sonuçları

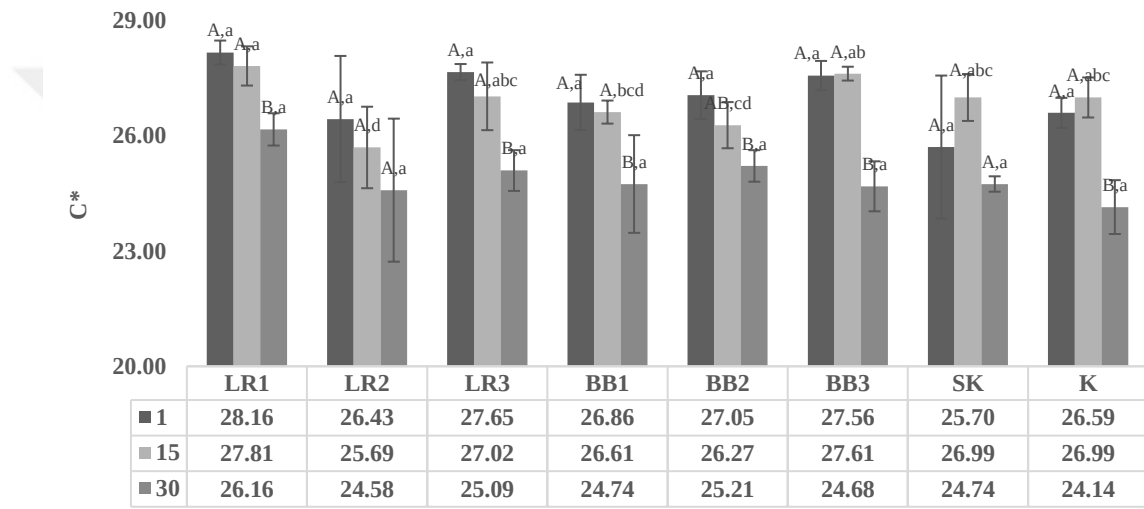
Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	2.466	1.233	5.094	0.018*
Prebiyotik	2	2.548	1.274	5.264	0.017*
Probiyotik*Prebiyotik	2	2.882	1.441	5.953	0.011*
Hata	17	4.115	0.242		
Depolama	2	62.210	31.105	44.835	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	2.433	0.608	0.877	0.488
Depolama*Prebiyotik	4	2.906	0.727	1.047	0.397
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.474	0.119	0.171	0.952
Hata	34	23.588	0.694		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Peynirlerin C* değerlerinde depolama süresince meydana gelen değişim Şekil 4.35.'te gösterilmiştir. Örneklerin depolama periyodu boyunca C* değerleri minimum 24.58, maksimum 28.16 olarak saptanmıştır. Peynirler örneklerinin C* değerlerinin depolamanın 1. gününde benzer ($p>0.05$), depolamanın 15. gününde ise farklı ($p<0.05$) olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın ilerlemesi ile örneklerin C* değerleri azalma göstermiş, ancak depolama sonunda peynirlerin C* değerleri arasında önemli bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir. Örneklerin C* değerlerinde meydana gelen azalma depolama ile peynir renginin zayıfladığını göstermektedir (Baldissera ve ark., 2021). Depolama süresince a* ve b* değerlerinde meydana gelen değişimin C* değeri sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Melilli ve ark. (2021)

tarafından IN içeren Fiordilatte peynirlerinin C* değerlerinin peynir parlaklığındaki değişim sebebiyle zamanla azaldığı rapor edilmiştir.

Ramirez-Navas ve Rodriguez de Stouvenel (2012) ticari Quesillo peynirlerinin C* değerlerini 21.42 ile 23.22 aralığında tespit etmişlerdir. Palm yağı ve *L. paracasei* LPC-37 ilavesinin Hollanda tipi peynirlerin ve peynir benzeri ürünlerin duyu özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada (Bielecka ve Cichosz, 2020), kontrol örneklerinin C* değerleri 25.2 ile 25.9 aralığında belirlenmiştir.



Şekil 4.35. Peynir örneklerinin depolama boyunca C* değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

4.3.6.7. Hue (h°) değeri

Hue açısı kırmızı, sarı, yeşil, maviyi temsil eden renk veya bu dört rengin herhangi bir bitişik çifti arasındaki bir ara nokta olarak tanımlanmaktadır (Awad ve ark., 2004). Renk canlılığını temsil eden h° değerinin (açısı) birimi (°) olup +a* ile

başlamaktadır. Açı ve renk arasındaki ilişkisi: 0°: +a* (kırmızı), 90°: +b* (sarı), 180°: -a* (yeşil), 270°: -b* (mavi) şeklindedir (Keskin ve ark., 2017).

Çizelge 4.26.'da görüldüğü üzere, peynirlerin h° (renk açısı) değerlerinde kaplama formülasyonuna probiyotik ve prebiyotik ilavesinin önemli (p<0.01) bir farka neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, depolama (p<0.001) ve depolama*probiyotik (p<0.01) interaksiyonunun h° değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.26. Peynirlerin h° değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	1.357	0.678	7.140	0.006**
Prebiyotik	2	1.415	0.708	7.448	0.005**
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.339	0.169	1.784	0.198
Hata	17	1.615	0.095		
Depolama	2	71.131	35.566	148.256	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	4.138	1.184	4.937	0.003**
Depolama*Prebiyotik	4	1.365	0.341	1.423	0.248
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	1.220	0.305	1.272	0.300
Hata	34	8.156	0.240		

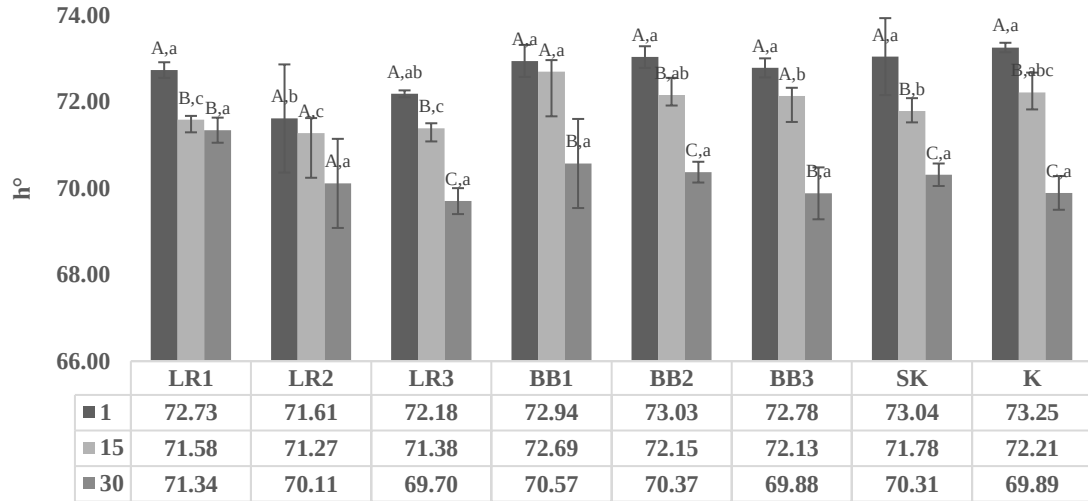
***:p<0.001, **:p<0.01, *:p<0.05

Depolama periyodu boyunca peynirlerin h° değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.36.'da gösterilmiştir. Depolama süresince örneklerde minimum ve maksimum h° değerleri sırası ile 69.70 ve 73.25 olarak belirlenmiştir. Bielecka ve Cichosz (2020) tarafından Hollanda tipi peynirler üzerinde yürütülen çalışmada benzer h° değerleri rapor edilmiştir.

Şekil 4.36.'da peynir örneklerinin h° değerlerinin zamanla önemli (p<0.05) düzeyde azaldığı görülmektedir. Örneklerin h° değerleri depolama başında istatistiksel olarak farklı (p<0.05) bulunmuş, ancak depolama sonunda h° değerleri arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir (p>0.05). Bu nedenle, peynirlerin h° değerlerinde zamanla meydana gelen değişimin a* ve b* değerleri ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

B. bifidum BB-12 içeren formülasyon ile kaplanmış peynirlerin h° değerleri *L. rhamnosus* GG içeren formülasyon ile kaplanmış peynirlere kıyasla önemli düzeyde yüksek (p<0.01) bulunmuştur. Prebiyotik içermeyen formülasyonlar ile kaplanmış peynir örneklerinin h° değerleri FOS (p<0.01) ve IN (p<0.05) içeren formülasyonlar

ile kaplanmış örneklerle kıyasla yüksek bulunmuştur. IN ve FOS içeren formülasyonlar ile kaplanmış peynir örneklerinin h° değerleri arasında ise önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$).



Şekil 4.36. Peynir örneklerinin depolama boyunca h° değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

4.3.6.8. ΔE değeri

Toplam renk farkı olarak adlandırılan ΔE , ilk renk değerleri ile gerçek renk koordinatları arasındaki mesafe vektörünün modülü olarak ölçülmektedir. Bu kavram kontrol numuneleri ile depolanan numuneler arasındaki renk farkının büyüklüğünü ifade etmektedir (Pathare ve ark., 2013).

Çizelge 4.27.'de peynirlerin ΔE değerlerine ait varyans analizi sonuçlarına yer verilmiştir. Peynirlerin ΔE değerleri üzerinde kaplama formülasyonunda probiyotik kullanımı $p<0.001$, prebiyotik kullanımı $p<0.05$ düzeyinde etkili bulunmuştur.

Peynirlerin ΔE değerleri üzerinde depolama etkisinin ise $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

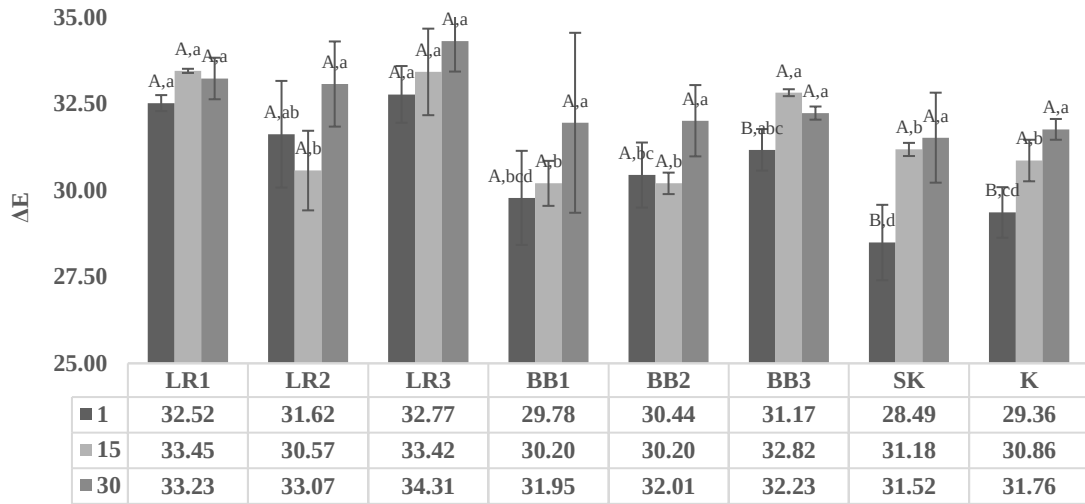
Çizelge 4.27. Peynirlerin ΔE değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	16.458	8.229	27.065	0.000***
Prebiyotik	2	6.603	3.301	10.858	0.001*
Probiyotik*Prebiyotik	2	1.865	0.932	3.067	0.073
Hata	17	5.169	0.304		
Depolama	2	33.169	16.585	16.573	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	4.124	1.031	1.030	0.406
Depolama*Prebiyotik	4	7.695	1.924	1.922	0.129
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	4.929	1.232	1.231	0.316
Hata	34	34.024	1.001		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Şekil 4.37.'de peynir örneklerinde depolama periyodu boyunca tespit edilen ΔE değerleri verilmiştir. Depolama sırasında peynirlerin ΔE değerlerinin 28.49 ile 34.31 aralığında değiştiği görülmektedir. Peynirlerin ΔE değerleri genel olarak depolama sonunda artış göstermiş, ancak bu artışın sadece SK ve K örneklerinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, örneklerin ΔE değerlerinin depolama başlangıcında önemli düzeyde farklı ($p<0.05$) olduğu, depolama sonunda ise benzer ($p>0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Beklenildiği üzere, kaplama uygulamalarının peynir örneklerinin renk değişimini sınırladığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Ramos ve ark. (2012) tarafından serum proteini izolatu ve antimikrobiyal maddeler içeren kaplama formülasyonu ile kaplanmış peynirlerin kontrol örneğine kıyasla depolamanın başında daha düşük ΔE değerleri sergiledikleri, ancak depolamanın ilerlemesi ile örneklerin ΔE değerlerinin neredeyse stabil olduğu rapor edilmiştir. Kaplanmamış peynirlerin düşük ΔE değerlerinin, kaplamanın peyniri kısmen oksijen ve ışık etkisinden koruması sebebiyle düşük oksidasyon düzeyinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Cerqueira ve ark. (2009) tarafından kaplanmamış peynir örneğinin daha yüksek ΔE değerine sahip olduğu rapor edilmiştir. Aynı zamanda, araştırmacılar kaplamalı ve kaplamasız peynirler arasındaki renk farkının depolama ile daha belirgin hale geldiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.37. Peynir örneklerinin depolama boyunca ΔE değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Depolama süresince ΔE değerlerinde meydana gelen artışın peynir örneklerinin parlaklık değerlerinin azalması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde, Akarca ve ark. (2015) tarafından Mozeralla peynirinde depolama ile koyu renk oluşumuna bağlı olarak ΔE değerinin artış gösterdiği ifade edilmiştir.

LR örnek gruplarının ΔE değerlerinin BB ve kontrol örnek gruplarına kıyasla farklı ($p<0.001$) olduğu tespit edilmiştir. FOS ilave edilen formülasyonlar ile kaplanmış peynirlerin ΔE değerleri IN içeren ($p<0.01$) ve prebiyotik içermeyen ($p<0.001$) peynirlere kıyasla yüksek bulunmuştur. IN içeren ve prebiyotik içermeyen formülasyonlar ile kaplanmış peynirlerin ΔE değerleri arasında ise önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). ΔE değerlerine ait varyans analizi sonuçlarının diğer renk parametreleri ile uyumlu olduğu, ΔE değerleri üzerinde özellikle L^* değerlerinde meydana gelen değişimin etkili olduğu görülmektedir.

4.3.7. Tekstür profili analizi

Peynirlerin tekstürel özellikleri tüketici kabul edilebilirliği açısından önemli olup peynir mayası, doğal süt enzimleri, kazeinler, nem, laktik asit, sodyum klorür, yağ, kalsiyum bileşenleri gibi faktörler tarafından belirlenmektedir. Peynirin tekstürel özellikleri genellikle olgunlaşmanın ilk haftalarında peynir mayası tarafından α_{s1} -kazein fraksiyonunun hidrolizi sebebiyle belirgin şekilde değişmektedir. Olgunlaşmanın ilk haftalarından sonra ise tekstürel özelliklerdeki değişim yavaşlamaktadır. Dokudaki nispeten bu yavaş değişim büyük ölçüde sırası ile peynirdeki kalıntı peynir mayası ve plazmin oranı, tuz/nem oranı ve depolama sıcaklığı tarafından kontrol edilen proteoliz ile belirlenmektedir (Lawrence ve ark., 1987).

4.3.7.1. Sertlik (Hardness)

Sertlik fiziksel olarak belirli bir deformasyona ulaşmak için gerekli kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Tekstürel anlamda ise sertlik, bir maddeyi azı dişleri arasında (katılarda) veya dil ile damak arasında (yarı katılarda) sıkıştırmak için gereken kuvvet olarak ifade edilmektedir (Szczesniak, 2002).

Çizelge 4.28. Peynirlerin sertlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları

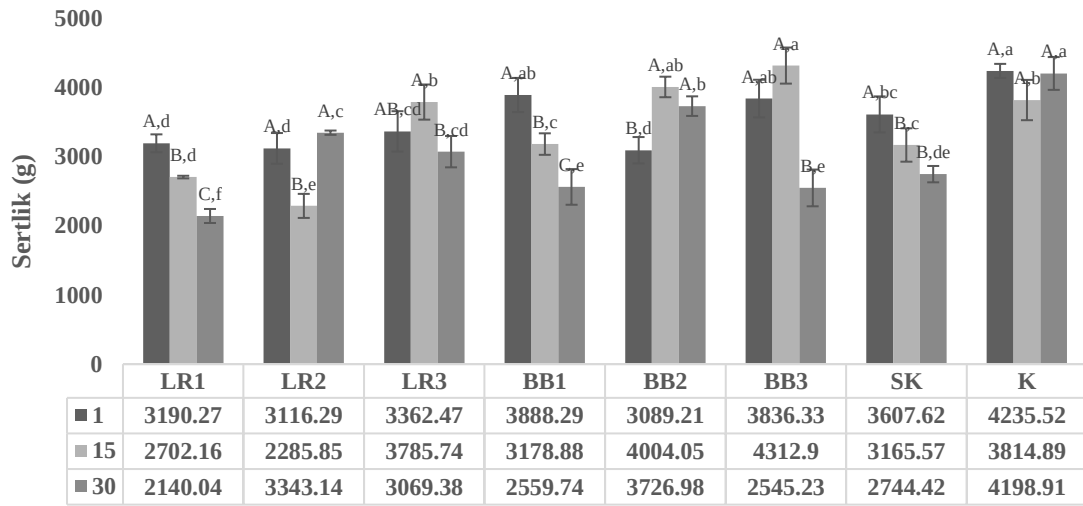
Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	2361985.255	1180992.627	12.309	0.000***
Prebiyotik	2	892652.151	446326.076	4.652	0.024*
Probiyotik*Prebiyotik	2	223815.613	111907.807	1.166	0.335
Hata	17	1631100.324	95947.078		
Depolama	2	2156344.424	1078172.212	23.106	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	2429099.943	607274.986	13.014	0.000***
Depolama*Prebiyotik	4	6679437.392	1669859.348	35.786	0.000***
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	2086693.833	521673.458	11.180	0.000***
Hata	34	1586522.262	46662.419		

***:p<0.001, **:p<0.01, *:p<0.05

Çizelge 4.28.'de peynirlerin sertlik değerlerine ait varyans analiz sonuçları verilmiştir. Peynirlerin sertlik değerleri üzerinde depolama, depolama*probiyotik, depolama*prebiyotik ve depolama*probiyotik*prebiyotik etkisi p<0.001 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca, sertlik değerleri üzerinde kaplama formülasyonuna

probiyotik ($p<0.001$) ve prebiyotik ($p<0.05$) ilavesinin etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir.

Depolama periyodu boyunca peynirlerin sertlik değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.38.'de gösterilmiştir. Depolama süresince peynir örneklerinde minimum ve maksimum sertlik değerleri sırası ile 2140.04 ve 4235.52 g olarak tespit edilmiştir. Depolamanın 1. gününde en yüksek sertlik K örneğinde, en düşük sertlik LR1 ve LR2 örneklerinde tespit edilmiştir. Depolama sonunda en yüksek sertlik değeri kaplanmamış K örneğinde, en düşük sertlik değeri ise LR1 örneğinde belirlenmiştir.



Şekil 4.38. Peynir örneklerinin depolama boyunca sertlik değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Göncü (2018) tarafından isot, çörek otu ve kekik baharat karışımları ilave edilen blok tipi Eritme peynirlerinin sertlik değerleri 3072 ile 5161 g aralığında bulunmuştur. Bulut Solak (2013) tarafından farklı tip peynir karışımları ile üretilen blok tipi Eritme peynirlerinde ortalama sertlik değerleri 2323 ile 3377 g aralığında bildirilmiştir. Taze peynir telemesi ile olgunlaşmış Beyaz ve Kaşar peynir ile üretilen blok tipi Eritme

peynirlerinde depolama süresince sertlik değerleri 1834.1 ile 2485.5 g aralığında tespit edilmiştir (Tosun, 2021). Bir başka çalışmada (Yüksel, 2019), yumurta ilave edilen yağı azaltılmış blok tipi Eritme peynirlerinin depolama süresince sertlik değerleri 1874 ile 3760 g aralığında rapor edilmiştir.

Kaplanmamış kontrol örneğinin depolama süresince en yüksek sertlik değerine sahip olması kaplama uygulamalarının peynir yumuşaklığının korunmasında etkili olduğunu göstermektedir. Yenilebilir kaplama uygulamalarının genellikle peynirin sertleşme sürecini geciktirdiği rapor edilmektedir (Zhong ve ark., 2014). Benzer şekilde, farklı peynir türlerinde yenilebilir kaplama uygulamalarının peynir sertliğinde kontrol örneklerine kıyasla azalma sağladığı bildirilmiştir (Zhong ve ark., 2014; Kavas ve Kavas, 2016; Çelikel, 2017).

Çelikel (2017) tarafından yenilebilir film ve baharat karışımları ile kaplanmış Eritme peynirlerinde en yüksek sertlik kontrol örneğinde belirlenmiştir. Peynir altı suyu izolatu ve aljinat esaslı zencefil esansiyel yağı ilave edilen film solüsyonu ile kaplama işleminin Kaşar peynirinin özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, kaplanmamış kontrol örneğinin iç ve dış sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Kavas ve Kavas, 2016). Mozzarella peynirinde farklı polimer ve kaplama kombinasyonlarının kullanıldığı çalışmada, kaplama uygulaması ile peynir sertliğinin önemli düzeyde düştüğü bildirilmiştir (Zhong ve ark., 2014).

Peynirlerin sertlik değerlerinin genel olarak depolama sonunda azaldığı ve bu azalmanın K örneği haricinde önemli ($p<0.05$) olduğu saptanmıştır. Depolama süresince peynirlerin sertlik değerlerinde meydana gelen azalma farklı çalışmalarda (Zisu ve Shah, 2005; Sahan ve ark., 2008; Şahingil ve ark., 2014; Atasoy ve ark., 2021) rapor edilmiştir. Depolama boyunca kazein ve kalıntı laktozun biyokimyasal dönüşümü yoluyla peynir dokusunun değiştiği ve peynir bileşimi, mikroorganizma türü gibi faktörlerin bu süreci önemli düzeyde etkilediği bilinmektedir (Pena-Serna ve ark., 2016). Bu nedenle, peynirlerin sertlik değerlerindeki azalmanın depolama süresince gerçekleşen biyokimyasal olaylara bağlı olduğu düşünülmektedir (Lawrence ve ark., 1987).

LR örnek gruplarında sertlik değerlerinin BB ($p<0.05$) ve kontrol gruplarına ($p<0.01$) kıyasla önemli ölçüde düşük olduğu belirlenmiştir. BB ve kontrol örnek gruplarının sertlik değerleri arasında ise istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Peynirlerin sertlik değeri ve nem içeriği arasında bir korelasyon olduğu ve nem içeriğindeki artışın sertlikte azalmaya neden olduğu bilinmektedir (Guerra-Martínez ve ark., 2012). Peynir örneklerine ait nem değerleri sonuçları göz önüne alındığında, LR örneklerinin diğer örneklerle kıyasla daha düşük neme sahip olduğu belirlenmiştir. LR örneklerinin düşük nem içeriklerine rağmen diğer örneklerle kıyasla düşük sertliğe sahip olmasının kaplama formülasyonuna ilave edilen probiyotik bakterilerin aktivitesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Probiyotik bakterilerin depolama süresi boyunca proteoliz aktivitesine katkısı nedeniyle peynir matrisinin yapısını etkileyebileceği ve bu etkinin kullanılan suşa göre değişiklik gösterdiği kabul edilmektedir (Prezzi ve ark., 2020). Setyawardani ve ark. (2017) tarafından *L. plantarum* ve *L. rhamnosus* tek ve karışık kültürlerini içeren peynirlerin tekstürel özelliklerinin kullanılan bakteriye bağlı olarak değiştiği ve en düşük sertliğin *L. rhamnosus* içeren peynirlerde tespit edildiği ifade edilmiştir.

Probiyotik *L. paracasei* içeren Minas peynir örneklerinin laktik asit ve diğer organik asitlerin üretimine bağlı olarak daha düşük sertlik değeri sergilediği rapor edilmiştir (Buriti ve ark., 2005). Bir başka araştırmacı (Tomar, 2019) tarafından *L. acidophilus* ve *B. animalis* subsp. *lactis* ile üretilen Tulum peynirlerinde, tekstür profili özelliklerinin probiyotik ilavesinden etkilendiği ve en düşük sertlik değerinin *B. animalis* subsp. *lactis* içeren örnekte belirlendiği rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, *B. animalis* subsp. *lactis* içeren peynirin sertlik değerinde meydana gelen farkın bakteriyel metabolizmanın teşvik ettiği değişikliklerle ilgili olabileceği ifade edilmiştir.

Mevcut çalışma sonuçlarımızın aksine, Prezzi ve ark., (2020) tarafından peynir formülasyonuna *L. rhamnosus* ilavesinin Minas peynirinin dokusal özellikleri üzerinde önemli bir değişime yol açmadığı ifade edilmiştir. Araştırmacılar *L. rhamnosus* ilavesinin Minas peynirinin fizikokimyasal özellikleri ve tekstür profili üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığını ifade etmişlerdir.

4.3.7.2. Dış yapışkanlık (Adhesiveness)

Fiziksel anlamda yapışkanlık, gıdanın yüzeyi ile gıdanın temas ettiği diğer malzemelerin yüzeyi arasındaki çekici kuvvetlerin üstesinden gelmek için gerekli olan kuvvet olarak bilinmektedir (Szczesniak, 2002). Organoleptik olarak ise yapışkanlık, yeme sırasında ağza (genellikle damağa) yapışan materyali çıkarmak için gerekli olan kuvvet olarak tanımlanmaktadır (Bourne ve ark., 1979).

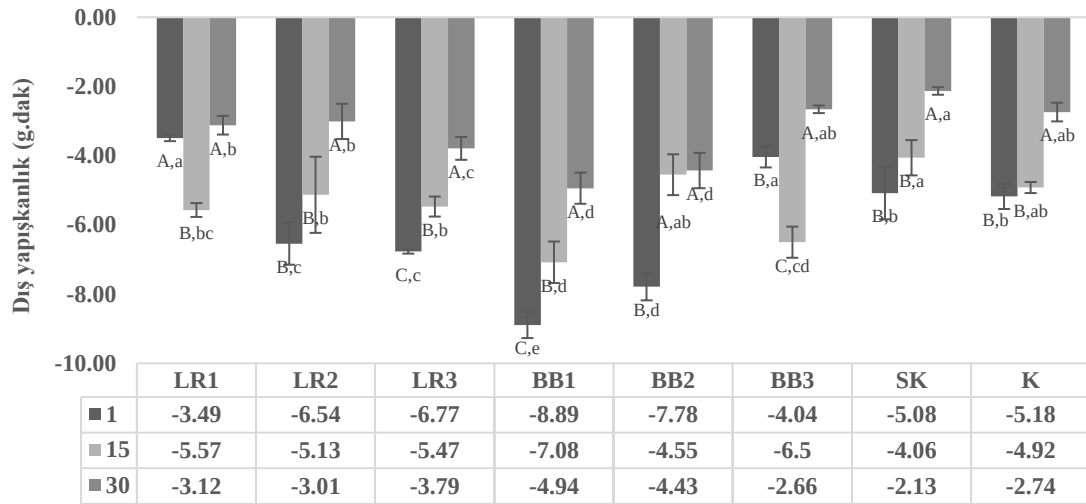
Çizelge 4.29. Peynirlerin dış yapışkanlık değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	30.744	15.372	35.012	0.000***
Prebiyotik	2	3.754	1.877	4.275	0.031*
Probiyotik*Prebiyotik	2	33.742	16.871	38.426	0.000***
Hata	17	7.464	0.439		
Depolama	2	88.210	44.105	356.555	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	2.106	0.526	4.256	0.007**
Depolama*Prebiyotik	4	14.793	3.698	29.897	0.000***
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	27.231	6.808	55.036	0.000***
Hata	34	4.206	0.124		

***:p<0.001, **:p<0.01, *:p<0.05

Peynirlerin dış yapışkanlık değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.29.'da verilmiştir. Örneklerin dış yapışkanlık değerlerine depolama, depolama*prebiyotik ve depolama*probiyotik*prebiyotik etkisinin $p<0.001$, depolama*probiyotik etkisinin $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, probiyotik ($p<0.001$), prebiyotik ($p<0.05$) ve probiyotik*prebiyotik ($p<0.001$) etkileşiminin peynirlerin dış yapışkanlık değerleri üzerindeki etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir.

Peynirlerin depolama boyunca dış yapışkanlık değerlerinde meydana gelen değişime ait grafik Şekil 4.39.'da verilmiştir. Peynir örneklerinin dış yapışkanlık değerleri -8.89 ile -2.13 aralığında belirlenmiştir. Örneklerin dış yapışkanlık değerleri arasındaki farkın depolamanın tüm aşamalarında önemli ($p<0.05$) olduğu saptanmıştır. Görüldüğü üzere, depolama periyodu sonunda peynir örneklerinin dış yapışkanlık değerlerinin azaldığı tespit edilmiş ve bu azalma tüm örnek gruplarında önemli ($p<0.05$) bulunmuştur.



Şekil 4.39. Peynir örneklerinin depolama boyunca dış yapışkanlık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Eritme peynirleri üzerinde yapılan bazı araştırmalarda (Çelikel, 2017; Göncü, 2018; Çavuş ve ark., 2021) tespit edilen dış yapışkanlık değerleri mevcut çalışma sonuçlarımız ile yakın bulunmuştur. Ancak, Bulut Solak (2013) farklı tip peynir karışımları ile üretilen blok tipi Eritme peynirlerinde dış yapışkanlık değerlerini bizim araştırma sonuçlarımızdan yüksek ((-37.75)-(-46.88) g s⁻¹ aralığında) rapor etmiştir.

Yapışkanlık değerlerinin peynirlerdeki yağ ve toplam katı miktarı ile ilişkili olduğu bilinmekte (Dimitreli ve Thomareis, 2007) ve depolama sonunda peynirlerin dış yapışkanlık değerlerinde meydana gelen azalmanın kuru madde miktarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Daha önce ifade edildiği üzere, depolama sonunda örneklerimizin nem içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Dış yapışkanlık değerlerindeki azalmanın kurumadde içeriklerinde meydana gelen artış ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, depolama süresince meydana gelen biyokimyasal olayların da peynirlerin dış yapışkanlığı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir.

Farklı tip peynirler üzerinde yürütülen çalışmalarda, bazı araştırmacılar peynirlerin dış yapışkanlık değerlerinin zamanla azaldığını, bazıları ise arttığını rapor etmiştir (Akalin ve Karaman, 2010; Çavuş ve ark., 2021; Şahingil ve ark., 2021).

Çavuş ve ark. (2021) tarafından tavuk yumurtası ilavesinin blok tipi Eritme peynirlerin bazı özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, depolama sonunda dış yapışkanlık değerlerinin arttığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada, dış yapışkanlıkta meydana gelen artışın kurumadde miktarındaki azalmaya bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Sodyum kazeinat, sodyum kazeinat-transglutaminaz enzimi ve kitosan ile üretilen kaplamaların, Kaşar peynirinin bazı özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, örneklerin dış yapışkanlık değerlerinde zamanla önemli bir azalma meydana geldiği rapor edilmiştir (Yalçın ve ark., 2021). Bulut Solak ve Akin (2019) tarafından Eritme peynirinin tekstürel özellikleri üzerinde değişen ısı işlem pH değerlerinin etkisinin incelendiği çalışmada, depolama süresince peynirlerin dış yapışkanlık değerlerinde önemli bir farklılık meydana gelmediği ifade edilmiştir.

Probiyotik içermeyen kontrol örneklerinin dış yapışkanlık değerlerinin BB ($p<0.001$) ve LR ($p<0.01$) örneklerine kıyasla düşük olduğu saptanmıştır. BB örneklerinin dış yapışkanlık değerleri ise LR örneklerine kıyasla daha yüksek ($p<0.001$) bulunmuştur. *L. rhamnosus* GG ve *B. bifidum* BB-12 içeren peynirlerin dış yapışkanlık değerlerinin yüksek olmasının probiyotik bakterilerin aktivitesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Nájera-Domínguez ve ark. (2014) tarafından bazı *L. lactis* suşları tarafından üretilen metabolitlerin peynirin yapışkanlığını değiştirebildiği ifade edilmiştir.

4.3.7.3. Elastikiyet (Springiness)

Elastikiyet deforme olmuş bir malzemenin deforme edici kuvvet kaldırıldıktan sonra deforme olmamış durumuna geri dönme hızını ifade etmektedir. Duyusal

anlamda ise elastikiyet, bir ürünün dişler arasında sıkıştırıldığı andan itibaren orijinal şekline dönme derecesi olarak tanımlanmaktadır (Szczeniak, 2002).

Çizelge 4.30.'da görüldüğü üzere, peynirlerin elastikiyet değerleri üzerinde depolama ($p<0.001$), depolama*probiyotik ($p<0.01$) ve depolama*prebiyotik interaksiyonunun ($p<0.05$) etkisinin önemli olduğu saptanmıştır. Kaplama formülasyonuna probiyotik ilavesi peynirlerin elastikiyet değerleri üzerinde $p<0.05$ düzeyinde etkili bulunmuştur. Kaplama formülasyonuna prebiyotik ilavesi ise peynirlerin elastikiyet değerlerinde önemli bir farka yol açmamıştır ($p>0.05$).

Çizelge 4.30. Peynirlerin elastikiyet değerlerine ait varyans analizi sonuçları

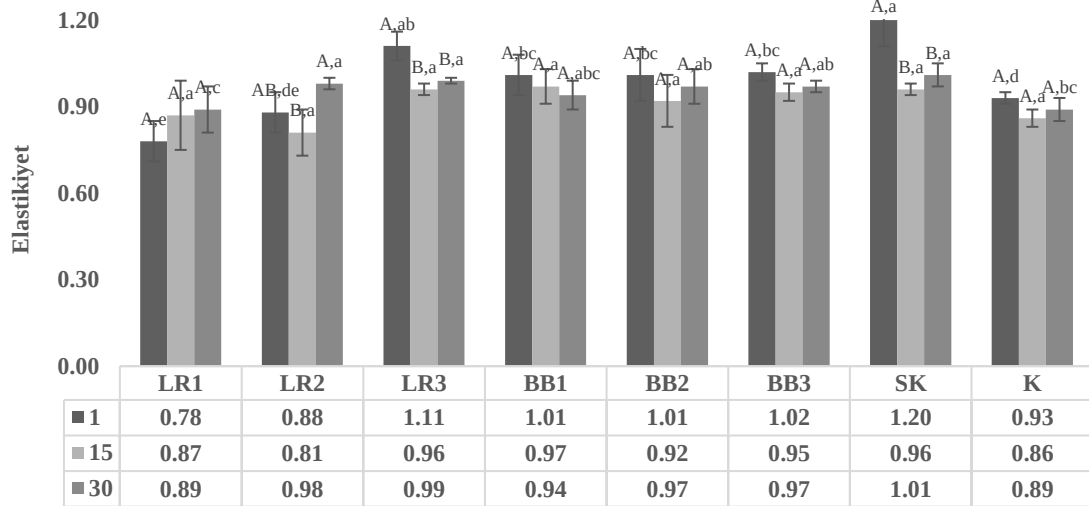
Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	0.028	0.014	3.686	0.047*
Prebiyotik	2	0.027	0.013	3.546	0.052
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.022	0.011	2.937	0.080
Hata	17	0.064	0.004		
Depolama	2	0.93	0.46	12.750	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	0.067	0.017	4.624	0.004**
Depolama*Prebiyotik	4	0.053	0.013	3.638	0.014*
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.033	0.008	2.306	0.078
Hata	34	0.123	0.004		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Şekil 4.40.'ta depolama süresince peynir örneklerinde tespit edilen elastikiyet değerleri gösterilmiştir. Depolama boyunca peynir örneklerinde tespit edilen minimum ve maksimum elastikiyet değerlerinin sırası ile 0.78 ve 1.20 olduğu görülmektedir. Depolamanın 1. ve 30. günlerinde örnek gruplarının elastikiyet değerlerinin farklı ($p<0.05$) olduğu saptanmıştır. Depolamanın 15. gününde ise peynir örnekleri elastikiyet değerleri bakımından benzer ($p>0.05$) bulunmuştur. En yüksek ve en düşük elastikiyet değerleri depolamanın başında sırası ile SK ve LR1 örneklerinde tespit edilmiştir. Depolama sonunda ise en yüksek elastikiyet SK, LR3 ve LR2, en düşük elastikiyet K ve LR1 örneklerinde belirlenmiştir.

Depolama periyodu boyunca peynir örneklerinin elastikiyet değerlerinde düzenli bir değişim tespit edilmemiştir. LR1 ve LR2 örnekleri hariç depolama sonunda peynirlerin elastikiyet değerlerinin azaldığı saptanmıştır. Ancak, elastikiyette görülen bu azalma sadece LR3 ve SK örneklerinde istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$)

bulunmuştur. Peynirin depolanması sırasında elastikiyet değerindeki azalmanın kazeinin parçalanması, özellikle para κ -kazein moleküllerinin hidrolizi ve serbest suyun azalmasına bağlı olduğu rapor edilmiştir (Awad ve ark., 2005).



Şekil 4.40. Peynir örneklerinin depolama boyunca elastikiyet değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Blok tipi Eritme peynirleri üzerinde yürütülen bazı araştırmalarda rapor edilen değerler mevcut çalışma sonuçlarımız ile uyumlu bulunmuştur. Yüksel (2019) tarafından yağı azaltılmış blok tipi Eritme peynirlerinin elastikiyet 0.87-0.93 değerleri aralığında saptanmıştır. Ancak, bazı bitki aromatik sularının ve uçucu yağlarının kullanıldığı blok tipi Eritme peynirlerinde elastikiyet değerleri mevcut sonuçlarımızdan düşük (0.22-0.33 aralığında) bulunmuştur (Cankurt, 2015).

Ayrıca, yenilebilir kaplama uygulanmış farklı peynir türleri üzerinde yürütülen bazı çalışmalarda benzer elastikiyet değerleri rapor edilmiştir. Çelikel (2017) farklı baharat karışımları ile yenilebilir kaplama uygulanan dilimlenebilir Eritme peynirlerinde depolama süresince elastikiyet değerlerini 0.71 ile 0.99 aralığında tespit

etmiştir. Bir başka araştırmada (Jalil, 2017), peynir altı suyu proteini izolatu, peynir altı suyu proteini izolatu+transglutaminaz ve peynir altı suyu proteini izolatu+kitosan esaslı kaplama uygulanmış Kaşar peynirlerinin elastikiyet değerleri 0.89 ile 0.93 aralığında bulunmuştur. Yalçın (2017) tarafından sodyum kazeinat, sodyum kazeinat+transglutaminaz ve kitosan içeren formülasyonlar ile kaplanmış Kaşar peynirlerinin elastikiyet değerleri 0.88-0.93 aralığında rapor edilmiştir.

4.3.7.4. İç yapışkanlık (Cohesiveness)

İç yapışkanlık bir malzemenin yırtılmadan önceki deforme olma derecesinin bir ölçüsüdür. Organoleptik olarak ise iç yapışkanlık, bir maddenin parçalanmadan önce dişler arasında sıkıştırılma derecesini ifade etmektedir (Szczeniak, 2002).

Çizelge 4.31.'de peynirlerin iç yapışkanlık değerlerine ait varyans analizi sonuçlarına yer verilmiştir. Peynirlerin iç yapışkanlık değerleri üzerinde varyans kaynaklarının etkisi önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). 30 günlük depolama sırasında peynirlerin iç yapışkanlık değerlerinde meydana gelen değişim ise Şekil 4.41.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.31. Peynirlerin iç yapışkanlık değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	0.000	0.000	0.798	0.470
Prebiyotik	2	0.001	0.000	0.985	0.394
Probiyotik*Prebiyotik	2	0.002	0.001	3.543	0.052
Hata	17	0.004	0.000		
Depolama	2	0.003	0.002	1.854	0.172
Depolama*Probiyotik	4	0.006	0.001	1.578	0.203
Depolama*Prebiyotik	4	0.003	0.001	0.897	0.476
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	0.004	0.001	0.432	0.457
Hata	34	0.032	0.001		

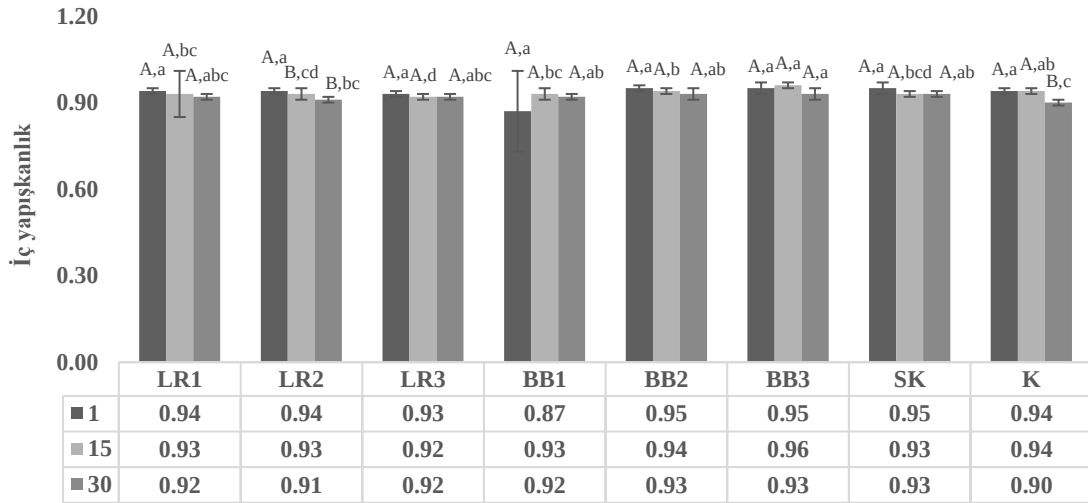
***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Peynirlerin iç yapışkanlık değerlerinin 0.87 ile 0.96 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Örnek gruplarının iç yapışkanlık değerleri depolama başlangıcında benzer ($p>0.05$), depolamanın 15. ve 30. günlerinde farklı ($p<0.05$) bulunmuştur. Depolama sonunda en düşük iç yapışkanlık değeri kaplanmamış kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Bununla birlikte, depolama sonunda peynirlerin iç yapışkanlık değerleri

genel olarak hafif bir azalma sergilemiş, ancak bu azalmanın sadece LR2 ve K örneklerinde önemli ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Blok tipi Eritme peynirleri üzerinde yapılan bazı çalışmalarda, araştırmacılar bizim sonuçlarımız ile benzer iç yapışkanlık değerleri bildirmişlerdir (Çelikel, 2017; Göncü, 2018). Çavuş ve ark. (2021) tarafından blok tipi Eritme peynirlerinde iç yapışkanlık değerleri mevcut çalışma sonuçlarımızdan daha düşük (0.66-0.77 aralığında) bulunmuştur.

Salem ve ark. (2021), bitki ekstraktı ile zenginleştirilmiş jelatin esaslı filmlerin özelliklerini ve bu filmlerin depolama boyunca peynirin bazı özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bizim sonuçlarımız ile benzer olarak, film ile kaplanmamış kontrol örneğinin film ile kaplanmış örneklerle kıyasla daha düşük iç yapışkanlık sergilediği bildirilmiştir.



Şekil 4.41. Peynir örneklerinin depolama boyunca iç yapışkanlık değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Şahingil (2012), Eren Karahan (2016), Eroğlu ve ark. (2016), Atasoy ve ark. (2021) depolama süresince farklı peynir türlerinde iç yapışkanlık değerlerinin azaldığını rapor etmişlerdir. Özer ve ark. (2003), Beyaz depolama ile peynir örneklerinin iç yapışkanlığın değişmediğini bildirmişlerdir.

Mevcut araştırma sonuçlarımız ile benzer olarak, Minas peynirine *L. rhamnosus* ilavesinin peynirin kalite özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada (Prezzi ve ark., 2020) iç yapışkanlık değerinin probiyotik ilavesinden etkilenmediği rapor edilmiştir.

4.3.7.5. Çiğnenebilirlik (Chewiness)

Çiğnenebilirlik, katı bir gıdayı çiğneyerek yutmaya hazır hale getirmek için gereken enerjiyi ifade etmektedir. İkincil tekstür parametrelerinden biri olan çiğnenebilirlik sertlik, elastikiyet ve iç yapışkanlık ile hesaplanmaktadır (Bourne ve ark., 1979; Tunick, 2000).

Çizelge 4.32.'de peynirlerin çiğnenebilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları verilmiştir. Peynirlerin çiğnenebilirlik değerleri üzerinde probiyotik ($p<0.001$), prebiyotik ve probiyotik*prebiyotik ($p<0.01$) etkileşiminin etkisi önemli bulunmuştur. Ayrıca, depolama ($p<0.001$), depolama*probiyotik ($p<0.01$) ve depolama*prebiyotik ($p<0.05$) etkisinin çiğnenebilirlik değerleri üzerinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

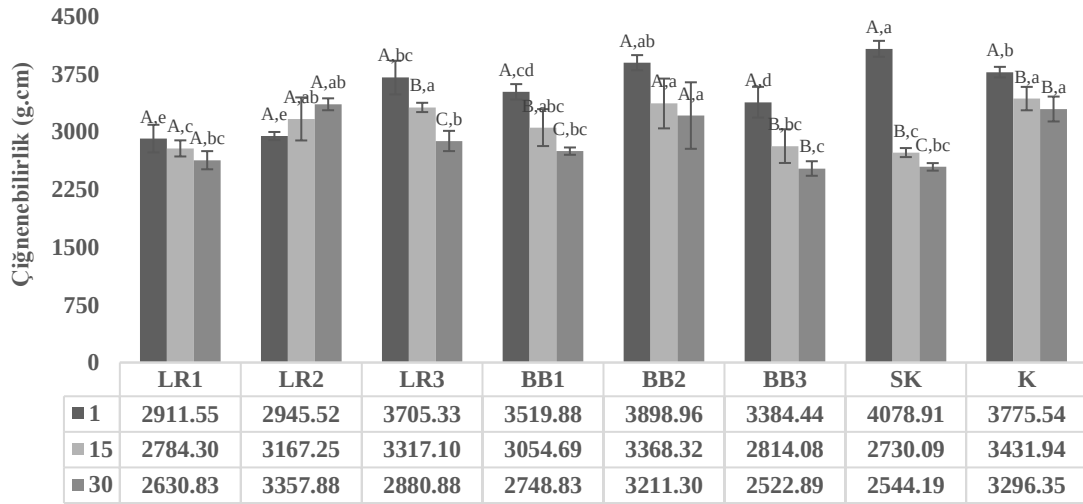
Çizelge 4.32. Peynirlerin çiğnenebilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Sd	Kt	Ko	F	P
Probiyotik	2	443482.734	221741.367	9.931	0.000***
Prebiyotik	2	443906.126	221953.063	9.940	0.001**
Probiyotik*Prebiyotik	2	530119.845	265059.922	11.871	0.001**
Hata	17	379593.326	22329.019		
Depolama	2	4509141.172	2254570.586	36.654	0.000***
Depolama*Probiyotik	4	1270932.216	317733.054	5.166	0.002**
Depolama*Prebiyotik	4	754346.422	188586.605	3.066	0.029*
Depolama*Probiyotik*Prebiyotik	4	432953.682	108238.421	1.760	0.160
Hata	34	2091309.384	61509.100		

***: $p<0.001$, **: $p<0.01$, *: $p<0.05$

Depolama boyunca örneklerin çiğnenebilirlik değerlerindeki değişim Şekil 4.42.'de gösterilmiştir. Depolama periyodu boyunca örneklerin minimum ve maksimum çiğnenebilirlik değerleri sırası ile 2544.19 ve 4078.91 olarak tespit edilmiştir. Tüm depolama aşamalarında, peynirlerin çiğnenebilirlik değerleri istatistiksel olarak farklı ($p<0.05$) bulunmuştur.

Mevcut çalışmamızda belirlenen çiğnenebilirlik değerleri, Eroğlu ve ark. (2016), Sevinç (2021) tarafından peynirler üzerinde yürütülen araştırma sonuçları ile benzer bulunmuştur. Bulut Solak (2013) (1147-1895 g cm aralığında) ve Cankurt (2015) (762-2590 g cm aralığında) tarafından peynirler üzerinde yürütülen tez çalışmalarında ise daha düşük çiğnenebilirlik değerleri saptanmıştır.



Şekil 4.42. Peynir örneklerinin depolama boyunca çiğnenebilirlik değerleri

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($\alpha=0.05$) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Peynirlerin çiğnenebilirlik değerlerinde depolama süresince önemli bir azalma (LR1 ve LR2 örnekleri haricinde) meydana gelmiştir. Depolama boyunca örneklerin çiğnenebilirlik değerlerindeki değişimin proteoliz nedeniyle kazein ağındaki

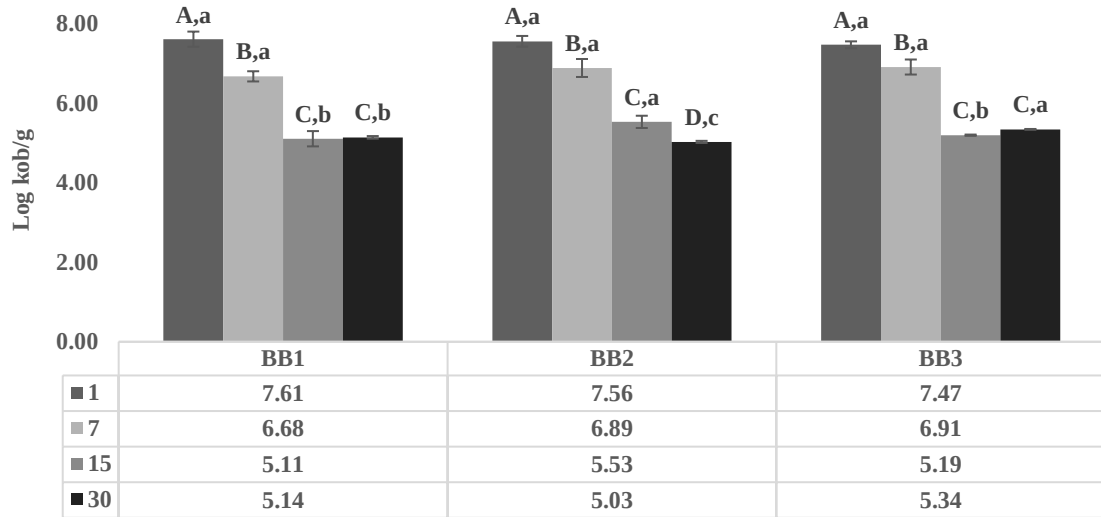
zayıflamadan kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Eren Karahan, 2016). Bununla birlikte, depolama süresince peynirlerin çığnenebilirlik değerlerindeki değişim sertlik, iç yapışkanlık ve elastikiyet değerlerinin değişimi ile paralel bulunmuştur (Famenin ve ark., 2019).

Kaplama formülasyonunda *L. rhamnosus* GG içeren peynirlerin çığnenebilirlik değerlerinin probiyotik içermeyen örneklerle kıyasla önemli düzeyde düşük ($p<0.05$) olduğu saptanmıştır. Ancak, *B. bifidum* BB-12 içeren formülasyon ile kaplanmış peynirler ve diğer örnek grupları arasında önemli düzeyde bir fark belirlenmemiştir ($p>0.05$). Peynirin sertlik ve çığnenebilirlik özellikleri ilişkili olup daha sert peynirleri çığnemek daha zordur (Awad ve ark., 2005). Daha önce ifade edildiği üzere, çığnenebilirlik sertlik, iç yapışkanlık ve elastikiyet değerleri ile hesaplanmakta ve özellikle sertlik değerindeki değişiklik bu parametrenin değişmesine neden olmaktadır (Özer ve ark., 2003). *L. rhamnosus* GG içeren peynirlerin diğer örneklerle kıyasla kolay çığnenebilir nitelikte olmasını sertlik sonuçları da desteklemektedir. Benzer şekilde, Özer ve ark. (2003) tarafından depolama sırasında peynir örneklerinin çığnenebilirliğin önemli ölçüde arttığı ve depolama süresinde çığnenebilirlikte meydana gelen değişimin sertlik değerindeki değişim ile ilişkili olduğu bildirilmiştir.

IN içeren ve prebiyotik içermeyen formülasyonlar ile kaplanmış örneklerin çığnenebilirlik değerleri arasındaki fark önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Ancak, FOS içeren ve prebiyotik içermeyen formülasyonlar ile kaplanmış örneklerin çığnenebilirlik değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır ($p>0.05$). IN içeren örnek gruplarında çığnenebilirlik değerlerinin prebiyotik içermeyen örneklerle kıyasla yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.3.8. Depolama boyunca peynir örneklerinde probiyotik bakteri canlılığı

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren kaplama uygulanmış peynir örneklerinde depolama boyunca probiyotik bakteri sayısında meydana gelen değişim sırası ile Şekil 4.43. ve Şekil 4.44.'te gösterilmiştir.



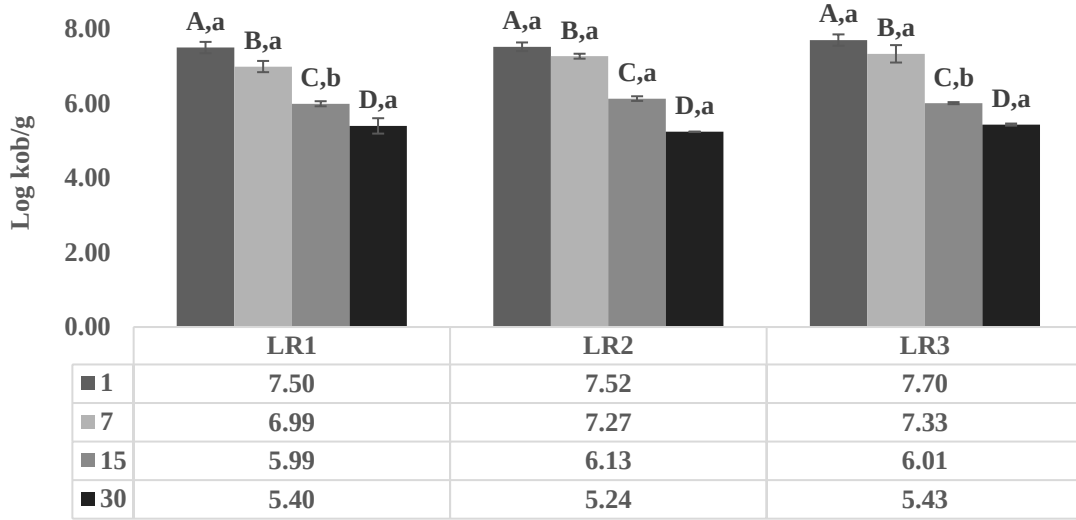
Şekil 4.43. *B. bifidum* BB-12 içeren peynir örneklerinin depolama boyunca probiyotik hücre sayısı

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan).

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren peynir örneklerinin canlı probiyotik hücre sayıları depolama başında 7 ile 8 log kob/g aralığında tespit edilmiştir. Tüm örnek gruplarında test edilen probiyotik bakterilerin sayısında depolama süresince önemli bir azalma ($p<0.05$) meydana gelmiştir. Depolama periyodu sonunda ise örneklerin canlı probiyotik hücre sayılarının 5 ile 6 log kob/g aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu nedenle, önerilen depolama süresinde kaplanmış peynir dilimlerinin, kaplama işlemlerinden bağımsız olarak probiyotik gıda olarak kabul edilemeyeceği görülmektedir.

Röble ve ark. (2010) ve Tavera-Quiroz ve ark. (2015) tarafından probiyotik kaplama uygulanmış farklı gıda maddelerinde depolama süresince probiyotik sayısında azalma meydana geldiği rapor edilmiştir. Benzer şekilde, probiyotiklerin peynir formülasyonuna ilave edildiği çalışmalarda (Ozer ve ark., 2008; Özer ve ark., 2009; Burns ve ark., 2015) depolama sırasında probiyotik canlı sayısının azaldığı ifade edilmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından farklı gıda maddeleri üzerinde yürütülen çalışmalarda (Ortakci ve ark., 2012; Rodríguez-Huezo ve ark., 2014; Dantas ve ark.,

2016; Shigematsu ve ark., 2018) ise depolama boyunca probiyotik canlı sayısının önemli düzeyde korunduğu bildirilmiştir.



Şekil 4.44. *L. rhamnosus* GG içeren peynir örneklerinin depolama boyunca probiyotik hücre sayısı

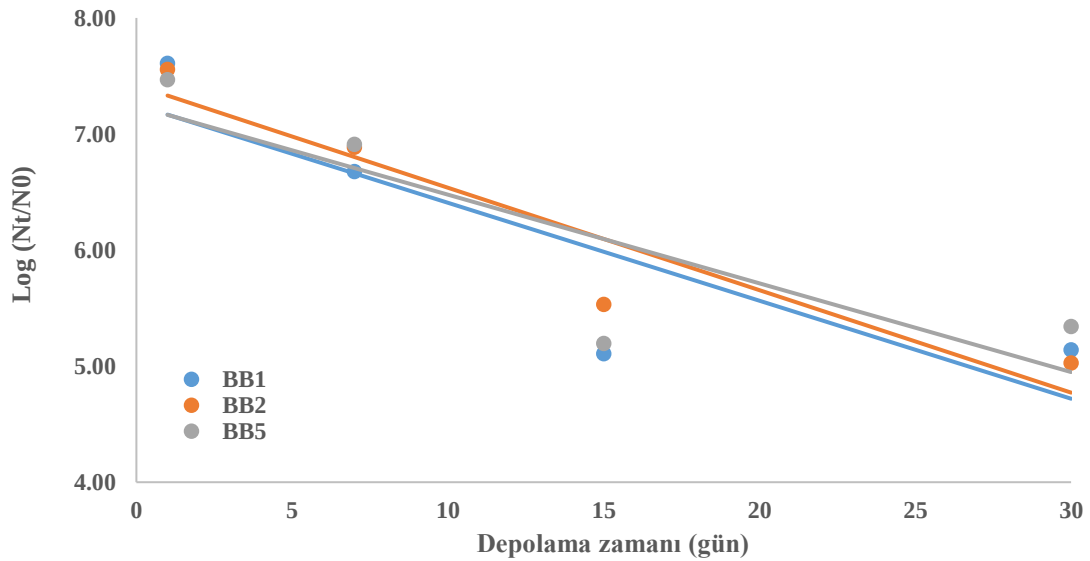
Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olacak şekilde verilmiştir. Farklı büyük harfler aynı örnek grubunda depolama periyotları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. Farklı küçük harfler aynı depolama periyodunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığı (alfa=0.05) ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan).

BB1, BB2 ve BB3 örneklerinin canlı hücre sayıları depolamanın 1. ve 7. günlerinde benzer bulunmuştur ($p>0.05$). Ancak, depolamanın 15. ve 30 günlerinde BB1, BB2 ve BB3 örneklerinin canlı hücre sayılarının farklı ($p<0.05$) olduğu tespit edilmiştir. Depolama sonunda en yüksek canlı hücre sayısı BB3 (%1 FOS içeren) örneğinde belirlenmiştir. Benzer şekilde, LR örneklerinin canlı hücre sayıları arasında depolamanın ilk haftasında önemli bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir. LR örneklerinin canlı hücre sayılarının depolamanın 15. gününde farklı, depolama sonunda ise benzer ($p>0.05$) olduğu belirlenmiştir.

Probiyotik içeren kaplama uygulanmış farklı gıda maddeleri üzerinde yürütülen çalışmalarda depolama süresince tespit edilen probiyotik mikroorganizma canlılık düzeyleri kullanılan probiyotik, polimer ve depolama koşullarına (özellikle depolama

süresi ve sıcaklığı) göre değişiklik göstermektedir (Tapia ve ark., 2007; Altamirano-Fortoul ve ark., 2012; Soukoulis ve ark., 2014b; Bambace ve ark., 2019).

El-Sayed ve ark. (2021) tarafından *B. lactis*, *L. acidophilus* ve *L. casei*'den oluşan karışık probiyotik kültürü kitosan, sodyum aljinat ve karboksimetil selüloz esaslı film formülasyonlarına ilave edilmiştir. Elde edilen film formülasyonları peynirlerin kaplanması için kullanılmış ve depolama sırasında (7 °C, 45 gün) peynirin mikrobiyolojik özellikleri araştırılmıştır. Araştırmacılar depolama sonunda probiyotik kaplama içeren peynir örneklerinde canlı probiyotik hücre sayılarının kontrol örneğine (kaplamasız, probiyotik içeren) kıyasla yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Depolama sonunda kaplanmış tüm peynir örneklerinde *B. lactis* ve *Lactobacillus* sayıları 8 log kob/g'den yüksek bulunmuştur. Kitosan, sodyum aljinat ve karboksimetil selülozun probiyotiklerin canlılığını koruyan kapsüllenmiş bir madde olarak hareket ettiği bildirilmiştir.



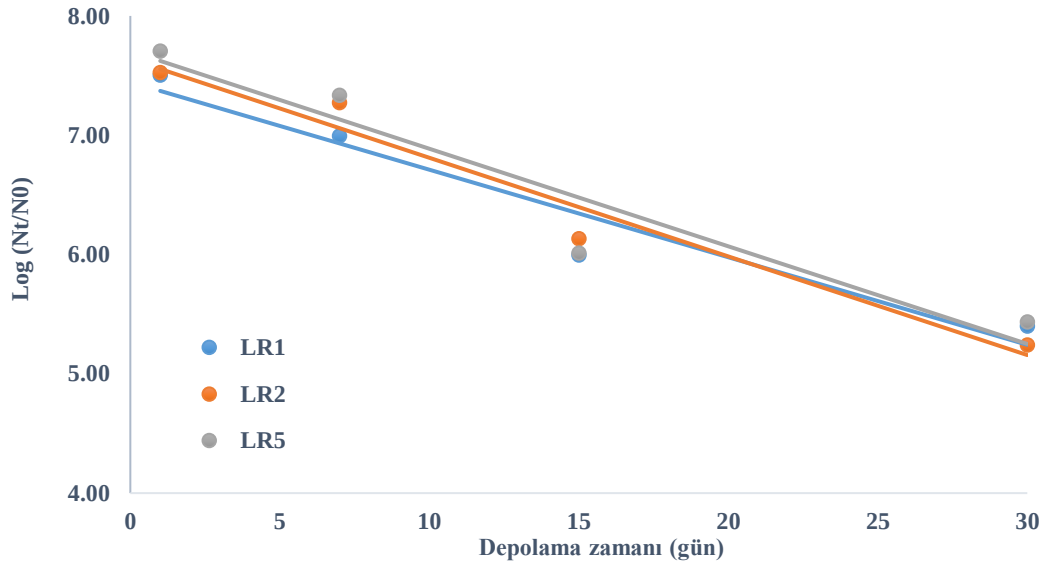
Şekil 4.45. Depolama boyunca peynir örneklerinde *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon eğrileri

BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan).

Şekil 4.45.'te ve Şekil 4.46.'da sırası ile depolama boyunca peynir örneklerinde *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon eğrileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.33.'te ise *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon oranları ve peynir örneklerinin tahmini raf ömrü değerleri verilmiştir.

Peynir örneklerinde *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon oranları 0.169 ile 0.199 aralığında belirlenmiştir. *B. bifidum* BB-12 içeren peynirlerde en yüksek inaktivasyon oranı BB2, en düşük inaktivasyon oranı BB3 örneklerinde tespit edilmiştir ($p<0.05$). *L. rhamnosus* GG içeren peynirlerde ise peynirlerde en yüksek inaktivasyon oranı LR2, en düşük inaktivasyon oranı LR1 örneklerinde tespit edilmiştir ($p<0.05$).



Şekil 4.46. Depolama boyunca peynir örneklerinde *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon eğrileri

LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan).

Peynir örneklerinde probiyotik canlı hücre sayısının 6 log kob/g değerine düşmesi için gereken süre göz esas alınarak hesaplanan tahmini raf ömrü değerleri 14-20 gün aralığında belirlenmiştir. İnaktivasyon oranları ile paralel olarak, *B. bifidum* BB-12 içeren örneklerin raf ömrü değerleri *L. rhamnosus* GG içeren örneklerle kıyasla önemli düzeyde düşük ($p<0.05$) bulunmuştur. Ancak, BB1, BB2 ve BB3 örneklerinin raf ömrü değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark ($p>0.05$) tespit edilmemiştir. Benzer şekilde, LR1, LR2 ve LR3 peynir örneklerinin raf ömrü değerleri benzer

($p>0.05$) bulunmuştur. *B. bifidum* BB-12 içeren örneklerin raf ömrü değerlerinin *L. rhamnosus* GG içeren örneklerle kıyasla önemli düzeyde düşük ($p<0.05$) olduğu görülmektedir. Bu durumun *B. bifidum* BB-12'nin mutlak anaerobik özelliği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Mutlak anaerob bakterilerin oksijene maruz kalması bakterilerde toksik oksijenik metabolitlerin hücre içi birikimi ile sonuçlanarak canlılıkta azalmaya yol açmaktadır (Talwalkar ve ark., 2004). *L. rhamnosus* GG'nin fakültatif anaerobik özelliği sebebiyle oksijenin bu bakteri üzerindeki toksik etkisinin *B. bifidum* BB-12'ye kıyasla sınırlı olduğu düşünülmektedir (Jarosz ve ark., 2019).

Çizelge 4.33. Peynir örneklerinde depolama boyunca probiyotik mikroorganizmaların inaktivasyon oranları ve raf ömrü değerleri

Örnek	İnaktivasyon Oranı (R^2) (kob/g gün ⁻¹)	Tahmini Raf Ömrü (gün)
<i>B. bifidum</i> BB-12		
BB1	0.191±0.011 ^{abc} (0.796)	14±0.21 ^b
BB2	0.199±0.016 ^a (0.898)	15±0.43 ^b
BB3	0.173±0.007 ^{bc} (0.723)	16±0.59 ^b
<i>L. rhamnosus</i> GG		
LR1	0.169±0.006 ^c (0.936)	19±2.11 ^a
LR2	0.192±0.007 ^{ab} (0.962)	19±0.16 ^a
LR3	0.188±0.018 ^{abc} (0.912)	20±0.52 ^a

Değerler ortalama ± standart sapma olacak şekilde verilmiştir. ^{a-c}Her sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ($p<0.05$) ifade etmektedir. Tahmini raf ömrü, probiyotik canlı bakteri sayısının 6 log kob/g değerine düşmesi için gereken süreyi ifade etmektedir. LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan).

Örnek gruplarında tespit edilen raf ömrü değerlerinin çalışmamızdaki depolama süresinden kısa olduğu görülmektedir. Mevcut sonuçlar, çalışmamızda depolama sonunda test edilen probiyotik bakterilerin peynirde fonksiyonel etkilerinin görülebilmesi için yeterli düzeyde bulunmadığını göstermektedir (FAO/WHO, 2002). Depolama süresince probiyotik hücre sayılarında meydana gelen azalmanın başlıca nedenleri arasında asitliğin gelişmesinin olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde, El-Sayed ve ark. (2021), probiyotik kültürler içeren film solüsyonu ile kaplanmış Beyaz peynirde depolama sırasında asitliğin gelişmesi nedeniyle canlı hücre sayısının azaldığını bildirmişlerdir. Probiyotik hücre sayısının kısa sürede azalmasının bir diğer nedeninin peynir örneklerinin vakumsuz ambalajlanmasının olduğu düşünülmektedir.

Oksijenin test edilen probiyotik bakteriler üzerindeki bilinen toksik etkisi bu durumu desteklemektedir. Ayrıca, probiyotik canlı sayısının hızla azalması peynir örneklerinde bulunan diğer mikroorganizma türleri ve probiyotikler arasındaki besin maddeleri için rekabet ile ilişkilendirilebilir (Zoghi ve ark., 2020). Bu sonuçlar, çalışmamızda kullanılan probiyotik bakterilerin depolama sırasında besin eksikliğine karşı dirençlerinin zayıf olduğunu göstermektedir.

4.3.9. Duyusal analiz

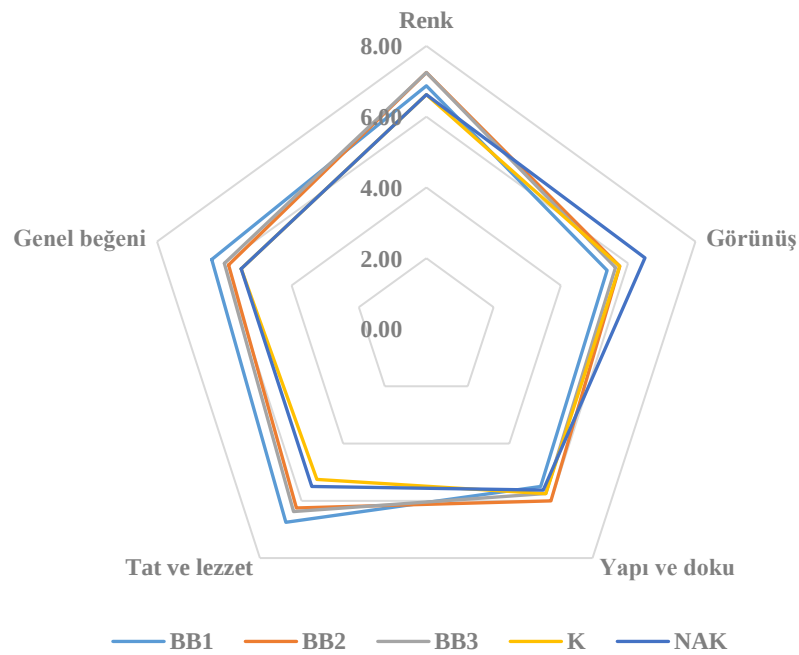
Yenilebilir filmler ve kaplamalar genellikle kaplanmış ürün ile tüketilmektedir. Ayrıca, probiyotik bakteriler organik asitler ve bakteriyosinler gibi bazı metabolitler üreterek ürün tat, aroma ve yapısında değişime neden olabilmektedir. Bu nedenle, probiyotiklerin bu materyallere dâhil edilmesinin tüketici kabul edilebilirliğini etkilememesi istenmektedir (Angiolillo ve ark., 2014; Bambace ve ark. 2019).

B. bifidum BB-12 ve kontrol örneklerinin ortalama duyusal puanlarına ait radar grafiği Şekil 4.47.'de verilmiştir. *L. rhamnosus* GG ve kontrol örneklerinin ortalama duyusal puanlarını gösteren radar grafiğine ise Şekil 4.48.'de yer verilmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve kontrol örnekleri değerlendirilen renk, görünüş, yapı-doku, tat-lezzet ve genel beğeni kriterleri açısından benzer bulunmuştur ($p>0.05$). Benzer şekilde, *L. rhamnosus* GG ve kontrol örnekleri arasında değerlendirilen duyusal özellikler açısından önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$).

Çalışma sonuçlarımız ile benzer olarak, peynir altı suyu proteini izolatu esaslı antagonistik maya içeren kaplama uygulamasının Kaşar peynirinin bazı özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmada, değerlendirilen duyusal özellikler açısından örnek grupları arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir (Civelek, 2019). Aynı çalışmada, maya tarafından üretilen metabolitlerin Kaşar peynirinin özelliklerini kötü yönde etkilemediği bildirilmiştir.

Gıda maddelerine fonksiyonel özellik kazandırmak için uygulanan işlemlerin, tüketicinin ürün kalitesi olarak algıladığı ilk faktörler olan görünüm (yani renk ve

bütünlük) ve lezzet özelliklerini koruması önemlidir (Michele ve ark., 2013). Çalışmamızda, kaplama uygulanmış peynir örnekleri ve kaplanmamış örneğin değerlendirilen duyu özellikleri açısından benzer bulunması, kaplama uygulamalarının tüketici kabul edilebilirliği açısından uygun olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, probiyotik içeren kaplama işlemlerinin de değerlendirilen duyu özellikleri açısından önemli bir fark oluşturmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, probiyotik ilave edilen kaplama uygulamasının peynirin tüketici kabul edilebilirliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir.

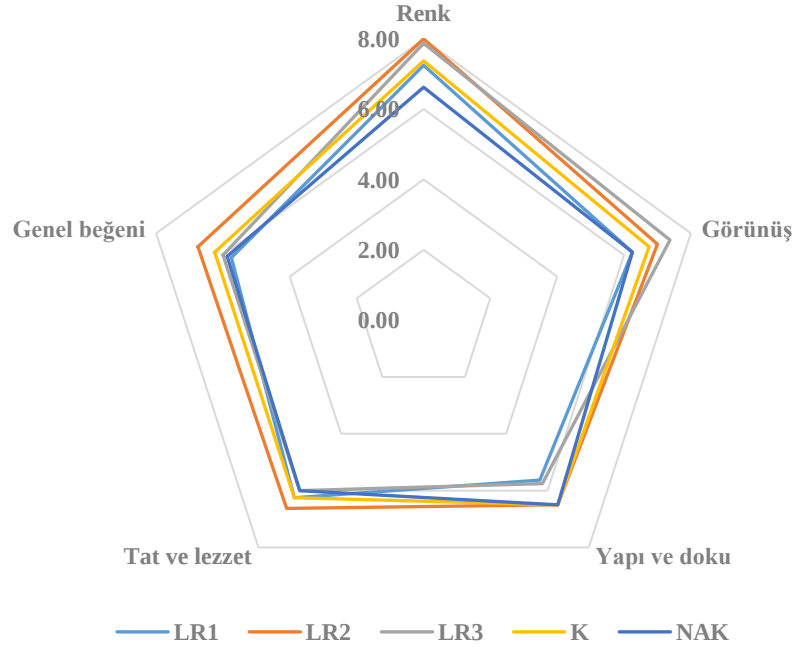


Şekil 4.47. *B. bifidum* BB-12 ve kontrol örneklerinin duyu puanlarını gösteren radar grafiği

BB1 (%0 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB2 (%0 FOS + %1 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), BB3 (%1 FOS + %0 IN + *B. bifidum* BB-12 içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

Probiyotik içeren kaplama uygulanmış farklı gıda maddelerinde, kaplama uygulamalarının örnekler arasında önemli bir farka yol açmadığı rapor edilmiştir (Pereira ve ark., 2019b). Ksouda ve ark. (2019) tarafından sodyum aljinat esaslı kaplama formülasyonuna anason uçucu yağı ilavesinin (%1-3) peynirin depolanması boyunca bakteriyel ve oksidatif stabilitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Araştırmacılar genel olarak kaplanmış peynir örneklerinin duyu özellikleri açısından daha çok beğenildiğini ifade etmişlerdir.



Şekil 4.48. *L. rhamnosus* GG ve kontrol örneklerinin duyu özelliklerini gösteren radar grafiği

LR1 (%0 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR2 (%0 FOS + %1 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), LR3 (%1 FOS + %0 IN + *L. rhamnosus* GG içeren solüsyona daldırılan), SK (sodyum kazeinat içeren solüsyona daldırılan) ve K (kontrol, steril damıtılmış suya daldırılan).

El-Sayed ve ark. (2021) tarafından probiyotik suşlar (*B. lactis*, *L. acidophilus* ve *L. casei*) içeren kitosan, sodyum aljinat ve karboksimetil selüloz esaslı film solüsyonları ile kaplanmış peynirlerin depolama boyunca bazı özellikleri incelenmiştir. Araştırmacılar probiyotik kaplama uygulamasının peynirin dokusal özelliklerini iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Ancak, kontrol ve kaplanmış peynir örneklerinin lezzet, renk ve görünüş özellikleri açısından farklı bulunmadığı ifade edilmiştir. Aynı çalışmada, genel kabul edilebilirlik puanlarının probiyotik içeren kaplama uygulanmış peynir örneklerinde kaplanmamış kontrol örneğine kıyasla yüksek olduğu bildirilmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, sodyum kazeinat esaslı *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren film formülasyonlarına farklı oranlarda FOS ve IN ilave edilerek üretilen filmler bazı özellikler açısından incelenmiş ve en iyi film formülasyonları belirlenmiştir. En iyi film örnekleri depolama boyunca probiyotik canlılığı ve film özellikleri açısından karakterize edilmiştir. Ayrıca, en iyi film formülasyonları dilimlenmiş Eritme peynirlerinin kaplanmasında kullanılmış ve depolama süresince peynirlerin özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır.

Probiyotik ve prebiyotik içeren yenilebilir film üretimi ve bu formülasyonların Eritme peynirinin kaplanmasında kullanımını konu alan bu çalışmada, elde edilen sonuçları aşağıdaki şekilde üç ana başlık altında sıralayabiliriz.

a. Farklı konsantrasyonlarda FOS ve IN içeren film örneklerine ait analiz sonuçları

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin ağırlıkları üzerinde FOS, IN ve FOS*IN etkisi $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Her iki örnek grubunda %0 FOS + %0 IN içeren filmlerin en düşük ağırlığa sahip olduğu; FOS ve IN oranlarındaki artış ile film ağırlıklarının artış gösterdiği belirlenmiştir.

Her iki örnek grubunda film kalınlığı üzerinde FOS ve IN etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.001$). Film kalınlık değerlerinin FOS ve IN oranına bağlı olarak önemli düzeyde artış gösterdiği; *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren her iki örnek grubunda en ince ve en kalın filmlerin sırası ile %0 FOS + %0 IN ve %3 FOS + %3 IN içeren örnekler olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, film ağırlığı ve kalınlığı arasında yüksek düzeyde pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir.

B. bifidum BB-12 örneklerinin nem değerleri üzerinde FOS, IN ($p<0.001$) ve FOS*IN etkileşiminin ($p<0.01$) önemli olduğu belirlenmiştir. *L. rhamnosus* GG içeren örneklerin nem içeriklerinde ise sadece FOS ($p<0.001$) önemli bir değişime neden olmuştur. Her iki örnek grubunda, aynı konsantrasyonda IN içeren örneklerin nem içeriklerinin FOS ilavesi ile artış gösterdiği; en yüksek nemin %2 ve %3 FOS içeren film örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Aynı oranda FOS içeren *B. bifidum* BB-12 örneklerinin nem içerikleri genellikle IN oranına bağlı olarak önemli bir artış göstermiştir. Ancak, aynı oranda FOS içeren *L. rhamnosus* GG filmlerinin nem içeriği üzerinde IN ilavesinin önemli bir farka yol açmadığı saptanmıştır. Bunlara ek olarak, film nem içerikleri ve kalınlıkları arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir.

Her iki örnek grubundaki filmlerin ışık bariyeri özellikleri üzerinde IN ve FOS etkisi önemli ($p<0.001$) bulunmuştur. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin opaklığı üzerinde IN*FOS etkisinin sırası ile $p<0.05$ ve $p<0.001$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Aynı FOS konsantrasyonlarında, her iki örnek grubunda IN ilavesi ile daha opak filmler elde edilmiştir. IN'nin opaklık üzerindeki etkisinin aksine, FOS konsantrasyonunun artışı ile opaklık değerlerinin genel olarak azaldığı tespit edilmiştir. Her iki örnek grubunda %3 FOS + %0 IN içeren formülasyon ile üretilen filmler en şeffaf örnekler olarak belirlenmiştir.

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG örneklerinin gerilme direnci (GD) değerlerini FOS, IN ve IN*FOS etkileşiminin önemli ($p<0.001$) düzeyde etkilediği belirlenmiştir. Her iki örnek grubunda FOS ve IN oranlarının artışına paralel olarak GD değerlerinin azaldığı; %0 FOS + %0 IN ve %3 FOS + %3 IN içeren örneklerin sırası ile en düşük ve en yüksek GD değerlerine sahip filmler olduğu tespit edilmiştir.

Her iki örnek grubunda uzama katsayısı (UK) değerleri üzerinde FOS, IN ve IN*FOS etkileşiminin etkisi $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Genel olarak film formülasyonunda toplam prebiyotik konsantrasyonunun belirli bir seviyenin üzerinde olması durumunda film UK değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Formülasyonda FOS bulunmaması durumunda IN ilavesinin film UK değerinde artışa; FOS bulunması durumunda %1'den fazla IN ilavesinin film UK değerinde azalmaya

sebebi olduğu belirlenmiştir. FOS konsantrasyonunun etkisi incelendiğinde, %0 ve %1 IN içeren örneklerde FOS konsantrasyonuna bağlı olarak film UK değerinin arttığı; %2 ve %3 IN içeren filmlerde FOS konsantrasyonuna bağlı olarak film UK değerinin genellikle azaldığı tespit edilmiştir.

Her iki örnek grubunda, film oluşturuıcı çözeltilerin kurutulması ile probiyotik canlılığının azaldığı tespit edilmiştir. Film oluşturuıcı çözeltilerin kurutulması sonrası *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerde probiyotik canlılıkları sırası ile %86.73-93.38 ve %77.67-89.61 aralığında belirlenmiştir. Ayrıca, *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin kurutulması sonunda probiyotik canlılığını FOS, IN ve IN*FOS etkileşiminin önemli ($p<0.001$) düzeyde etkilediği saptanmıştır.

B. bifidum BB-12'nin canlılık sonuçları değerlendirildiğinde, FOS ve IN konsantrasyonundaki artışın *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon oranında azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Aynı oranda IN içeren örneklerde, FOS ilavesi ile probiyotik canlılığının arttığı; en yüksek canlılığın %3 FOS içeren filmlerde olduğu belirlenmiştir. Aynı oranda FOS içeren örneklerde ise en yüksek canlılık sırası ile %3 ve %2 IN içeren filmlerde tespit edilmiştir.

L. rhamnosus GG film örneklerinin canlılık sonuçları incelendiğinde, toplam prebiyotik oranının yüksek olması halinde probiyotik stabilitesinin azaldığı saptanmıştır. Düşük IN konsantrasyonlarında FOS ilavesinin canlılık üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu; probiyotik stabilitesinin %0 ve %1 IN içeren örnek gruplarında FOS oranının %0'dan %1'e çıkması durumunda arttığı; %2'ye çıkması durumunda azaldığı tespit edilmiştir. %2 ve %3 IN içeren örnek gruplarında ise FOS ilavesi probiyotik stabilitesinin azalmasına neden olmuştur. Bunlara ek olarak, aynı oranda FOS içeren örneklerde probiyotik canlılığı genel olarak IN oranının %1'e çıkması durumunda artarken %1'den %2'ye çıkması durumunda azalma göstermiştir.

Probiyotik içeren film örneklerine ait analiz sonuçları çok kriterleri karar verme tekniğinde (TOPSIS) belirlenen kriterlere ve bu kriterlerin ağırlık katsayılarına göre değerlendirilerek en iyi film formülasyonları belirlenmiştir. *B. bifidum* BB-12

örneklerinde en iyi film formülasyonları sırası ile %0 FOS + %0 IN (BB1), %0 FOS + %1 IN (BB2) ve %1 FOS + %0 IN (BB3) olarak belirlenmiştir. *L. rhamnosus* GG örneklerinde ise sırası ile %0 FOS ve %0 IN (LR1), %1 FOS + %0 IN (LR3) ve %0 FOS + %1 IN (LR2) içeren örnekleri en iyi filmler olarak belirlenmiştir.

b. En iyi film örneklerine ait analiz sonuçları

Formülasyona FOS ve IN ilavesi film kalınlığını arttırmış, ancak *L. rhamnosus* GG içeren film örneklerinde bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Prebiyotik ilavesi ile her iki örnek grubunda film örneklerinin suda çözünürlük (SÇ) değerlerinin önemli düzeyde azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, *L. rhamnosus* GG örneklerinde FOS ve IN içeren filmlerin SÇ değerleri arasındaki fark önemli bulunmamıştır.

Su buharı geçirgenliği (SBG) değerleri incelendiğinde, film örneklerinin su buharı bariyer özelliklerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerin su buharı bariyer özelliklerinin FOS ve IN ilavesinden önemli düzeyde etkilenmediği tespit edilmiştir.

B. bifidum BB-12 filmlerin peroksit sayısı (PS) değerleri üzerinde FOS ve IN ilavesinin önemli olmadığı; %1 FOS içeren *L. rhamnosus* GG filmde PS değerinin prebiyotik içermeyen ve IN içeren örneğe kıyasla önemli düzeyde yüksek olduğu tespit edilmiştir.

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren her iki örnek grubunun renk değerleri göz önüne alındığında, filmlerin şeffaf bir yapıya sahip olduğu ve güçlü renk tonlarının olmadığı tespit edilmiştir. FOS ve IN ilavesinin film örneklerinin L^* değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunmazken a^* değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur. *B. bifidum* BB-12 örneklerinde %1 FOS içeren (BB3) filmde a^* değerinin diğer filmlere kıyasla yüksek olduğu belirlenmiştir. *L. rhamnosus* GG örneklerinde ise prebiyotik içermeyen (LR1) filmde a^* değerinin diğer filmlere kıyasla

yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, *B. bifidum* BB-12 örneklerinde b^* değerleri üzerinde film formülasyonunun etkisi önemli bulunmazken *L. rhamnosus* GG örneklerinde önemli bulunmuştur.

Filmlerin yüzey SEM görüntülerinde herhangi bir faz ayrılması veya toplanma tespit edilmemiştir. Ayrıca, ilave edilen probiyotik bakteri hücrelerinin film matriksinde gömülü olduğu ve az da olsa pürüzlü yüzey oluşumuna yol açtığı görülmüştür. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerinin yüzey görüntülerinde, %1 FOS içeren (BB3 ve LR3) filmde bakteri hücrelerinin daha iyi gömüldüğü belirlenmiştir. *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG filmlerinin kesit görüntülerinde ise FOS ve IN içeren örneklerin prebiyotik içermeyen örneğe kıyasla daha az pürüzlü bir yapıya sahip olduğu; FOS ve IN'nın film matriksine iyi şekilde uyum sağladığı tespit edilmiştir.

Her iki örnek grubuna ait FTIR spektrumları incelendiğinde, majör piklerin benzer olduğu belirlenmiştir. Film örneklerinde majör pikler $3700-2700\text{ cm}^{-1}$ 'lik hidrojen gerilme, $3000-2850\text{ cm}^{-1}$ 'lik alifatik CH, $1950-1550\text{ cm}^{-1}$ 'lik ikili bağ ve $1500-700\text{ cm}^{-1}$ 'lik parmak izi bölgelerinde tespit edilmiştir.

Prebiyotik ajanlar probiyotiklerin inaktivasyon oranlarında artışa neden olmuştur. Her iki probiyotik bakteri için en yüksek inaktivasyon oranı %1 FOS içeren (BB3 ve LR3) filmde tespit edilmiştir. %1 IN içeren filmde, *B. bifidum* BB-12'nin inaktivasyon oranı prebiyotik içermeyen örneğe kıyasla önemli düzeyde yüksek; *L. rhamnosus* GG'nin inaktivasyon oranı ile prebiyotik içermeyen örnek benzer bulunmuştur.

Film örneklerinde test edilen probiyotik bakterilerin depolama stabilitelerinin oldukça yüksek ve belirlenen formülasyonların *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG için uygun birer taşıyıcı olduğu tespit edilmiştir. *B. bifidum* BB-12 içeren film örneklerinin raf ömrü değerleri 51 ile 98 gün, *L. rhamnosus* GG içeren filmlerin tahmini raf ömrü değerleri ise 68 ile 82 gün aralığında belirlenmiştir.

c. Kaplanmış peynir örneklerine ait analiz sonuçları

Dilimlenmiş peynir örneklerinin kaplanması *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren en iyi film formülasyonları ile hazırlanan kaplama solüsyonları kullanılmıştır. Peynir pH'sı üzerinde prebiyotik ($p<0.05$), probiyotik, depolama, depolama*probiyotik ve depolama*probiyotik*prebiyotik ($p<0.001$) etkileşiminin etkisi önemli bulunmuştur. Depolama sonunda, tüm örneklerin pH değerlerinin önemli düzeyde azaldığı; en düşük pH'nın kontrol örneğinde ölçüldüğü belirlenmiştir. *B. bifidum* BB-12 içeren kaplama uygulanmış örneklerin (BB örnek grubu) *L. rhamnosus* GG içeren (LR örnek grubu) ve probiyotik içermeyen (SK ve K örnekleri) örneklerle kıyasla düşük pH'ya sahip olduğu; IN içeren kaplama uygulanan örneklerin prebiyotik içermeyen kaplama uygulanmış örneklerle göre düşük pH'ya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Titrasyon asitliği üzerinde probiyotik, probiyotik*prebiyotik etkisi $p<0.001$; prebiyotik etkisi $p<0.01$; depolama, depolama*probiyotik, depolama*prebiyotik etkisi $p<0.001$; depolama*probiyotik*prebiyotik etkisi $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Peynir örneklerinin titrasyon asitliği değerlerinin depolama ile genel olarak arttığı saptanmıştır. pH sonuçları ile uyumlu olarak, BB örnek grubunun titrasyon asitliği LR ve kontrol örneklerine kıyasla farklı bulunmuştur.

Ağırlık kaybı değerleri üzerinde depolama, probiyotik, depolama*probiyotik etkisinin $p<0.001$; depolama*prebiyotik etkisinin $p<0.05$ düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Peynirlerin zamanla ağırlık kaybının arttığı; SK ve K örneklerinin ağırlık kaybının diğer örneklerle kıyasla yüksek olduğu; kaplama uygulamalarının peynirin ağırlık kaybını sınırladığı belirlenmiştir.

Peynir örneklerinin nem içerikleri üzerinde depolama, probiyotik, prebiyotik ($p<0.001$) ve probiyotik*prebiyotik ($p<0.05$) etkileşiminin önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Depolama sonunda genel olarak örneklerin nem içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, K ve SK örneklerinin nem içerikleri BB ve LR örnek gruplarına kıyasla yüksek bulunmuştur.

Peynirlerin su aktivitesi değerleri üzerinde depolama $p<0.001$ düzeyinde önemli bulunurken probiyotik ve prebiyotik etkisi önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Nem değerleri ile paralel olarak, örneklerin su aktivitesinin depolama başında azaldığı; depolama sonunda ise arttığı saptanmıştır.

Peynir dilimlerinin L^* değerleri üzerinde depolama $p<0.001$; probiyotik ve prebiyotik $p<0.01$ düzeyinde etkili bulunmuştur. L^* değerleri zamanla azalma göstermiş, ancak depolama sonunda örneklerin L^* değerleri arasında belirgin bir fark tespit edilmemiştir. LR örnek gruplarındaki peynirlerin L^* değerlerinin diğer örneklerle kıyasla düşük olduğu saptanmıştır. Ayrıca, FOS içeren kaplama uygulanmış örneklerin parlaklık değerleri IN içeren ve prebiyotik içermeyen kaplama uygulanmış örneklerle kıyasla düşük bulunmuştur.

a^* değerlerinin depolama, probiyotik, depolama*probiyotik ($p<0.001$) etkileşiminden önemli düzeyde etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca, prebiyotik ($p<0.01$), depolama*probiyotik*prebiyotik etkileşiminin ($p<0.05$) a^* değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur. Peynir örneklerinin a^* değerleri yeşil rengin göstergesi olan negatif bölgede bulunmuş ve depolama ile a^* değerlerinde hafif bir azalma tespit edilmiştir. Ancak, depolama sonunda örneklerin a^* değerlerinin benzer olduğu saptanmıştır. LR örneklerinin BB ve kontrol örneklerine kıyasla; FOS içeren örneklerin IN içeren ve prebiyotik içermeyenlere kıyasla daha düşük a^* değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Peynir dilimlerinin b^* değerleri üzerinde probiyotik, prebiyotik ve probiyotik*prebiyotik interaksyonu $p<0.05$; depolama $p<0.001$ düzeyinde etkili bulunmuştur. Peynirlerin b^* değerlerinin genel olarak zamanla azaldığı; depolama sonunda örneklerin b^* değerlerinin benzer olduğu tespit edilmiştir.

Örneklerin beyazlık indeksi (WI) değerlerinin probiyotik ($p<0.001$), prebiyotik ($p<0.01$) ve depolama ($p<0.001$) ile önemli düzeyde değiştiği tespit edilmiştir. WI değerlerinin zamanla azaldığı, ancak depolama sonunda örneklerin WI değerleri arasında belirgin bir fark bulunmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, L^* değerleri ile uyumlu

olarak LR örneklerinin diğer örneklerle kıyasla; FOS içeren kaplanmış peynirlerin IN içeren ve prebiyotik içermeyen örneklerle kıyasla daha düşük beyazlığa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Peynirlerin sarılık indeksi (YI) değerlerinde depolama, probiyotik, prebiyotik ($p<0.01$) ve probiyotik*prebiyotik interaksyonu ($p<0.05$) önemli bir farka neden olmuştur. Örneklerin yoğun bir sarı renge sahip olmadığı; YI değerlerinin depolama ile azaldığı, depolama sonunda ise peynirlerin YI değerlerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, LR örneklerinin BB ve kontrol örneklerine kıyasla; FOS içeren örneklerin prebiyotik içermeyen ve IN içeren örneklerle kıyasla farklı YI değerlerine sahip olduğu saptanmıştır.

Chroma (C^* ; yoğunluk) değerleri üzerinde probiyotik, prebiyotik, probiyotik*prebiyotik ($p<0.05$) ile depolama etkisi önemli bulunmuştur. Örneklerin C^* değerlerinin depolama ile azalma gösterdiği; depolama sonunda ise örneklerin benzer C^* değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Beklendiği üzere, peynirlerin C^* değerleri a^* ve b^* ile uyumlu bulunmuştur.

Peynir örneklerinin hue açısı (h°) değerlerinin depolama ($p<0.001$), probiyotik, prebiyotik ve depolama*probiyotik ($p<0.01$) etkileşiminden önemli düzeyde etkilendiği belirlenmiştir. Örneklerin h° değerlerinin depolama başında farklı olduğu; zamanla h° değerlerinin azaldığı; depolama sonunda ise peynirlerin h° değerlerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. h° değerlerinde tespit edilen değişimlerin a^* ve b^* ile paralel olduğu saptanmıştır.

ΔE değerleri üzerinde depolama, probiyotik $p<0.001$; prebiyotik $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Depolama başında örneklerin ΔE değerlerinin farklı olduğu; depolama sonunda ise ΔE değerlerinin arttığı, bu artışın sadece SK ve K örneklerinde önemli olduğu belirlenmiştir. Depolama sonunda ise örneklerin ΔE değerleri arasında belirgin bir fark saptanmamıştır. Sonuçlar probiyotik ve prebiyotik içeren kaplama uygulamaların peynir renginin korunmasında etkili olduğunu göstermektedir.

Peynir dilimlerinin sertlik değerleri üzerinde prebiyotik ($p<0.05$), probiyotik, depolama, depolama*probiyotik, depolama*prebiyotik ve depolama*probiyotik*prebiyotik etkisi ($p<0.001$) önemli bulunmuştur. Peynir sertliğinin genel olarak zamanla azaldığı ve depolama boyunca en yüksek sertliğin kaplanmamış K örneğinde ölçülmesi sebebiyle kaplama uygulamalarının peynir yumuşaklığının korunmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, LR örneklerinin sertlik değerleri BB ve kontrol örneklerine kıyasla düşük bulunmuştur.

Dış yapışkanlık değerleri üzerinde prebiyotik $p<0.05$; probiyotik, probiyotik*prebiyotik $p<0.001$; depolama, depolama*prebiyotik ve depolama*probiyotik*prebiyotik etkisinin $p<0.001$, depolama*probiyotik etkisinin $p<0.01$ düzeyinde etkili bulunmuştur. Peynirlerin dış yapışkanlık değerlerinin zamanla önemli ölçüde azaldığı; kontrol örneklerinin dış yapışkanlık değerlerinin diğer örneklere kıyasla düşük olduğu tespit edilmiştir.

Peynir elastikiyetinin probiyotik ($p<0.05$), depolama ($p<0.001$), depolama*probiyotik ($p<0.01$) ve depolama*prebiyotik etkileşimi ($p<0.05$) ile önemli düzeyde değiştiği saptanmıştır. Depolama süresince peynir elastikiyetinde düzenli bir değişim tespit edilmemiş, ancak genel olarak peynir elastikiyetinin azaldığı belirlenmiştir. Depolama sonunda en düşük elastikiyet K ve LR1 örneklerinde belirlenmiştir.

Peynirlerin iç yapışkanlık değerlerinin varyans kaynaklarından önemli düzeyde etkilenmediği ($p>0.05$) saptanmıştır. Depolama ile örneklerin iç yapışkanlık değerleri hafif bir azalma göstermiştir, ancak bu azalma sadece K ve LR2 örneklerinde önemli bulunmuştur. Depolama sonunda ise en düşük iç yapışkanlık değeri K örneğinde saptanmıştır.

Çiğnenebilirlik değerleri üzerinde depolama, probiyotik $p<0.001$; prebiyotik ve probiyotik*prebiyotik $p<0.01$; depolama*prebiyotik $p<0.05$ düzeyinde etkili bulunmuştur. Çiğnenebilirlik değerlerinin depolama ile genel olarak azaldığı; LR örneklerinin probiyotik içermeyen kontrol örneklerine kıyasla daha çiğnenebilir

nitelikte olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, IN içeren formülasyon ile kaplanmış peynirlerin prebiyotik içermeyen örneklerle kıyasla çığnenabilirlik değerleri yüksek bulunmuştur.

B. bifidum BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren kaplanmış peynir örneklerinde, depolama başında probiyotik canlı hücre sayısının 7-8 log kob/g olduğu; probiyotik canlılığının zamanla azaldığı, 30 günlük depolama sonunda probiyotik sayısının 5-6 log kob/g olduğu belirlenmiştir. Her iki örnek grubunda, 30 günlük depolama periyodu sonunda tespit edilen probiyotik canlı sayılarına bağlı olarak peynir dilimlerinin probiyotik bir ürün olarak kabul edilemeyeceği tespit edilmiştir. Ayrıca, depolama sonunda canlı probiyotik hücre sayıları üzerinde, LR örneklerinde kaplama formülasyonu etkili bulunmazken BB örneklerinde kaplama formülasyonu etkili bulunmuştur. *B. bifidum* BB-12 örneklerinde depolama sonunda en yüksek canlılık %1 FOS içeren (BB3) örnekte saptanmıştır.

Depolama süresince *B. bifidum* BB-12 inaktivasyon oranının *L. rhamnosus* GG'ye kıyasla yüksek olduğu; her iki örnek grubunda raf ömrünün çalışmamızdaki depolama süresinden kısa (14-20 gün) olduğu ve son üründe probiyotiklerin yeterli sayıda bulunmadığı belirlenmiştir.

Peynirlerin duysal değerlendirilmesinde örnekler arasında belirgin bir fark bulunmadığı; probiyotik kaplama uygulamasının peynirin tüketici kabul edilebilirliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığı saptanmıştır.

5.2. Öneriler

Sodyum kazeinat esaslı *B. bifidum* BB-12 ve *L. rhamnosus* GG içeren yenilebilir film formülasyonlarına FOS ve IN ilavesi filmin kalite özellikleri ve probiyotik canlılığı üzerinde önemli etkilere sahip olmasına rağmen, ilave edilen toplam prebiyotik konsantrasyonu göz önünde bulundurulmalıdır.

%0 FOS + %0 IN, %0 FOS + %1 IN, %1 FOS + %0 IN içeren sodyum kazeinat esaslı filmlerde test edilen probiyotiklerin depolama stabilitelerinin yüksek olması sebebiyle, bu film formülasyonları probiyotik içeren yenilebilir ambalaj teknolojisinde kullanılabilir. Ancak, probiyotik içeren yenilebilir filmlerde probiyotik depolama stabilitesi üzerinde prebiyotik ajanların etkilerinin daha iyi incelenebilmesi için film yoğunluklarının belirlenmesi ya da canlı hücre sayısının birim alanda veya kurumadde içeriği üzerinden hesaplanması gerekmektedir.

Dilimlenmiş Eritme peynirlerinde depolama süresince peynir renginin ve yumuşaklığının korunması amacıyla belirlenen film formülasyonları kullanılabilir.

Peynir gibi gıda maddelerinin probiyotik içeren kaplama uygulamaları için olumsuz koşullara dirençli spor oluşturan probiyotik bakterilerin tercih edilmesi veya kaplama işlemi ile vakum ambalajlamanın birlikte kullanılması önerilebilir. Ayrıca, peynirin kalite özellikleri ve probiyotik canlı sayısındaki değişimin yorumlanması açısından maya-küf ve bazı bakteri türlerinin tespit edilmesi gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Son olarak, probiyotik içeren kaplama işlemlerinin peynir gibi raf ömrü uzun gıda maddeleri yerine raf ömrü kısa olan ürünlerde tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- ABEDINIA, A., ALIMOHAMMADI, F., TEYMORI, F., RAZGARDANI, N., MOHAMMAD, R. S. A., ARIFFIN, F., NAFCHI, A. M., HUDA, N., and ROSLAN, J., 2021. Characterization and cell viability of probiotic/prebiotics film based on duck feet gelatin: A novel poultry gelatin as a suitable matrix for probiotics. *Foods*, 10: 1761.
- AGREBI, F., GHORBEL, N., BRESSON, S., ABBAS, O., and KALLEL, A., 2019. Study of nanocomposites based on cellulose nanoparticles and natural rubber latex by ATR / FTIR spectroscopy: The impact of reinforcement. *Polymer Composites*, 40(5): 2076-2087.
- AHMED, M. E., RATHNAKUMAR, K., AWASTI, N., ELFARUK, M. S., and HAMMAM, A. R. A., 2021. Influence of probiotic adjunct cultures on the characteristics of low-fat Feta cheese. *Food Science & Nutrition*, 9(3): 1512-1520.
- AKALIN, A. S., and KARAMAN, A. D., 2010. Influence of packaging conditions on the textural and sensory characteristics, microstructure and color of industrially produced Turkish white cheese during ripening. *Journal of Texture Studies*, 41(4): 549-562.
- AKARCA, G., TOMAR, O., and GÖK, V., 2015. Effect of different packaging methods on the quality of stuffed and sliced Mozzarella cheese during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6): 2912-2918.
- AKARCA, G., and YILDIRIM, G., 2021. Effects of the probiotic bacteria on the quality properties of mozzarella cheese produced from different milk. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11.
- AKMAN, P. K., BOZKURT, F., DOGAN, K., TORNÜK, F., and TAMTURK, F., 2021. Fabrication and characterization of probiotic *Lactobacillus plantarum* loaded sodium alginate edible films. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1): 84-92.
- AL-HASSAN, A. A., and NORZIAH, M. H., 2012. Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 26(1): 108-117.
- AL-SHERAJI, S. H., ISMAIL, A., MANAP, M. Y., MUSTAFA, S., YUSOF, R. M., and HASSAN, F. A., 2013. Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Foods*, 5(4): 1542-1553.
- AL-TAYYAR, N. A., YOUSSEF, A. M., and AL-HINDI, R. R., 2020. Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 26: e00215.
- ALTAMIRANO-FORTOUL, R., MORENO-TERRAZAS, R., QUEZADA-GALLO, A., and ROSELL, C. M., 2012. Viability of some probiotic coatings in bread and its effect on the crust mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, 29(1): 166-174.
- ANGIOLILLO, L., CONTE, A., ZAMBRINI, A. V., and DEL NOBILE, M. A., 2014. Biopreservation of fior di latte cheese. *Journal of Dairy Science*, 97(9): 5345-5355.

- ANSARIFAR, E., SHAHIDI, F., MOHEBBI, M., RAZAVI, S. M., and ANSARIFAR, J., 2015. A new technique to evaluate the effect of chitosan on properties of deep-fried Kurdish cheese nuggets by TOPSIS. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2): 1211-1219.
- ARGUETA, I. G., SALAZAR, B. Q., and LOPEZ, A. D., 2016. Effect of edible coating based on whey, inulin and gelatine with *Lactobacillus casei* on the textural and sensorial properties of a cracker cookie. *Journal of Probiotics & Health*, 4(3): 153.
- ARHAM, R., MULYATI, M. T., METUSALACH, M., and SALENGKE, S., 2016. Physical and mechanical properties of agar based edible film with glycerol plasticizer. *International Food Research Journal*, 23(4): 1669-1675.
- ARRIETA, M. P., PELTZER, M. A., GARRIGÓS, M. D. C., and JIMÉNEZ, A., 2013. Structure and mechanical properties of sodium and calcium caseinate edible active films with carvacrol. *Journal of Food Engineering*, 114(4): 486-494.
- ARTIGA-ARTIGAS, M., ACEVEDO-FANI, A., and MARTÍN-BELLOSO, O., 2017. Improving the shelf life of low-fat cut cheese using nanoemulsion-based edible coatings containing oregano essential oil and mandarin fiber. *Food Control*, 76: 1-12.
- ASTM, 1995. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. American Society for Testing and Materials International.
- ASTM, 2018. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. American Society for Testing and Materials International.
- ATARÉS, L., BONILLA, J., and CHIRALT, A., 2010. Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, 100: 678-687.
- ATASOY, A. F., ÇIÇEK, M., CEYLAN, H. G., and HAYALOGLU, A. A., 2021. Effects of scalding parameters and ripening on the chemical, textural and microstructural properties of Urfa cheese. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(2): 155-163.
- AWAD, R. A., ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A., and SINGH, R. K., 2002. Texture and microstructure of block type processed cheese with formulated emulsifying salt mixtures. *LWT-Food Science and Technology*, 35(1): 54-61.
- AWAD, R. A., ABDEL-HAMID, L. B., EL-SHABRAWY, S. A., and SINGH, R. K., 2004. Physical and sensory properties of block processed cheese with formulated emulsifying salt mixtures. *International Journal of Food Properties*, 7(3): 429-448.
- AWAD, S., HASSAN, A. N., and MUTHUKUMARAPPAN, K., 2005. Application of exopolysaccharide-producing cultures in reduced-fat Cheddar cheese: Texture and melting properties. *Journal of Dairy Science*, 88(12): 4204-4213.
- AYANA, B., 2007. Antimikrobiyal Yenilebilir Filmlerin Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 60s.
- AYANA, B., and TURHAN, K. N., 2009. Use of antimicrobial methylcellulose films to control *Staphylococcus aureus* during storage of Kasar cheese. *Packaging Technology and Science*, 22(8): 461-469.

- AYRANCI, E., and TUNC, S., 2003. A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. *Food Chemistry*, 80(3): 423-431.
- BALDISSERA, A. C., DE DEA LINDNER, J., MOTTA, G. E., DOS SANTOS, N. N. O., GALVÃO, A. C., and WEBER, DA S. R., 2021. Evaluation of the combined effect of temperature and potassium sorbate on physicochemical and microbial quality of modified atmosphere packaged sliced Mozzarella cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2): e15136.
- BAMBACE, M. F., ALVAREZ, M. V., and MOREIRA, DEL R. M., 2019. Novel functional blueberries: Fructo-oligosaccharides and probiotic lactobacilli incorporated into alginate edible coatings. *Food Research International*, 122: 653-660.
- BERSANETI, G. T., MANTOVAN, J., MAGRI, A., MALI, S., and CELLIGOI, M. A. P. C., 2016. Edible films based on cassava starch and fructooligosaccharides produced by *Bacillus subtilis* natto CCT 7712. *Carbohydrate Polymers*, 151: 1132-1138.
- BIELECKA, M., and CICHOSZ, G., 2020. The effect of milk fat replacement and the addition of *Lactobacillus paracasei* LPC-37 on the sensory properties of cheeses. *Mljekarstvo*, 70(1): 28-39.
- BONILLA, J., ATARÉS, L., VARGAS, M., and CHIRALT, A., 2012. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. *Journal of Food Engineering*, 110(2): 208-213.
- BONILLA, J., and SOBRAL, P. J. A., 2019. Gelatin-chitosan edible film activated with Boldo extract for improving microbiological and antioxidant stability of sliced Prato cheese. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(5): 1617-1624.
- BOURNE, M. C., KENNY, J. F., and BARNARD, J., 1979. Computer-assisted readout of data from texture profile analysis curves. *Journal of Texture Studies*, 9: 481-494.
- BOURTOOM, T., 2008. Edible films and coatings: Characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3): 237-248.
- BROECKX, G., VANDENHEUVEL, D., HENKENS, T., KIEKENS, S., VAN DEN BROEK, M. F., LEBEER, S., and KIEKENS, F., 2017. Enhancing the viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG after spray drying and during storage. *International Journal of Pharmaceutics*, 534(1-2): 35-41.
- BULUT SOLAK, B., 2013. Farklı Tip Peynirler Kullanılarak Üretilen Eritme Peynirlerin Üretimi Esnasında Uygulanan İşlem Parametrelerinin Peynirin Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 310s.
- BULUT-SOLAK, B., and AKIN, N., 2019. Impact of cooking pH values on the textural and chemical properties for processed cheeses with/without the use of traditional village cheese during storage. *Food science of animal resources*, 39(4): 541-554.
- BURGAIN, J., GAIANI, C., CAILLIEZ-GRIMAL, C., JEANDEL, C., and SCHER, J., 2013a. Encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* GG in microparticles: Influence of casein to whey protein ratio on bacterial survival during digestion. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19: 233-242.

- BURGAIN, J., GAIANI, C., FRANCIUS, G., REVOL-JUNELLES, A. M., CAILLIEZ-GRIMAL, C., LEBEER, S., TYTGAT, H. L. P., VANDERLEYDEN, J., and SCHER, J., 2013b. In vitro interactions between probiotic bacteria and milk proteins probed by atomic force microscopy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 104: 153-162.
- BURITI, F. C. A., DA ROCHA, J. S., ASSIS, E. G., and SAAD, S. M. I., 2005. Probiotic potential of Minas fresh cheese prepared with the addition of *Lactobacillus paracasei*. *LWT- Food Science and Technology*, 38(2): 173-180.
- BURNS, P., CUFFIA, F., MILESI, M., VINDEROLA, G., MEINARDI, C., SABBAG, N., and HYNES, E., 2012. Technological and probiotic role of adjunct cultures of non-starter lactobacilli in soft cheeses. *Food Microbiology*, 30(1): 45-50.
- BURNS, P. G., PATRIGNANI, F., TABANELLI, G., VINDEROLA, G. C., SIROLI, L., REINHEIMER, J. A., GARDINI, F., and LANCIOTTI, R., 2015. Potential of high pressure homogenisation on probiotic Caciotta cheese quality and functionality. *Journal of Functional Foods*, 13: 126-136.
- BÜYÜKSİRİT, T., ve KULEAŞAN, H., 2014. Fourier dönüşümlü kızılıötesi (FTIR) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı. *Gıda*, 39(4): 235-241.
- CAGRI, A., USTUNOL, Z., and RYSER, E. T., 2004. Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*, 67(4): 833-848.
- CANKURT, H., 2015. Bazı Bitki Aromatik Su ve Uçucu Yağlarının Blok Tipi Eritme Peyniri ve Beyaz Peynirin Çeşitli Özellikleri Üzerine Etkisi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 220s.
- CANO EMBUENA, A. I., CHÁFER NÁCHER, M., CHIRALT BOIX, A., MOLINA PONS, M. P., BORRÁS LLOPIS, M., BELTRAN MARTÍNEZ, M. C., and GONZÁLEZ MARTÍNEZ, C., 2017. Quality of goat's milk cheese as affected by coating with edible chitosan-essential oil films. *International Journal of Dairy Technology*, 70(1): 68-76.
- CAO, T. L., YANG, S. Y., and SONG, K. BIN., 2018. Development of burdock root inulin/chitosan blend films containing oregano and thyme essential oils. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1): 1-12.
- CAPRIOLI, I., O'SULLIVAN, M., and MONAHAN, F. J., 2009. Use of sodium caseinate/glycerol edible films to reduce lipid oxidation in sliced turkey meat. *European Food Research and Technology*, 228(3): 433-440.
- CAZÓN, P., VELAZQUEZ, G., RAMÍREZ, J. A., and VÁZQUEZ, M., 2017. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68: 136-148.
- ÇAKIR, İ., ve ÇAKMAKÇI, M. L., 2004. Probiyotikler: Tanımı, etki mekanizması, seçim ve güvenilirlik kriterleri. *Gıda*, 29(6): 427-434.
- CERQUEIRA, M. A., LIMA, Á. M., SOUZA, B. W. S., TEIXEIRA, J. A., MOREIRA, R. A., and VICENTE, A. A., 2009. Functional polysaccharides as edible coatings for cheese. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4): 1456-1462.
- CEYLAN, H. G., and ATASOY, A. F., 2022. *Lactobacillus rhamnosus* GG ve *Bifidobacterium bifidum* BB-12 içeren yenilebilir filmlerin karakterizasyonu. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(16): 194-203.
- CHOI, W. S., SINGH, S., and LEE, Y. S., 2016. Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on

- quality attributes of “Formosa” plum (*Prunus salicina* L.). LWT-Food Science and Technology, 70: 213-222.
- CİVELEK, I., and CAGRI-MEHMETOGLU, A., 2019. Determination of antifungal effect of edible coatings containing *Williopsis saturnus* var. *saturnus* against yeast and mold growth on Kashar cheese. Journal of Food Science, 84(2): 311-318.
- CİVELEK, İ., 2019. *Williopsis saturnus* var. *Saturnus* İçeren Yenilebilir Kaplamanın Kaşar Peyniri Yüzeyinde Maya ve Küf Üremesine Karşı Antimikrobiyal Etkisinin Belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 73s.
- COSTA, M. J., MACIEL, L. C., TEIXEIRA, J. A., VICENTE, A. A., and CERQUEIRA, M. A., 2018. Use of edible films and coatings in cheese preservation: Opportunities and challenges. Food Research International, 107: 84-92.
- CRUZ-DIAZ, K., COBOS, Á., FERNÁNDEZ-VALLE, M. E., DÍAZ, O., and CAMBERO, M. I., 2019. Characterization of edible films from whey proteins treated with heat, ultrasounds and/or transglutaminase. Application in cheese slices packaging. Food Packaging and Shelf Life, 22: 100397.
- ÇAVUŞ, M., YURT, B., and CANKURT, H., 2021. Effects of egg parts addition on colour, textural and sensory properties of block-type melted cheese: a case study. Food Science and Technology, 42: e67520.
- CUTTER, C. N., 2006. Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. Meat Science, 74(1): 131-142.
- ÇELEBİ, M., ve ŞİMŞEK, B., 2020. Taze ve Olgunlaşmış Kaşar Peynirlerinde Bazı Kimyasal ve Tekstürel Özelliklerin Belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(2): 64-74.
- ÇELİKEL, A., 2017. Yenilebilir Film ve Çeşitli Baharat Karışımlarının Optimizasyonu ve Eritme Peynirlerinin Kaplanması Kullanım Olanakları. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Şanlıurfa, 162s.
- ÇÜRÜK, M., 2006. Kaşar Benzeri Peynirlerin Bazı Özellikleri Üzerine Eritme Tuzu Kullanımının ve Olgunlaşma Süresinin Etkileri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 89s.
- DA CRUZ, A. G., BURITI, F. C. A., DE SOUZA, C. H. B., FARIA, J. A. F., and SAAD, S. M. I., 2009. Probiotic cheese: Health benefits, technological and stability aspects. Trends in Food Science & Technology, 20(8): 344-354.
- DAFALLA, A., ABDEL, K. A., and ELROFAEI, N. A., 2021. Effect of types of probiotic bacteria on physiochemical properties of Sudanese white soft cheese. American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences, 78(1): 83-97.
- DANGARAN, K., TOMASULA, P. M., and QI, P., 2009. Structure and function of protein-based edible films and coatings. In edible films and coatings for food applications, pp. 25-56, Springer, New York, NY.
- DANTAS, A. B., JESUS, V. F., SILVA, R., ALMADA, C. N., ESMERINO, E. A., CAPPATO, L. P., SILVA, M. C., RAICES, R. S. L., CAVALCANTI, R. N., CARVALHO, C. C., SANT’ANA, A. S., BOLINI, H. M. A., FREITAS, M. Q., and CRUZ, A. G., 2016. Manufacture of probiotic Minas Frescal cheese with *Lactobacillus casei* Zhang. Journal of Dairy Science, 99(1): 18-30.

- DEBEAUFORT, F., QUEZADA-GALLO, J. A., and VOILLEY, A., 1998. Edible films and coatings: Tomorrow's packagings: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(4): 299-313.
- DEBEAUFORT, F., and VOILLEY, A., 2009. Lipid-based edible films and coatings. In *edible films and coatings for food applications*, pp. 135-168, Springer, New York, NY.
- DE LACEY, A. M. L, LÓPEZ-CABALLERO, M. E., GÓMEZ-ESTACA, J., GÓMEZ-GUILLÉN, M. C., and MONTERO, P., 2012. Functionality of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* incorporated to edible coatings and films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16: 277-282.
- DEMERS-MATHIEU, V., ST-GELAIS, D., AUDY, J., LAURIN, É., and FLISS, I., 2016. Effect of the low-fat Cheddar cheese manufacturing process on the viability of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus paracasei/casei*, and *Lactobacillus plantarum* isolates. *Journal of Functional Foods*, 24: 327-337.
- DHALL, R. K., 2013. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5): 435-450.
- DIMITRELI, G., and THOMAREIS, A. S., 2007. Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, 79(4): 1364-1373.
- DÍAZ-MONTES, E., and CASTRO-MUÑOZ, R., 2021. Edible films and coatings as food-quality preservers: An overview. *Foods*, 10(2): 249.
- EBRAHIMI, B., MOHAMMADI, R., ROUHI, M., MORTAZAVIAN, A. M., SHOJAEE-ALIABADI, S., and KOUSHKI, M. R., 2018. Survival of probiotic bacteria in carboxymethyl cellulose-based edible film and assessment of quality parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 87: 54-60.
- EÇA, K. S., SARTORI, T., and MENEGALLI, F. C., 2014. Films and edible coatings containing antioxidants - a review. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17(2): 98-112.
- EL-SAYED, H. S., EL-SAYED, S. M., MABROUK, A. M. M., NAWWAR, G. A., and YOUSSEF, A. M., 2021. Development of eco-friendly probiotic edible coatings based on chitosan, Alginate and carboxymethyl cellulose for improving the shelf life of UF soft cheese. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(6): 1941-1953.
- EREN KARAHAN, L., 2016. Farklı Oran ve Üretim Aşamalarında Mikrobiyal Transglutaminaz İlavesinin Yarım Yağlı Beyaz Peynirin Özellikleri Üzerine Etkileri. *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Şanlıurfa*, 139s.
- EROGLU, A., TOKER, O. S., and DOGAN, M., 2016. Changes in the texture, physicochemical properties and volatile compound profiles of fresh Kashar cheese (<90 days) during ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 69(2): 243-253.
- ESPITIA, P. J. P., BATISTA, R. A., AZEREDO, H. M. C., and OTONI, C. G., 2016. Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. *Food Research International*, 90: 42-52.

- FABRA, M J, HAMBLETON, A., TALENS, P., DEBEAUFORT, F., and CHIRALT, A., 2011. Effect of ferulic acid and α -tocopherol antioxidants on properties of sodium caseinate edible films. *Food Hydrocolloids*, 25: 1441-1447.
- FABRA, MARIA JOSÉ, TALENS, P., and CHIRALT, A., 2008. Tensile properties and water vapor permeability of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. *Journal of Food Engineering*, 85(3): 393-400.
- FABRA, MARIA JOSÉ, TALENS, P., and CHIRALT, A., 2010. Influence of calcium on tensile, optical and water vapour permeability properties of sodium caseinate edible films. *Journal of Food Engineering*, 96(3): 356-364.
- FAJARDO, P., MARTINS, J. T., FUCIÑOS, C., PASTRANA, L., TEIXEIRA, J. A., and VICENTE, A. A., 2010. Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycin to improve the storability of Saloio cheese. *Journal of Food Engineering*, 101(4): 349-356.
- FAKHREDDIN, S., REZAEI, M., ZANDI, M., and FARAHMAND, F., 2013. Preparation and functional properties of fish gelatin – chitosan blend edible films. *Food Chemistry*, 136(3-4): 1490-1495.
- FALGUERA, V., QUINTERO, J. P., JIMÉNEZ, A., MUÑOZ, J. A., and IBARZ, A., 2011. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*, 22(6): 292-303.
- FAMENIN, B. K., HOSSEINI, H., ZAYERI, F., GHANATI, K., LORENZO, J. M., BARBA, F. J., and MOUSAVI KHANEGHAH, A., 2019. Effect of mechanically deboning of chicken on the rheological and sensory properties of chicken sausages. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(5): 1-8.
- FAO/WHO, 2002. Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization, London Ontario, Canada.
- FAO/WHO, 2006. Probiotics in food: Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. In Food and Nutrition Paper 85. Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization, Rome.
- FARKYE, N. Y., and FOX, P. F., 1990. Objective indices of cheese ripening. *Trends in Food Science and Technology*, 1: 37–40.
- FERNANDES, L. M., GUIMARÃES, J. T., SILVA, R., ROCHA, R. S., COUTINHO, N. M., BALTHAZAR, C. F., CALVALCANTI, R. N., PILER, C. W., PIMENTEL, T. C., NETO, R. P. C., TAVARES, M. I. B., ESMERINO, E. A., FREITAS, M. Q., SILVA, M. C., and CRUZ, A. G., 2020. Whey protein films added with galactooligosaccharide and xylooligosaccharide. *Food Hydrocolloids*, 104: 105755.
- FOOKS, L. J., FULLER, R., and GIBSON, G. R., 1999. Prebiotics, probiotics and human gut microbiology. *International Dairy Journal*, 9(1): 53-61.
- FRANCK, A., 2002. Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87: 287–291.
- GARCÍA-ARGUETA, I., DUBLÁN-GARCÍA, O., QUINTERO-SALAZAR, B., DOMINGUEZ-LOPEZ, A., GÓMEZ-OLIVÁN, L., and SALEM, A. Z. M., 2013. Effect of lactic acid bacteria on the textural properties of an edible film based on whey, inulin and gelatin. *African Journal of Biotechnology*, 12(19): 2659-2669.

- GARCÍA, M. A., PINOTTI, A., MARTINO, M. N., and ZARITZKY, N. E., 2009. Characterization of starch and composite edible films and coatings. In edible films and coatings for food applications, pp. 169-209, Springer, New York, NY.
- GENNADIOS, A., HANNA, M. A., and KURTH, L. B., 1997. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: A review. *LWT-Food Science and Technology*, 30(4): 337-350.
- GIBSON, G. R., and ROBERFROID, M. B., 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125(6): 1401-1412.
- GIBSON, GLENN R., PROBERT, H. M., LOO, J. VAN, RASTALL, R. A., and ROBERFROID, M. B., 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*, 17(2): 259-275.
- GÖNCÜ, B., 2018. Bazı Baharat Çeşitlerinin Dilimlenebilir Eritme Peyniri Üretiminde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Şanlıurfa, 146s.
- GORBACH, S., DORON, S., and MAGRO, F., 2017. *Lactobacillus rhamnosus* GG. In the microbiota in gastrointestinal pathophysiology: Implications for human health, prebiotics, probiotics, and dysbiosis, pp. 79-88, Elsevier Academic Press.
- GUERRA-MARTÍNEZ, J. A., MONTEJANO, J. G., and MARTÍN-DEL-CAMPO, S. T., 2012. Evaluation of proteolytic and physicochemical changes during storage of fresh Panela cheese from Queretaro, Mexico and its impact in texture. *CYTA Journal of Food*, 10(4): 296-305.
- GUIMARÃES, A., ABRUNHOSA, L., PASTRANA, L. M., and CERQUEIRA, M. A., 2018. Edible films and coatings as carriers of living microorganisms: A new strategy towards biopreservation and healthier foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3): 594-614.
- GUIMARÃES, A., RAMOS, Ó., CERQUEIRA, M., VENÂNCIO, A., and ABRUNHOSA, L., 2020. Active whey protein edible films and coatings incorporating *Lactobacillus buchneri* for *Penicillium nordicum* control in cheese. *Food and Bioprocess Technology*, 13(6): 1074-1086.
- GUL, O., ATALAR, I., MORTAS, M., SARICA OGLU, F. T., and YAZICI, F., 2018. Application of TOPSIS methodology to determine optimum hazelnut cake concentration and high pressure homogenization condition for hazelnut milk production based on physicochemical, structural and sensory properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4): 2404-2415.
- HAMMAM, A. R. A., 2019. Technological, applications, and characteristics of edible films and coatings: a review. *SN Applied Sciences*, 1(6): 1-11.
- HAN, J. H., 2013. Edible films and coatings: A review. In innovations in food packaging: Second Edition, pp. 213-255, Elsevier Academic Press.
- HASSAN, B., CHATHA, S. A. S., HUSSAIN, A. I., ZIA, K. M., and AKHTAR, N., 2018. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109: 1095-1107.
- HICKEY, D. K., GUINEE, T. P., HOU, J., and WILKINSON, M. G., 2013. Effects of variation in cheese composition and maturation on water activity in Cheddar cheese during ripening. *International Dairy Journal*, 30(1): 53-58.

- HIŞİL, Y., 2015. Enstrümental gıda analizleri (10. baskı). Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 515-529s.
- HWANG, C.L., and YOON, K., 1981. Multiple attribute decision making methods and applications. In multiple attribute decision making, pp. 55-191, Springer, New York, NY.
- IDF, 1993. Milk Determination of Nitrogen Content. IDF: 20B, International Dairy Federation: 41, Brussels, 12p.
- IŞIK, H., DAĞHAN, Ş., and GÖKMEN, S., 2013. Gıda endüstrisinde kullanılan yenilebilir kaplamalar üzerine bir araştırma. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(1): 26-35.
- İÇYER, N. C., ve DURAK, M. Z., 2020. Bitkisel yağlarda taşıyıcı belirleme metotları: fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi. Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi, 1(2): 138-149.
- JALİL, H. M., 2017. Peynir Altı Suyu Bazlı Filmlerin Kaşar Peynirinin Çeşitli Özellikleri Üzerine Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van, 53s.
- JANJARASSKUL, T., and KROCHTA, J. M., 2010. Edible packaging materials. Annual Review of Food Science and Technology, 1(1): 415-448.
- JANSSON, A., and THUVANDER, F., 2004. Influence of thickness on the mechanical properties for starch films. Carbohydrate Polymers, 56(4): 499-503.
- JAROSZ, M., GRUDZIEŃ, J., KAMIŃSKI, K., GAWLAK, K., WOLSKI, K., NOWAKOWSKA, M., and SULKA, G. D., 2019. Novel bioelectrodes based on polysaccharide modified gold surfaces and electrochemically active *Lactobacillus rhamnosus* GG biofilms. Electrochimica Acta, 296: 999-1008.
- JIMÉNEZ, A., FABRA, M. J., TALENS, P., and CHIRALT, A., 2012. Effect of sodium caseinate on properties and ageing behaviour of corn starch based films. Food Hydrocolloids, 29(2): 265-271.
- JRIDI, M., HAJJI, S., BEN, H., LASSOUED, I., MBAREK, A., KAMMOUN, M., SOUISSI, N., and NASRI, M., 2014. International Journal of Biological Macromolecules Physical, structural, antioxidant and antimicrobial properties of gelatin – chitosan composite edible films. International Journal of Biological Macromolecules, 67: 373-379.
- KALANTARMAHDAVI, M., KHANZADI, S., and SALARI, A., 2021. Edible films incorporating with *Lactobacillus plantarum* based on sourdough, wheat flour, and gelatin: Films characterization and cell viability during storage and simulated gastrointestinal condition. Starch/Stärke, 73(9-10): 1-10.
- KALKAN, S., 2014. Farklı Antimikrobiyel Maddeler İçeren Yenilebilir Film Kaplamaların Macar Salamında Kullanım Olanakları ve *Listeria innocua* İnaktivasyonu Üzerindeki Etkileri Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 165s.
- KANDASAMY, S., YOO, J., YUN, J., KANG, H. B., SEOL, K. H., KIM, H. W., and HAM, J. S., 2021. Application of whey protein-based edible films and coatings in food industries: An updated overview. Coatings, 11(9): 1056.
- KANMANI, P., and LIM, S. T., 2013. Development and characterization of novel probiotic-residing pullulan/starch edible films. Food Chemistry, 141(2): 1041-1049.
- KAPOOR, S., SINGH, M. P., VATANKHAH, H., DESHWAL, G. K., and RAMASWAMY, H. S., 2021. Production and quality improvement of Indian

- cottage cheese (Paneer) using high pressure processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 72: 102746.
- KARAKAŞOĞLU, N., 2018. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulamaları. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 247s.
- KARIMI, N., ALIZADEH, A., ALMASI, H., and HANIFIAN, S., 2020. Preparation and characterization of whey protein isolate/polydextrose-based nanocomposite film incorporated with cellulose nanofiber and *L. plantarum*: A new probiotic active packaging system. *LWT-Food Science and Technology*, 121: 108978.
- KASAPOĞLU, E. D., ve TÖRNÜK, F., 2018. Mikroorganizma taşıyıcısı yenilebilir filmler ve kaplamalar. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(4): 518-529.
- KAVAK, D. D., and KARABIYIK, H., 2020. Quality evaluation of Kashar cheese: Influence of palm oil and ripening period. *Food Science and Technology (Brazil)*, 40(2): 354-360.
- KAVAS, G., KAVAS, N., and SAYGILI, D., 2015. The effects of thyme and clove essential oil fortified edible films on the physical, chemical and microbiological characteristics of Kashar cheese. *Journal of Food Quality*, 38(6): 405-412.
- KAVAS, G. and KAVAS, N., 2016. Use of egg white protein powder based films fortified with sage and lemon balm essential oils in the storage of Lor cheese. *Mljekarstvo*, 66(2): 99-111.
- KESKIN, M., SETLEK, P., and DEMIR, S., 2017. Use of color measurement systems in food science and agriculture. *International Advanced Researches & Engineering Congress*, 16-18 November, Osmaniye, s.2350-2359.
- KHEDRI, S., SADEGHI, E., ROUHI, M., and DELSHADIAN, Z., 2021. Bioactive edible films: Development and characterization of gelatin edible films incorporated with casein phosphopeptides. *Food Science and Technology*, 138: 110649.
- KHWALDIA, K., FEREZ, C., BANON, S., DESOBRY, S., and HARDY, J., 2004. Milk proteins for edible films and coatings. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4): 239-251.
- KİBAR, E. A. A., 2010. Biyobozunur Metilselüloz-Mısır Nişastası ve Karboksimetilselüloz-Mısır Nişastası Esaslı Filmlerin Üretimi ile Geçirgenlik, Mekanik ve Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 160s.
- KSOUDA, G., SELLIMI, S., MERLIER, F., FALCIMAIGNE-CORDIN, A., THOMASSET, B., NASRI, M., and HAJJI, M., 2019. Composition, antibacterial and antioxidant activities of *Pimpinella saxifraga* essential oil and application to cheese preservation as coating additive. *Food Chemistry*, 288: 47-56.
- KUMAR, N., 2019. Polysaccharide-based component and their relevance in edible film/coating: a review. *Nutrition and Food Science*, 49(5): 793-823.
- KURT, A., and KAHYAOGU, T., 2014. Characterization of a new biodegradable edible film made from saiep glucomannan. *Carbohydrate Polymers*, 104(1): 50-58.
- LA STORIA, A., DI GIUSEPPE, F. A., VOLPE, S., OLIVIERO, V., VILLANI, F., and TORRIERI, E., 2020. Physical properties and antimicrobial activity of

- bioactive film based on whey protein and *Lactobacillus curvatus* 54M16 producer of bacteriocins. *Food Hydrocolloids*, 108: 105959.
- LAWRENCE, R. C., CREAMER, L. K., and GILLES, J., 1987. Texture development during cheese ripening. *Journal of Dairy Science*, 70(8): 1748-1760.
- LONGARES, A., MONAHAN, F. J., RIORDAN, E. D. O., and SULLIVAN, M. O. Ã., 2005. Physical properties of edible films made from mixtures of sodium caseinate and WPI. 15: 1255-1260.
- MA, D., JIANG, Y., AHMED, S., QIN, W., and LIU, Y., 2019. Physical and antimicrobial properties of edible films containing *Lactococcus lactis*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141: 378-386.
- MAHMOUD, S. F., EL-HALMOUCH, Y., and MONTASER, M. M., 2013. Effect of probiotic bacteria on Karish Cheese production. *Life Science Journal*, 10(2): 1-10.
- MASSOUD, R., KHODAEI, D., HAMIDI-ESFAHANI, Z., and KHOSRAVIDARANI, K., 2021. The effect of edible probiotic coating on quality of fresh fruits and vegetables: Fresh strawberries as a case study. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-10.
- MCHUGH, T. H., and KROCHTA, J. M., 1994. Milk protein based edible film and coating. *Food Technology*, 48(1): 97-103.
- MEI, J., YUAN, Y., WU, Y., and LI, Y., 2013. Characterization of edible starch-chitosan film and its application in the storage of Mongolian cheese. *International Journal of Biological Macromolecules*, 57: 17-21.
- MELILLI, M. G., COSTA, C., LUCERA, A., PADALINO, L., DEL NOBILE, M. A., and CONTE, A., 2021. Fiordilatte cheese fortified with inulin from *Cichorium intybus* or *Cynara cardunculus*. *Foods*, 10(6): 1215.
- MENSINK, M. A., FRIJLINK, H. W., VAN DER VOORT MAARSCHALK, K., and HINRICHS, W. L. J., 2015. Inulin, a flexible oligosaccharide. II: Review of its pharmaceutical applications. *Carbohydrate Polymers*, 134: 418-428.
- MICHELE, F., LUISA, A., MARIANNA, M., AMALIA, C., and MATTEO ALESSANDRO, D. N., 2013. The effect of incorporating calcium lactate in the saline solution on improving the shelf life of Fiordilatte cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 66(3): 373-381.
- MILLER, K. S., and KROCHTA, J. M., 1997. Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 8(7): 228-237.
- MODLER, H. W., 1994. Review Paper Bifidogenic Factors Sources, Metabolism and Applications. *International Dairy Journal*, 2067: 383-407.
- MUSHTAQ, M., GANI, A., MASOODI, F. A., and AHMAD, M., 2016. Himalayan cheese (Kalari/Kradi) - Effect of different probiotic strains on oxidative stability, microbiological, sensory and nutraceutical properties during storage. *LWT-Food Science and Technology*, 67: 74-81.
- NAGAR, M., SHARANAGAT, V. S., KUMAR, Y., and SINGH, L., 2020. Development and characterization of elephant foot yam starch-hydrocolloids based edible packaging film: physical, optical, thermal and barrier properties. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4): 1331-1341.
- NÁJERA-DOMÍNGUEZ, C., GUTIÉRREZ-MÉNDEZ, N., AGUIRRE-GARDEA, K., PERALTA-BOLIVAR, A., CHAVEZ-GARAY, D. R., and LEAL-RAMOS, M. Y., 2014. Texture properties of miniature chihuahua-type cheese

- manufactured with different strains of *Lactococcus lactis* isolated from plants and raw milk cheese. *Journal of Texture Studies*, 45(6): 487-494.
- NAVARRO-TARAZAGA, M. L., MASSA, A., and PÉREZ-GAGO, M. B., 2011. Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. *Angeleno*). *LWT-Food Science and Technology*, 44(10): 2328-2334.
- NISAR, T., ALIM, A., IQBAL, T., IQBAL, M., TEHSEEN, S., ZI-CHAO, W., and GUO, Y., 2022. Functionality of different probiotic strains embedded in citrus pectin based edible films. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2): 1005-1015.
- OLIVEIRA-ALCÂNTARA, A. V., ABREU, A. A. S., GONÇALVES, C., FUCIÑOS, P., CERQUEIRA, M. A., GAMA, F. M. P., PASTRANA, L. M., RODRIGUES, S., and AZEREDO, H. M. C., 2020. Bacterial cellulose/cashew gum films as probiotic carriers. *LWT*, 130: 109699.
- OROZCO-PARRA, J., MEJÍA, C. M., and VILLA, C. C., 2020. Development of a bioactive synbiotic edible film based on cassava starch, inulin, and *Lactobacillus casei*. *Food Hydrocolloids*, 104: 105754.
- ORTAKCI, F., BROADBENT, J. R., MCMANUS, W. R., and MCMAHON, D. J., 2012. Survival of microencapsulated probiotic *Lactobacillus paracasei* LBC-1e during manufacture of Mozzarella cheese and simulated gastric digestion. *Journal of Dairy Science*, 95(11): 6274-6281.
- OSÉS, J., FERNÁNDEZ-PAN, I., MENDOZA, M., and MATÉ, J. I., 2009. Stability of the mechanical properties of edible films based on whey protein isolate during storage at different relative humidity. *Food Hydrocolloids*, 23(1): 125-131.
- ÖNER, Z., ve ŞANLIDERE ALOĞLU, H., 2018. Süt ve Süt Ürünleri Analiz Yöntemleri. *Sidas Medya*, İzmir, 227-284s.
- ÖZER, B. H., ROBINSON, R. K., and GRANDISON, A. S., 2003. Textural and microstructural properties of Urfa cheese (a white-brined Turkish cheese). *International Journal of Dairy Technology*, 56(3): 171-176.
- ÖZER, B., KIRMACI, H. A., ŞENEL, E., ATAMER, M., and HAYALOĞLU, A., 2009. Improving the viability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in white-brined cheese by microencapsulation. *International Dairy Journal*, 19(1): 22-29.
- ÖZER, B., UZUN, Y. S., and KIRMACI, H. A., 2008. Effect of microencapsulation on viability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium bifidum* BB-12 during Kasar cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 61(3): 237-244.
- ÖZKAN, E. R., 2012. Farklı pH Değerlerindeki Peynirlerden Blok Tip Eritme Peynir Üretim Şartlarının ve Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya, 85s.
- OZTURK, G., DOGAN, M., and SAID TOKER, O., 2014. Physicochemical, functional and sensory properties of mellorine enriched with different vegetable juices and TOPSIS approach to determine optimum juice concentration. *Food Bioscience*, 7: 45-55.
- PANDHI, S., KUMAR, A., and ALAM, T., 2019. Probiotic edible films and coatings: Concerns, applications and future prospects. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3(3): 261-268.

- PARVEZ, S., MALIK, K. A., AH KANG, S., and KIM, H. Y., 2006. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. *Journal of Applied Microbiology*, 100(6): 1171-1185.
- PATHARE, P. B., OPARA, U. L., and AL-SAID, F. A. J., 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1): 36-60.
- PAVLATH, A. E., and ORTS, W., 2009. Edible films and coatings: Why, what, and how? In *edible films and coatings for food applications*, pp. 1-23, Springer, New York, NY.
- PAVLI, F., KOVAIOU, I., APOSTOLAKOPOULOU, G., KAPETANAKOU, A., SKANDAMIS, P., NYCHAS, G. J. E., TASSOU, C., and CHORIANOPOULOS, N., 2017. Alginate-based edible films delivering probiotic bacteria to sliced ham pretreated with high pressure processing. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(9): 1867.
- PAVLI, F., TASSOU, C., NYCHAS, G. J. E., and CHORIANOPOULOS, N., 2018. Probiotic incorporation in edible films and coatings: Bioactive solution for functional foods. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1): 150.
- PENA-SERNA, C., PENNA, A. L. B., and LOPES FILHO, J. F., 2016. Zein-based blend coatings: Impact on the quality of a model cheese of short ripening period. *Journal of Food Engineering*, 171: 208-213.
- PEREIRA, J. O., SOARES, J., COSTA, E., SILVA, S., GOMES, A., and PINTADO, M., 2019a. Characterization of edible films based on alginate or whey protein incorporated with *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 and prebiotics. *Coatings*, 9(8): 493.
- PEREIRA, J. O., SOARES, J., MONTEIRO, M. J. P., AMARO, A., GOMES, A., and PINTADO, M., 2019b. Cereal bars functionalized through: *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 and inulin incorporated in edible coatings of whey protein isolate or alginate. *Food and Function*, 10(10): 6892-6902.
- PEREIRA, J. O., SOARES, J., MONTEIRO, M. J. P., GOMES, A., and PINTADO, M., 2018. Impact of whey protein coating incorporated with *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* on sliced ham properties. *Meat Science*, 139: 125-133.
- PEREIRA, J. O., SOARES, J., SOUSA, S., MADUREIRA, A. R., GOMES, A., and PINTADO, M., 2016. Edible films as carrier for lactic acid bacteria. *LWT-Food Science and Technology*, 73: 543-550.
- PEREZ-GAGO, M. B., and KROCHTA, J. M., 2001. Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. *Journal of Food Science*, 66(5): 705-710.
- PHOVISAY, S., SIRIWOHARN, T., and SURAWANG, S., 2018. Effect of drying process and storage temperature on probiotic *Lactobacillus casei* in edible films containing prebiotics. *Food and Applied Bioscience Journal*, 6: 105-116.
- PIERMARIA, J., DIOSMA, G., AQUINO, C., GARROTE, G., and ABRAHAM, A., 2015. Edible kefir films as vehicle for probiotic microorganisms. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32: 193-199.
- PREZZI, L. E., LEE, S. H. I., NUNES, V. M. R., CORASSIN, C. H., PIMENTEL, T. C., ROCHA, R. S., RAMOS, G. L. P. A., GUIMARÃES, J. T., BALTHAZAR, C. F., DUARTE, M. C. K. H., FREITAS, M. Q., ESMERINO, E. A., SILVA, M. C., CRUZ, A. G., and OLIVEIRA, C. A. F., 2020. Effect of *Lactobacillus*

- rhamnosus* on growth of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in a probiotic Minas Frescal cheese. Food Microbiology, 92: 103557.
- RAMÍREZ-NAVAS, J. S., and RODRÍGUEZ DE STOUVENEL, A., 2012. Characterization of Colombian quesillo cheese by spectrophotometry. Vitae, 19(2): 178-185.
- RAMOS, O. L., SILVA, S. I., SOARES, J. C., FERNANDES, J. C., POÇAS, M. F., PINTADO, M. E., and MALCATA, F. X., 2012. Features and performance of edible films obtained from whey protein isolate formulated with antimicrobial compounds. Food Research International, 45(1): 351-361.
- RANADHEERA, R. D. C. S., BAINES, S. K., and ADAMS, M. C., 2010. Importance of food in probiotic efficacy. Food Research International, 43(1): 1-7.
- RÍOS-DE-BENITO, L. F., ESCAMILLA-GARCÍA, M., GARCÍA-ALMENDÁREZ, B., AMARO-REYES, A., DI PIERRO, P., and REGALADO-GONZÁLEZ, C., 2021. Design of an active edible coating based on sodium caseinate, chitosan and oregano essential oil reinforced with silica particles and its application on Panela cheese. Coatings, 11(10): 1212.
- ROBERTSON, G. L., 2012. Edible, biobased and biodegradable food packaging materials. In food packaging: Principles and practice (3rd Edition), pp. 49-90, CRC Press, Boca Raton, USA.
- RODRIGUES, F. J., CEDRAN, M. F., and GARCIA, S., 2018. Influence of linseed mucilage incorporated into an alginate-base edible coating containing probiotic bacteria on shelf-life of fresh-cut yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Food and Bioprocess Technology, 11(8): 1605-1614.
- RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E., ESTRADA-FERNÁNDEZ, A. G., GARCÍA-ALMENDÁREZ, B. E., LUDEÑA-URQUIZO, F., CAMPOS-MONTIEL, R. G., and PIMENTEL-GONZÁLEZ, D. J., 2014. Viability of *Lactobacillus plantarum* entrapped in double emulsion during Oaxaca cheese manufacture, melting and simulated intestinal conditions. LWT-Food Science and Technology, 59: 768-773.
- ROJAS-GRAÜ, M. A., AVENA-BUSTILLOS, R. J., FRIEDMAN, M., HENIKA, P. R., MARTÍN-BELLOSO, O., and MCHUGH, T. H., 2006. Mechanical, barrier, and antimicrobial properties of apple puree edible films containing plant essential oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54(24): 9262-9267.
- ROLFE, R. D., 2000. The role of probiotic cultures in the control of gastrointestinal health. The Journal of Nutrition, 130(2): 396-402.
- ROLIM, P. M., 2015. Prebiotic food development. Food Science and Technology, 35(1): 3-10.
- ROMANO, N., TAVERA-QUIROZ, M. J., BERTOLA, N., MOBILI, P., PINOTTI, A., and GÓMEZ-ZAVAGLIA, A., 2014. Edible methylcellulose-based films containing fructo-oligosaccharides as vehicles for lactic acid bacteria. Food Research International, 64: 560-566.
- ROBLE, C., BRUNTON, N., GORMLEY, R. T., ROSS, P. R., and BUTLER, F., 2010. Development of potentially synbiotic fresh-cut apple slices. Journal of Functional Foods, 2(4): 245-254.
- SAHAN, N., YASAR, K., HAYALOGLU, A. A., KARACA, O. B., and KAYA, A., 2008. Influence of fat replacers on chemical composition, proteolysis, texture profiles, meltability and sensory properties of low-fat Kashar cheese. Journal of Dairy Research, 75(1): 1-7.

- ŞAHİNGİL, D. (2012). Beyaz Peynir Üretiminde Kullanılan Laktik Asit Bakterilerinin Proteoliz, Ace-İnhibisyon Aktivitesi ve Aroma Oluşumuna Etkilerinin Belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Tekirdağ, 163s.
- ŞAHİNGİL, D., HAYALOĞLU, A. A., SIMSEK, O., and OZER, B., 2014. Changes in volatile composition, proteolysis and textural and sensory properties of white-brined cheese: Effects of ripening temperature and adjunct culture. Dairy Science and Technology, 94(6): 603-623.
- SALEM, A., JRIDI, M., ABDELHEDI, O., FAKHFAKH, N., NASRI, M., DEBEAUFORT, F., and ZOUARI, N., 2021. Development and characterization of fish gelatin-based biodegradable film enriched with *Lepidium sativum* extract as active packaging for cheese preservation. Heliyon, 7(10): e08099.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L., QUINTERO SAAVEDRA, J. I., and CHIRALT, A., 2013. Physical properties and antilisterial activity of bioactive edible films containing *Lactobacillus plantarum*. Food Hydrocolloids, 33(1): 92-98.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L., QUINTERO SAAVEDRA, J. I., and CHIRALT, A., 2014. Antilisterial and physical properties of biopolymer films containing lactic acid bacteria. Food Control, 35(1): 200-206.
- SANTACRUZ, S., and CASTRO, M., 2018. Viability of free and encapsulated *Lactobacillus acidophilus* incorporated to cassava starch edible films and its application to Manaba fresh white cheese. LWT – Food Science and Technology, 93: 570-572.
- SARICAOĞLU, F. T., 2018. Mekanik Olarak Ayrılmış Tavuk Eti Proteinlerinden Antioksidan ve Antimikrobiyal Katkılı Yenilebilir Film Üretimi ve Isıl İşlem Görmüş Sucuklarda Kullanımı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tez, Samsun, 285s.
- SARIOĞLU, T., 2005. Yenilebilir Filmlerin Kaşar Peynirinin Kaplanması Kullanılma Olanakları ve Peynir Kalitesi Üzerine Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 57s.
- SARIOĞLU, T., ve ÖNER, Z., 2006. Yenilebilir filmlerin kaşar peynirinin kaplanmasında kullanılma olanakları ve peynir kalitesi üzerine etkileri. Gıda, 31(1): 3–10.
- SCHOU, M., LONGARES, A., MONTESINOS-HERRERO, C., MONAHAN, F. J., O'RIORDAN, D., and O'SULLIVAN, M., 2005. Properties of edible sodium caseinate films and their application as food wrapping. LWT-Food Science and Technology, 38(6): 605-610.
- SCHWAB, C., VOGEL, R., and GÄNZLE, M. G., 2007. Influence of oligosaccharides on the viability and membrane properties of *Lactobacillus reuteri* TMW1.106 during freeze-drying. Cryobiology, 55(2): 108-114.
- SENOK, A. C., ISMAEEL, A. Y., and BOTTA, G. A., 2005. Probiotics: Facts and myths. Clinical Microbiology and Infection, 11(12): 958-966.
- SETYAWARDANI, T., RAHARDJO, A. H. D., and SULISTYOWATI, M., 2017. Chemical characteristics of goat cheese with different percentages of mixed indigenous probiotic culture during ripening. Media Peternakan, 40(1): 55-62.
- SEVİNÇ, B., 2021. *Yarrowia lipolytica*, *Debaryomyces hansenii* ve *Kluyveromyces lactis* Suşlarının Beyaz Peynir Üretiminde Yardımcı Kültür Olarak Kullanımı. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 69s.

- SHAHRAMPOUR, D., KHOMEIRI, M., RAZAVI, S. M. A., and KASHIRI, M., 2020. Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45. *LWT – Food Science and Technology*, 118: 108758.
- SHIGEMATSU, E., DORTA, C., RODRIGUES, F. J., CEDRAN, M. F., GIANNONI, J. A., OSHIWA, M., and MAURO, M. A., 2018. Edible coating with probiotic as a quality factor for minimally processed carrots. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9): 3712-3720.
- SIEW, D. C. W., HEILMANN, C., EASTEAL, A. J., and COONEY, R. P., 1999. Solution and film properties of sodium caseinate/glycerol and sodium caseinate/polyethylene glycol edible coating systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(8): 3432-3440.
- SILVA, S. P. M., RIBEIRO, S. C., TEIXEIRA, J. A., and SILVA, C. C. G., 2022. Application of an alginate-based edible coating with bacteriocin-producing *Lactococcus* strains in fresh cheese preservation. *LWT-Food Science and Technology*, 153: 112486.
- SINGH, P., MAGALHÃES, S., ALVES, L., ANTUNES, F., MIGUEL, M., LINDMAN, B., and MEDRONHO, B., 2019. Cellulose-based edible films for probiotic entrapment. *Food Hydrocolloids*, 88: 68-74.
- SKURTYS, O., ACEVEDO, C., PEDRESCHI, F., ENRONOE, J., OSORIO, F., and AGUILERA, J. M., 2014. Food hydrocolloid edible films and coatings. In *food hydrocolloid edible films and coatings*. Nova Science Publishers, USA.
- SOLEIMANI-RAMBOD, A., ZOMORODI, S., RAEISI, S. N., ASL, A. K., and SHAHIDI, S. A., 2018. The effect of xanthan gum and flaxseed mucilage as edible coatings in Cheddar cheese during ripening. *Coatings*, 8(2): 80.
- SOŁOWIEJ, B., GLIBOWSKI, P., MUSZYŃSKI, S., WYDRYCH, J., GAWRON, A., and JELIŃSKI, T., 2015. The effect of fat replacement by inulin on the physicochemical properties and microstructure of acid casein processed cheese analogues with added whey protein polymers. *Food Hydrocolloids*, 44: 1-11.
- SOTHORNVIT, R., and KROCHTA, J. M., 2000. Oxygen permeability and mechanical properties of films from hydrolyzed whey protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(9): 3913-3916.
- SOTHORNVIT, R., and KROCHTA, J. M., 2005. Plasticizers in edible films and coatings. *Innovations in Food Packaging*, pp. 403-433, Elsevier Academic Press.
- SOUKOULIS, C., BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S., MACNAUGHTAN, W., PARMENTER, C., and FISK, I. D., 2017. Stability of *Lactobacillus rhamnosus* GG incorporated in edible films: Impact of anionic biopolymers and whey protein concentrate. *Food Hydrocolloids*, 70: 345-355.
- SOUKOULIS, C., BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S., YONEKURA, L., PARMENTER, C., and FISK, I. D., 2014a. Stability of *Lactobacillus rhamnosus* GG in prebiotic edible films. *Food Chemistry*, 159: 302-308.
- SOUKOULIS, C., SINGH, P., MACNAUGHTAN, W., PARMENTER, C., and FISK, I. D., 2016. Compositional and physicochemical factors governing the viability of *Lactobacillus rhamnosus* GG embedded in starch-protein based edible films. *Food Hydrocolloids*, 52: 876-887.
- SOUKOULIS, C., YONEKURA, L., GAN, H. H., BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S., PARMENTER, C., and FISK, I., 2014b. Probiotic edible films as a new strategy

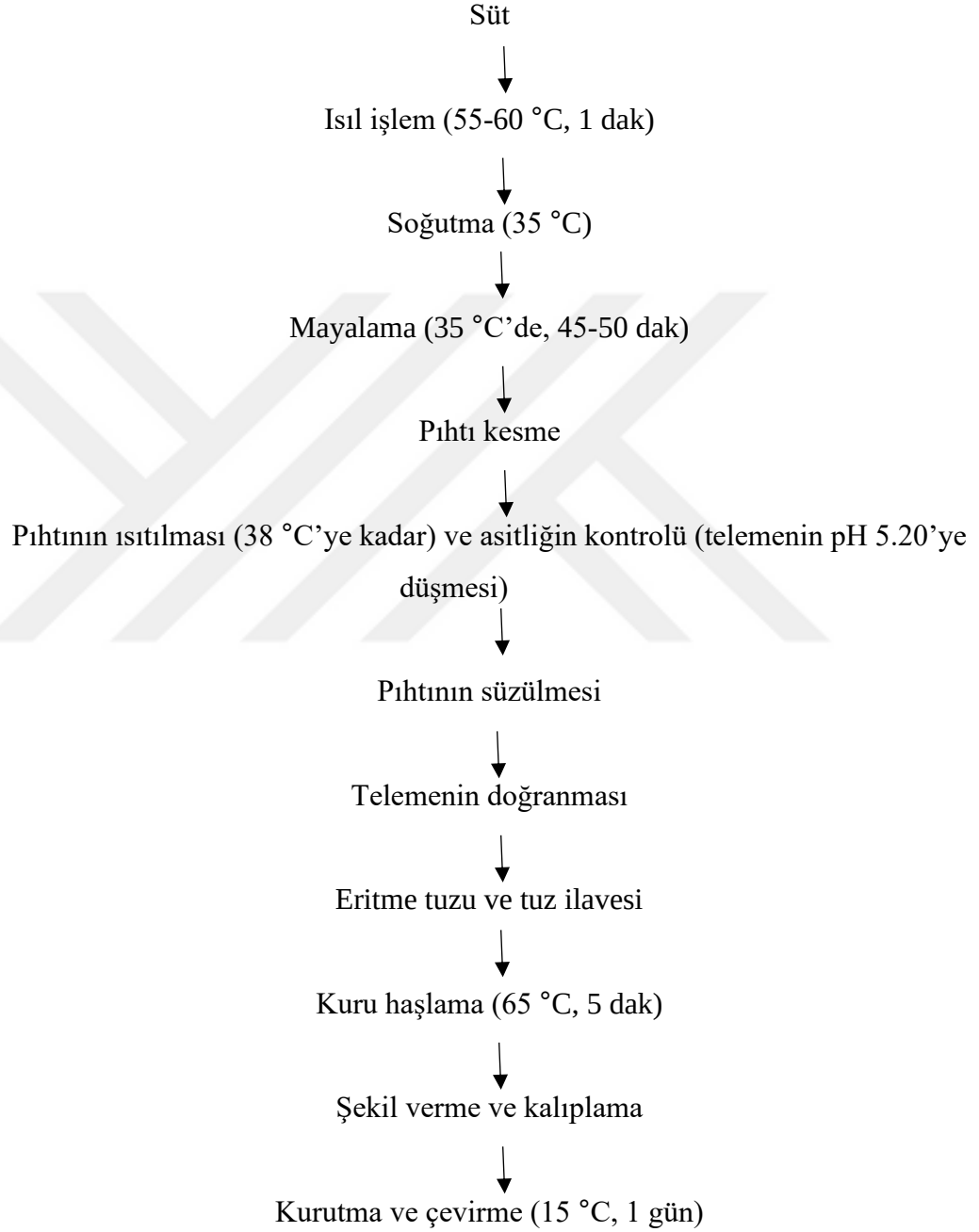
- for developing functional bakery products: The case of pan bread. *Food Hydrocolloids*, 39: 231-242.
- SOUZA, B. W. S., CERQUEIRA, M. A., TEIXEIRA, J. A., and VICENTE, A. A., 2010. The use of electric fields for edible coatings and films development and production: A review. *Food Engineering Reviews*, 2(4): 244-255.
- SZCZESNIAK, A. S., 2002. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4): 215-225.
- TALWALKAR, A., MILLER, C. W., KAILASAPATHY, K., and NGUYEN, M. H., 2004. Effect of packaging materials and dissolved oxygen on the survival of probiotic bacteria in yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 39(6): 605-611.
- TANG, Y., XIE, F., ZHANG, D., ZHU, M., LIU, L., LIU, P., and GU, C., 2015. Physical properties and prebiotic activity of maize starch-based functional films. *Starch/Staerke*, 67(1-2): 124-131.
- TAPIA, M. S., ROJAS-GRAÜ, M. A., RODRÍGUEZ, F. J., RAMÍREZ, J., CARMONA, A., and MARTIN-BELLOSO, O., 2007. Alginate- and gellan-based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *Journal of Food Science*, 72(4): 190-196.
- TAVERA-QUIROZ, M. J., ROMANO, N., MOBILI, P., PINOTTI, A., GÓMEZ-ZAVAGLIA, A., and BERTOLA, N., 2015. Green apple baked snacks functionalized with edible coatings of methylcellulose containing *Lactobacillus plantarum*. *Journal of Functional Foods*, 16: 164-173.
- TEMİZ, H., 2010. Effect of modified atmosphere packaging on characteristics of sliced Kashar cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(5): 926-943.
- TEMİZ, H., ve YEŞİLSU, A. F., 2006. Bitkisel protein kaynaklı yenilebilir film ve kaplamalar. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2): 41-50.
- TOMAR, O., 2019. The effects of probiotic cultures on the organic acid content, texture profile and sensory attributes of Tulum cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 72(2): 218-228.
- TORLAK, E., ve NİZAMLIOĞLU, M., 2009. Uçucu yağ içeren yenilebilir kitosan filmlerinin *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* O157:H7 üzerine etkinlikleri. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 17: 12-129.
- TOSUN, İ., 2021. Farklı Üretim Formülasyonları ve Depolama Sürelerinin Blok Tip Eritme Peynirlerinin Kalite Kriterleri Üzerindeki Etkileri. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa, 70s.
- TSE, 1989. Kaşar Peyniri Standardı, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.
- TUNICK, M. H., 2000. Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. *Journal of Dairy Science*, 83(8): 1892-1898.
- TURAL, S., 2016. Hamsi Atıklarından Antimikrobiyal ve Antioksidan Katkılı Yenilebilir Film Üretimi ve Hamsi Filetolarında Kullanımı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Samsun, 173s.
- TURAL, S., SARICAOĞLU, F. T., ve TURHAN, S., 2017. Yenilebilir film ve kaplamalar: üretimleri, uygulama yöntemleri, fonksiyonları ve kashi gıdalarda kullanımları. *Akademik Gıda*, 15(1): 84-84.
- TURAL, S., and TURHAN, S., 2017. Properties of edible films made from anchovy by-product proteins and determination of optimum protein and glycerol

- concentration by the TOPSIS method. Journal of Aquatic Food Product Technology, 26(6): 640-654.
- TURE, H., EROGLU, E., OZEN, B., and SOYER, F., 2011. Effect of biopolymers containing natamycin against *Aspergillus niger* and *Penicillium roquefortii* on fresh Kashar cheese. International Journal of Food Science and Technology, 46(1): 154-160.
- TURHAN, K. N., 1999. Degrade Olabilen Metilselüloz Esaslı Filmlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 80s.
- TUTA ŞİMŞEK, S., 2019. Vacuum-combined baking to enhance quality properties of gluten-free cake: Multi-response optimization study. LWT – Food Science and Technology, 116: 108557.
- UZUN, Y. S., 2006. Probiyotik Karakterli *Lactobacillus acidophilus* LA-5 ve *Bifidobacterium bifidum* BB-12'nin Kaşar Peynirinde Haşlama ve Kuru Tuzlama İşlemlerine Karşı Dirençlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 71s.
- ÜNALAN, I. U., ARCAN, I., KOREL, F., and YEMENICIOĞLU, A., 2013. Application of active zein-based films with controlled release properties to control *Listeria monocytogenes* growth and lipid oxidation in fresh Kashar cheese. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 20: 208-214.
- USTUNOL, Z., 2009. Edible films and coatings for meat and poultry. In edible films and coatings for food applications, pp. 245-268, Springer, New York, NY.
- VINDEROLA, C. G., and REINHEIMER, J. A., 2003. Lactic acid starter and probiotic bacteria: A comparative “in vitro” study of probiotic characteristics and biological barrier resistance. Food Research International, 36(9–10): 895-904.
- WAGH, Y. R., PUSHPADASS, H. A., EMERALD, F. M. E., and NATH, B. S., 2014. Preparation and characterization of milk protein films and their application for packaging of Cheddar cheese. Journal of Food Science and Technology, 51(12): 3767-3775.
- WANG, Y., J. W., and CHAUDHRY, S. S., 2014. A hybrid approach for the evaluation of supermarket food safety. Journal of Management Analytics, 1(2): 156-167.
- WEBER, C. J., HAUGAARD, V., FESTERSEN, R., and BERTELSEN, G., 2002. Production and applications of biobased packaging materials for the food industry. Food Additives and Contaminants, 19: 172-177.
- XU, J., XIA, R., YUAN, T., and SUN, R., 2019. Use of xylooligosaccharides (XOS) in hemicelluloses/chitosan-based films reinforced by cellulose nanofiber: Effect on physicochemical properties. Food Chemistry, 298: 125041.
- YAKALI, H. N., 2021. Ticari Kaşar ve Kaşar Benzeri Eritme Peynirlerinin Bazı Özellikleri ve Peynirlerin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Yöntemiyle Ayrıştırılması. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Burdur, 73s.
- YALÇIN, Ü., 2017. Sodyum Kazeinat veya Kitosan Kaynaklı Yenilebilir Filmlerin Kaşar Peynirinin Kalitesi ve Raf Ömrüne Etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van, 51s.
- YALÇINKAYA, İ., ve LEBLEBİCİLER, Ö. D. Y., 2012. Prebiyotik olarak kullanılan sindirilmeyen oligosakkaritlerin kanatlı beslemedeki önemi. Kocatepe Veterinary Journal, 5(1): 29-35.

- YALÇIN, Ü., ANDİÇ, S., and AKKOL, S., 2021. The Effect of sodium caseinate or chitosan edible coatings on some chemical textural and microbiological characteristics of Kashar cheese. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1): 290-302.
- YE, J., MA, D., QIN, W., and LIU, Y., 2018. Physical and antibacterial properties of sodium alginate-sodium carboxymethylcellulose films containing *Lactococcus lactis*. *Molecules*, 23(10): 2645.
- YERLIKAYA, O., and OZER, E., 2014. Production of probiotic fresh white cheese using co-culture with *Streptococcus thermophilus*. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(3): 471-477.
- YILMAZ, L., AKPINAR, A., ve ÖZCAN YILSAY, T., 2007. Süt proteinlerinin yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılması. 1: 59-64.
- YOUSSEF, A. M., ASSEM, F. M., EL-SAYED, S. M., SALAMA, H., and ABD EL-SALAM, M. H., 2017. Utilization of edible films and coatings as packaging materials for preservation of cheeses. *Journal of Packaging Technology and Research*, 1(2): 87-99.
- YÜKSEL, R., 2019. Diyet Blok Tip Eritme Peyniri Üretiminde Yağ İkame Maddesi Olarak Yumurta Kullanımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 69s.
- ZABIHOLLAHI, N., ALIZADEH, A., ALMASI, H., HANIFIAN, S., and HAMISHEKAR, H., 2020. Development and characterization of carboxymethyl cellulose based probiotic nanocomposite film containing cellulose nanofiber and inulin for chicken fillet shelf life extension. *International Journal of Biological Macromolecules*, 160: 409-417.
- ZHONG, Y., CAVENDER, G., and ZHAO, Y., 2014. Investigation of different coating application methods on the performance of edible coatings on Mozzarella cheese. *LWT-Food Science and Technology*, 56(1): 1-8.
- ZISU, B., and SHAH, N. P., 2005. Textural and functional changes in low-fat Mozzarella cheeses in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat replacers, pre-acidification and EPS starter. *International Dairy Journal*, 15(6-9): 957-972.
- ZOGHI, A., KHOSRAVI-DARANI, K., and MOHAMMADI, R., 2020. Application of edible films containing probiotics in food products. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 15(4): 307-320.
- ZONOUBI, R., and GOLI, M., 2021. The effect of complete replacing sodium with potassium, calcium, and magnesium brine on sodium-free ultrafiltration Feta cheese at the end of the 60-day ripening period: Physicochemical, proteolysis–lipolysis indices, microbial, colorimetric, and sensory. *Food Science and Nutrition*, 9(2): 866-874.

EKLER

Ek 1. Eritme peyniri üretimi



Ek 2. Taze peynirin bileşimi

pH	6.03±0.01
Kurumadde (%)	54.98±0.07
Yağ (%)	21.00±0.35
Protein (%)	28.91±0.29
Kül (%)	3.81±0.04

Ek 3. Peynir dilimlerinin kaplanması



Ek 4. Duyusal Değerlendirme Formu

Panelist Ad-Soyadı:

Tarih:

Size verilen peynir örneklerini belirtilen kalite kriterleri açısından değerlendirip 9 puan üzerinden puanlandırınız (9: çok iyi, 1: çok kötü). Ayrıca peynir örneklerinde puan düşmesine neden olan kusuru veya kusurları işaretleyiniz.

Teşekkürler.

Kalite Karakteristiği	Örnek Kodları				
	365	782	149	837	325
RENK					
Anormal renk gelişimi					
Donuk renk					
Homojen olmayan renk					
GÖRÜNÜŞ					
Lekeli					
Gözenekli					
Pürüzlü					
Mat					
Çatlak					
YAPI VE DOKU					
Kuru					
Lastik gibi					
Sert					
Yumuşak					
Kırılgan					
Elastik					
Teberişimsi					
TAT VE LEZZET					
Tuzlu					
Yavan					
Ekşi					
Acı					
Küfümsü					
Sabunumsu					
Pasımsı					
Tarifsiz bir tat					
GENEL BEĞENİ					