



Süt Ürünlerinin Mikro Yapısının Oluşumunda Süt Proteinlerinin Önemi

Tuğçe ÖZDEMİR¹, Tülay ÖZCAN^{1*}

Özet: Yüksek besin değerine sahip süt ürünlerinin özelliklerinin belirlenmesinde oluşan jelin mikro yapısının incelenmesi oldukça önemlidir. Mikro yapı çalışmaları, yoğurdun iç görünüşü hakkında verdiği sonuçların yanı sıra katılık, yumuşaklık, esneklik ve serum ayrılması gibi fiziksel özellikler hakkında da bilgiler sağlamaktadır. Aynı şekilde peynir, bileşim faktörlerine, işleme teknikleri ve depolama koşulları sırasındaki değişikliklere bağlı olarak aynı peynir çeşidinde bile farklılıklara neden olan karmaşık bir makro ve mikro yapıya sahiptir. Mikro yapı ayrıca dondurmanın ve diğer süt bazlı ürünlerin kalite parametrelerini de belirlemektedir. Bu yüzden, süt ürünlerinde mikro yapı ve kaliteyi neyin belirlediğini anlayabilmek için, işlem sırasında oluşan fiziksel ve kimyasal mekanizmaların anlaşılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dondurma, mikro yapı, peynir, süt proteini, tekstür, yoğurt.

The Importance of Milk Proteins on the Formation of Microstructure of Dairy Product

Abstract: It is very important to examine the microstructure of gel in determining the properties of milk products with high nutritional value. Micro structuring studies provide information on physical properties such as firmness, softness, resilience and serum separation, as well as the results of the internal appearance of the yogurt. In the same way, cheese has a complex macro and micro structure that causes differences, even within

* **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹ Tülay ÖZCAN, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa Türkiye, tulayozcan@uludag.edu.tr, [OrcID 0000-0002-0223-3807](https://orcid.org/0000-0002-0223-3807)

¹ Tuğçe ÖZDEMİR, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa Türkiye, tcgzdemir@gmail.com, [OrcID 0000-0001-5605-9034](https://orcid.org/0000-0001-5605-9034)

the same variety of cheese, which depend on compositional factors, their changes during processing techniques and storage conditions. Microstructure also identifies quality parameters of ice cream and other dairy based products. Therefore, in order to understand what determines dairy products microstructure and quality, it is necessary to have an understanding of the physical and chemical mechanisms that occur during processing.

Keywords: Cheese, ice cream, milk proteins, microstructure, texture, yoğurt.

Giriş

Son yıllarda, süt ürünleri matrisi ve bu sistemde süt bileşenlerinin karşılıklı etkileşimi konusundaki çalışmalar giderek önem kazanmaktadır. Peynir, yoğurt, dondurma, krema ve sütlü tatlıların mikro yapıları ise, tekstür, çözünürlük, akış, visko-elastisite ve kırılabilirlik özellikleri gibi kalite parametreleri üzerinde etkili olmaktadır. Mikro yapı genel anlamda proteinler, karbonhidratlar, lipitler ve mikro ölçekteki diğer yapısal bileşenlerin ortak etkileşimi ile şekillenmektedir (Fenelon ve Guinee, 2000; Rybak, 2014).

Temel mikro yapı bileşeni olan ve yüksek besin değerine sahip süt proteinleri, teknolojik anlamda gıdaların tekstürel özelliklerinin geliştirilmesi, kıvam artırma, jel oluşumunu güçlendirme, emülsiyon oluşturma, su tutma ve serum ayrılmasını engelleme, aroma oluşumu ve ısı kararlılığı gibi fonksiyonel özellikleri ile gıdalarda büyük ölçüde kullanılmaktadır (O'Mahony ve ark., 2008; Özcan ve Delikanlı, 2011).

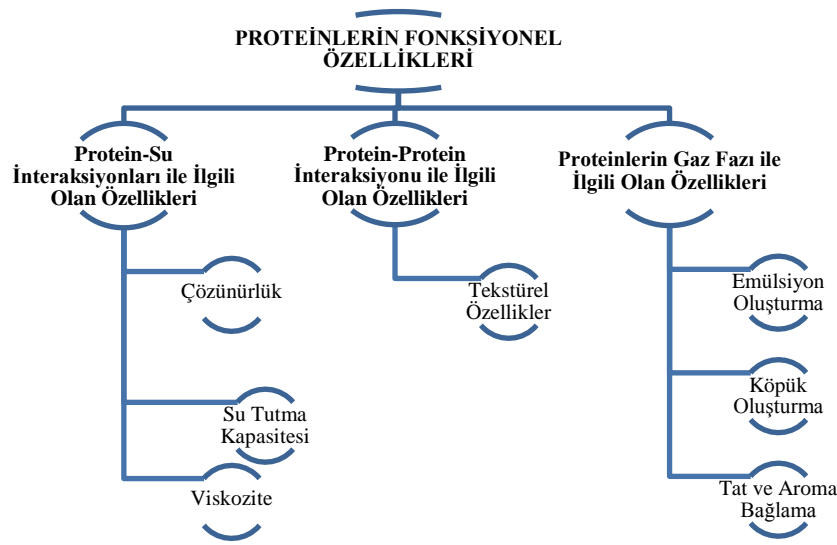
Fermente Süt Ürünlerinde Proteinler

Proteinler insanların büyüme ve gelişmeleri için gerekli olan temel bileşenlerin başında gelmektedir. Proteinlerin fonksiyonel özellikleri genellikle su bağlama, çözünürlük, viskozite ve jelleşmeyi içermektedir. Emülsiyon oluşturma, köpük ve film oluşumu gibi fonksiyonel özellikler ise, proteinlerin yüzey aktif özellikleriyle ilişkilidir. Proteinler gıda proseslerinde kullanıldıkları zaman genellikle aynı anda birçok bağımlı fonksiyonel özelliği de birlikte gösterebilmektedir (Kaufmann ve Palzer, 2011; Patel ve Manager, 2017).

Gıdalarda, duyuşal değişikliklerin stabilizasyonu için bir mikro ve makro yapısal tasarım önemli olmaktadır. Gıdaların emülsiyon veya jel özellikleri, ürünün tekstürüne daha fazla miktarda suyun bağlanabilmesini sağlamaktadır. Proteinler ve polisakkaritler gibi gıda biyo-polimerleri, çeşitli gıda emülsiyonlarının iç ve dış sulu fazlarında verim ve stabiliteyi geliştirmek amacıyla etkili olabilmektedirler. Bununla birlikte, belirtilen sistemlerde, biyo-polimerler (örneğin proteinler) gibi yüzey aktif moleküllerin veya ara yüzeyde bulunan katı parçacıkların etkili bir şekilde stabilize edilmesi gerekmektedir. (Dickinson, 2011; Kaufmann ve Palzer, 2011).

Süt proteinlerinin fonksiyonel özellikleri; protein-su interaksyonu, protein-protein interaksyonu ve proteinlerin gaz fazı ile ilgili özellikleri olarak da tanımlanmaktadır. Şekil 1'de süt proteinlerinin fonksiyonel özellikleri belirtilmiştir (Özcan ve Delikanlı, 2011). Proteinlerin, protein-su interaksyonları ile ilgili olan özellikleri; proteinlerin çözünürlük, su tutma kapasitesine sahip olma ve viskozitenin iyileştirilmesine katkıda

bulunarak kendi aralarında kümeleşme, şişme özelliklerini kullanarak bir ağ yapısı oluşturmaları nedeniyle yağ partiküllerinin yapıda stabil şekilde bulunmalarına ve emülsiyon özelliklerinin iyileşmesine katkıda bulunmaktadır. Protein-protein interaksyonu ile ilgili olan özellik ise ürünün tekstürel özelliklerini ve özellikle mikro yapısını belirleyici niteliktedir. Protein jelleşmesi, pıhtılaşma, kıvam artırma ve köpük stabilizasyonu tekstürel özellikleri belirleyici faktörler arasındadır. Proteinlerin gaz fazı ile ilgili olan özellikleri ise emülsiyon oluşturma, hava hücreleri yardımıyla köpük oluşturma ve aroma bileşenlerinin proteinlere bağlanması sebebiyle ürünlere tat ve aroma kazandırmaktadır (Karagözlü ve Bayarer, 2004; Özcan ve Delikanlı, 2011).



Şekil 1. Süt proteinlerinin fonksiyonel özellikleri

Süt teknolojisinde, proteinlerin su bağlama ve hidrolizasyon özellikleri, süt ürünlerinin istenilen reolojik ve tekstürel özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Bu özellikler aynı zamanda ürünlerin duyu özellikleri üzerinde de belirleyicidir (Rybak, 2014). Proteinlerde hidrasyonun oluşumunda rol oynayan faktörler; i) proteindeki polar gruplar arasındaki elektrostatik değişim ve ii) su moleküllerinin dipol güçleridir (Raikos, 2010). Bazı proteinler suda koloidal olarak çözünürken bazıları ise hiç çözünmemektedir. Koloidal bir protein çözeltisindeki protein molekülleri su molekülleri tarafından kuşatılarak hidrasyon olayını meydana getirmektedir. Proteinler güçlü su bağlama özelliğindedirler ve ne kadar fazla elektrik yüküne sahip iseler o kadar fazla su bağlarlar (Fox ve Mcsweeney, 2003).

Proteinlerin jelleşmesi iki basamaklı bir reaksiyonla gerçekleşmektedir. İlk basamakta hidrojen ve disülfid bağları zayıflayarak kopmaktadır. Böylece proteinin doğal yapısı bozulmakta ve konformasyonel değişiklikler meydana gelmektedir. İkinci aşamada ayrılmış ve denatüre olmuş protein moleküllerinin polimerizasyonu gerçekleşmektedir. Jelleşme reaksiyonu protein-protein ve protein-su arasında uygun bir itme-çekme dengesini gerektirmektedir. Protein konsantrasyonu, pH, iyonik kompozisyon, sıcaklık ve ısıtma oranı yarı şeffaf, elastik

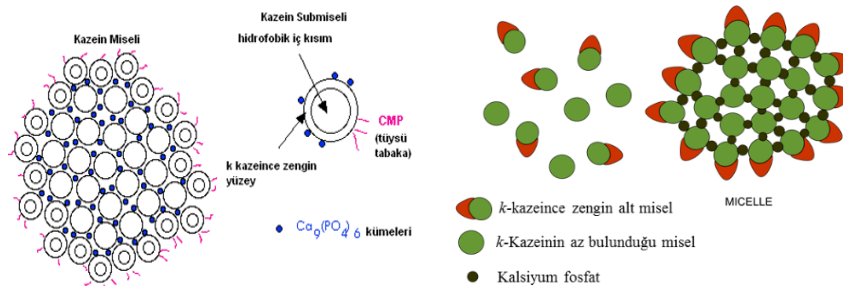
jel yapısının elde edilebilmesi için önemli kontrol parametreleri olarak görülmektedir (Akgül ve Karaman, 2017).

Süt proteinleri, mükemmel bir emülsiyon oluşturma özelliğine sahiptir ve bu nedenle birçok gıda matrisinde mikro yapıyı belirleyen bir faktör olarak bu özelliği ile kullanılmaktadır. Örneğin emülsiyon stabilitesinin ve kapasitesinin yüksek olması peynir altı suyu proteinlerinin yağ oranı yüksek ürünlerin üretiminde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Hemar ve ark., 2000; Özcan ve Delikanlı, 2011). Köpürme özelliği süt proteinlerinin bir diğer önemli fonksiyonel özelliğini oluşturmaktadır. Süt proteinleri yüzey aktif olduğundan, köpük oluşumu sırasında hava-su ara yüzünü stabilize etme yeteneğine sahiptirler (Bolliger ve ark., 2000). Gıda emülsiyonlarının ve köpüklerin yapısı, sistem içindeki fonksiyonu son ürünün reolojik özelliklerini (özellikle ağızda hissedilen) etkileyeceğinden orijinal ürün ile eşleşecek şekilde uyarlanmalıdır (Lee ve Lucey, 2010; Kaufmann ve Palzer, 2011).

Protein bazlı köpüklerin oluşumu için esas olan, yüzey gerilimini azaltmak için proteinin kısmi açılımını takiben proteinin hava-su ara yüzüne hızlı difüzyonudur (Rybak, 2014). Kazeinler genellikle daha yüksek köpük kaplaması gösterirken, peynir altı suyu proteinleri daha az stabil olan köpük oluşturmaktadırlar. Peynir altı suyu proteinleri, köpük kabarcığını çevreleyen yapışkan bir yapı oluşturarak mükemmel yüzey aktif madde özelliği taşımaktadırlar (Lee ve Lucey, 2010).

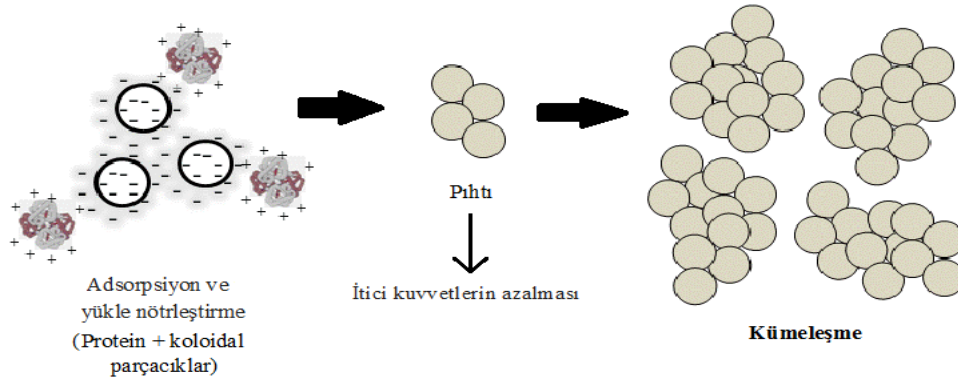
Fermente süt ürünlerinde pıhtılaşma, protein fraksiyonlarının stabilizasyonunun bozulması sonucu sütün sıvı halden jel hale geçmesidir. Taze sütte kazeinler stabil durumdadırlar ve net negatif elektriksel yük dağılımına sahiptirler. Misellerin yüzeyindeki hidrofilik C-terminal ucu ayrılırsa (örneğin rennet/peynir mayası ile) miseller çözünürlüğünü kaybederek kümeleşmeye başlamakta ve kazein pıhtısını oluşturmaktadır. Kazein misellerinin bu yapısı Şekil 2’de verilmiştir (Bolliger ve ark., 2000; Phadungath, 2005; de Kruif ve ark., 2012).

Kazein, hidrofİL ve hidrofobik alanların iyi dengelenmiş bir dağılımı ve yağ-su ara yüzünde güçlü bir şekilde etkileşime girmelerine izin veren yüksek derecede üç boyutlu (konformasyonel) esneklik ile yüksek yüzey hidrofobikliğine sahiptir (Fox ve Mcsweeney, 2003; Thompson ve ark., 2009). Peynir altı suyu proteinleri ise aynı koşullar altında kazein ile şekillenen yapıdan daha az kararlı yapıdadır. Proteinlerin aktivitesi, damlacık-boyut dağılımının durumunu, proteinlerin emülsiyon oluşturma kapasitesini, emülsiyon oluşumu sırasındaki enerji girdisini ve çeşitli faktörlerin (pH, sıcaklık, iyonik kuvvet ve iki fazın oranı gibi) yüzey üzerindeki etkilerini yansıtmaktadır (Thompson ve ark., 2009; Younes, 2017).



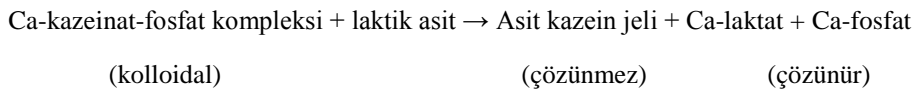
Şekil 2. Kazein misellerinin yapısı

Kazein asitliğe karşı duyarlıdır ve izoelektrik noktada çökmektedir (Palzer, 2009). Sütün asitliğinin artması kazeinlerin asidik karakterdeki fonksiyonel gruplarının (aspartik asit, glutamik asit ve fosforerik rezidüleri) iyonizasyon yeteneğini zayıflatmaktadır. Bu durum, kazein misellerinin yüzey potansiyellerinin azalmasına ve kazeinlerin (α - ve β) kalsiyum bağlama kapasitelerinin düşmesine, kalsiyumun çözünürlüğünün artmasına yol açmaktadır. Misel yapısında önemli rolleri olan kalsiyum ve fosfatın misellerden ayrılması, miselleri oluşturan alt misellerin agregasyonunu zayıflatmaktadır. Sütün pH 4.6'ya düşmesiyle yükün nötrlenmesi ve hidrasyonun önemli ölçüde azalması, kazeinin koloidal durumunu kaybederek çökmesine neden olmaktadır. Şekil 3'de de görüldüğü gibi oluşan pıhtı bir asit pıhtısı olup önemli ölçüde modifiye olmuş alt miseller (ya da kazein molekülleri) ve bunların arasına hapsedilmiş su fazından oluşan bir protein ağı niteliği taşımaktadır (Fox ve Brodtkorb, 2008; Younes, 2017)



Şekil 3. Sütün asitle pıhtılaşmasında misel yapısındaki değişiklikler

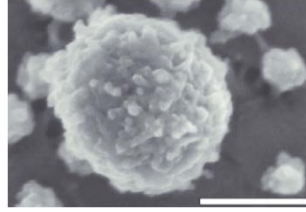
Asit pıhtısının mikro yapısını etkileyen reolojik karakteristikleri genel olarak sütün niteliklerine (protein konsantrasyonu vb.) ve asidifikasyon koşullarına (sıcaklık, asidifikasyon oranı, fermantasyon sonu pH'sı vb.) bağlı olmaktadır. Bu dönüşüm aşağıdaki gibi gösterilebilir (Ye, 2011):



Süt Ürünlerinde Mikro Yapı

Tekstür, birçok gıda maddesinde olduğu gibi süt ürünleri için de tüketici açısından önemli bir değerlendirme ölçütüdür. Tekstür ölçümlerinden süt ürünlerinin kalite kontrolünde, ürün iyileştirmede ya da geliştirmede yararlanılmaktadır. Süt ürünlerinin herhangi bir yapısal özelliğini iyileştirmek için bir proses uygulandığında, bunların etkisi reolojik ölçümler, TPA (Texture Profile Analysis) ve mikro yapı analizleri ile etkili bir şekilde ortaya konulabilmektedir (Fisher ve Windhad, 2011; Özcan, 2013).

Süt ürünlerinin mikro yapısının incelenmesi ışık (Fluorescence microscopy) ve elektron mikroskobu (SEM/confocal scanning laser microscopy) gibi görsel gözlem teknikleri ile saptanabilmektedir. Ayrıca, bir sistemdeki çeşitli bileşenler arasındaki etkileşim de bu mikro-yapının görüntülenmesi ile incelenebilmektedir. Bu sebeple de görsel gözlem teknikleri, gıdaların mikro yapısı analizlerinde kullanılan önemli bir faktör olarak görülmektedir (Pereira ve ark., 2009; Ozcan ve ark., 2015). Şekil 4’de kazein molekülünün mikroskobik görüntüsü görülmektedir (Dalglish ve ark., 2004).



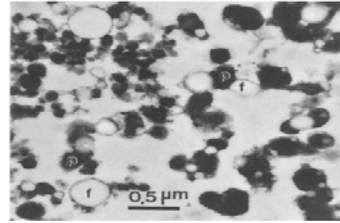
Şekil 4. Sütte bulunan kazein miselleri

Elektron mikroskobu çalışmalarına göre kazein misellerinin düzgün olmayan frambuaz gibi bir görünüşe sahip olduğu ortaya konulmuştur. Kazeinlerin alt misel yapısıyla ilgili model yıllardır kabul edilmekle beraber elektron mikroskobunun gelişimiyle yeni modeller de önerilmiştir. İlk kabul edilen alt misel yapısında kazein misellerinin yaklaşık 5×10^6 Da molekül ağırlığına sahip alt misellerden oluştuğu belirtilmektedir. Sütün kalsiyum konsantrasyonunda çözünür durumda olan κ -kazein burada kendi ağırlığının 10 katı kadar kalsiyuma hassas olan kazeinleri de etkileyerek kazein miselini stabilize etmektedir (Fox ve Mcsweeney, 2003).

Süt proteinleri, su ve yağ tutan ve yapısal destek sağlayan sert, ısı ile indüklenen geri dönüşümsüz jeller oluşturabilme özelliğine sahiptirler (Rybak, 2014). Süt proteinlerinin reaksiyonlarında, süte asit veya rennet/peynir mayası ilave edildikten sonra jelleşebilme özellikleri süt ürünlerinin üretiminde temel mekanizmalardır. Süt proteinlerinin jelleşmesi hem peynir hem de fermente süt ürünlerinin üretiminde önemli ilk adımdır. Bununla birlikte, proteinlerin koagülasyonu ise iki teknolojiye de farklı olmaktadır. Genel olarak, jel oluşumu için bir protein çözeltisinin proteinlerin minimum denatürasyon sıcaklığının üzerine ısıtılması gerekmektedir. Protein konsantrasyonu arttıkça, moleküller arasındaki potansiyel etkileşim sayısı artmakta, böylece jel kuvveti de artarak, jelleşme süresi kısalmakta ve daha ince bir jel ağı ve homojen bir mikro yapı oluşmaktadır. Jel sertliği de, artan ısıtma sıcaklığı ve diğer faktörlerin de devam ettiği zamana bağlı olarak artmaktadır. Peynir altı suyu protein jellerinin kuvveti, proteinin konsantrasyonu ve saflığından etkilenmektedir. 10°C ve 100°C 'de ısıtma üzerine pH 7.0'da güçlü bir jel oluşturmak için %7.5 veya daha yüksek bir protein konsantrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır (Fox ve Mcsweeney, 2003; Rybak, 2014).

Isıtma hızı da jelleşme sürecini etkilemektedir. Yavaş ısıtma, proteinlerin açılma ve birikme için yeterli zamana izin vererek çok daha güçlü jel oluşumunu sağlamaktadır. Peynir altı suyu proteinleri ve kazeinlerin özellikleri, onların tuzlarla ve ısıl işlem esnasındaki etkileşimlerinde etkili olmakta ve bileşen ya da katkı olarak yer aldığı ürünlerin reolojik özelliklerini etkilemektedir (Rybak, 2014; Akgül ve Karaman, 2017).

Kazein misellerinin mikro yapısal görüntüleri incelendiğinde kısa dallı zincirlerinden oluşmakta (Şekil 5) ve çok küçük gözenekli bir süngere benzemektedir. Yağ içeren ürünlerde ise, büyük yağ globüllerinin varlığı gözeneklerin ve zincirlerin izlenebilirliğini azaltmaktadır (de Kruif ve ark., 2012). Fermente süt ürünlerinin mikro yapısı tüketici tercihi için büyük önem taşımaktadır. Sütün fermentasyonu sırasında, süt proteini olan kazein su ve yağın da içerisinde yer aldığı bir jel ağı oluşturmaktadır. Bu ağın mikro yapısını, jelin genel bileşimi, biyokimyasal özellikleri etkilemektedir. Sıcaklık ve işlem parametreleri de jel özellikleri ve bunun sonucu olarak da süt ürününün tekstürel özelliklerini belirlemektedir (Lee ve Lucey, 2010; Skytte ve ark., 2015). Fermente edilmiş sütün yapısındaki bu değişim ve jelin özellikleri, mikro yapının incelenmesi ve mikroskopik görüntülerle saptanabilmektedir. Değerlendirme ise çoğunlukla protein bağlantıları, bunların miktarları ve gözenek boyutu dağılımı ile karakterize edilmektedir (Lucey ve ark., 1998a).



Şekil 5. Homojenize edilmiş sütteki yağ globülleri (f) ve kazein parçacıklarından oluşan matris (p)

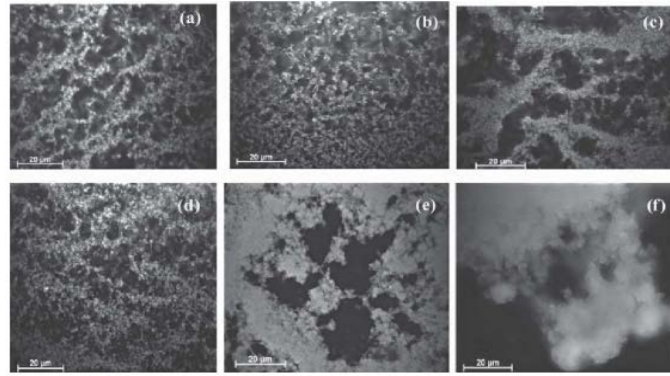
Yoğurt

Yoğurt, fermentasyonunda spesifik olarak *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un simbiyotik kültürleri kullanılarak elde edilen fermente bir süt ürünüdür. (Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği, Tebliğ No:2009/25). Yoğurt pıhtısı, ısı ile teşvik edilmiş bir asit kazein jeli olarak tanımlanmaktadır (Lee ve Lucey, 2004). Buna göre, yoğurt jelinin oluşumu ve son ürünün tekstürel açıdan uygun özelliklere sahip olması için birincil koşul ısı uygulamasıdır. Ayrıca ısı uygulaması, yoğurt üretiminde karakteristik pıhtı stabilitesinin elde edilebilmesi için globüler serum proteinlerinin belirli bir denatürasyon düzeyine ulaşması ve serum proteinleri (özellikle β -laktoglobulin) ile κ -kazein arasında spesifik interaksiyonların teşvik edilmesi açısından da oldukça önemlidir. Uygun tekstürel özelliklere sahip bir yoğurt üretimi için serum proteini denatürasyon oranının $>85-90$ arasında olması istenmektedir. Gerek düşük sıcaklık-uzun süre (LTLT) (63 °C/20 dk), gerekse UHT (135-140 °C /2-6 sn) uygulamaları sonucunda yeterli serum proteini denatürasyon düzeyine erişilemediğinden son üründe zayıf yapı ve serum ayrılması ile sıklıkla karşılaşılmaktadır (Palzer, 2009; Younes, 2017).

Sütün ısı işlemi ve peynir altı suyu proteinlerinin eş zamanlı denatürasyonu asit jelinin özelliklerini etkilemektedir. Süt, $>70^{\circ}\text{C}$ 'de ısıtıldığında, β -laktoglobulin gibi büyük peynir altı suyu proteinleri denatüre olmaktadır (Fox ve Mcsweeney, 2003). Denatürasyon sırasında β -laktoglobulin, disülfit köprüleri aracılığıyla kazein misel yüzeyinde κ -kazein ile etkileşime girmektedir (Lucey ve ark., 1997). Sonuç olarak, kazein misel yüzeyini belirgin derecede daha da irileştiren bir kompleks oluşmaktadır. Yüzeyde oluşan κ -kazein- β -laktoglobulin kompleksi ile kazein miselleri, sınırlı bir kümeleşme kabiliyetine sahip bulunmaktadır. Bu şekilde

de kısa dallı misel zincirleri oluşmaktadır. Denatüre olmuş peynir altı suyu proteininin κ -kazein ile çözünür kompleksleri oluşturması asitleştirme işlemi sırasında miseller yapısı ile de ilişkilidir. Peynir altı suyunun protein denatürasyonunun jel özelliklerine etkisi çeşitli faktörlere bağlı olarak da değişmektedir. Bu jelleşme sırasında öncelikle olarak jel yapısında konsantrasyon artmakta, bu da jel yapısında denatüre edilmiş peynir altı suyu proteinlerinin etkisi ile olmaktadır (ısıtılmamış sütte % 2.8, ısıtılmış sütte % 3.3) (Huppertz ve ark., 2004). İkinci olarak, denatüre edilmiş peynir altı suyu proteinleri kazein misellerinin arasında bir köprü görevi görmektedir. Peynir altı suyu proteinleri reaktif tiyol grupları içerdiğinden, disülfüt etkileşimleri de oluşmaktadır. Bu etkiler protein partikülleri arasındaki bağların sayısını ve kuvvetini artırmaktadır (Patel ve Manager, 2017).

Yoğurt jelinin mikro yapısal ve reolojik özellikleri her ne kadar protein konsantrasyonu ile proteinler arası bağların dengesine bağlı ise de, protein partiküllerinin boyutu, şekli ve protein bağlantı noktalarının jel içerisindeki dağılımları da büyük önem taşımaktadır (Ozcan ve ark., 2011) (Şekil 6).



Şekil 6. (a) Isıtılmış (85 °C' de 30 dakika) süt ve diyaliz uygulanmış % 100 (b),% 107 (c),% 116 (d),% 123 (e) oranında KKP (kolloidal kalsiyum fosfat) arttırılmış süttten üretilen yoğurt jellerinin mikro yapısı. Protein matrisi beyaz, gözenekler karanlık; ölçek çubuğu = 20 μ m

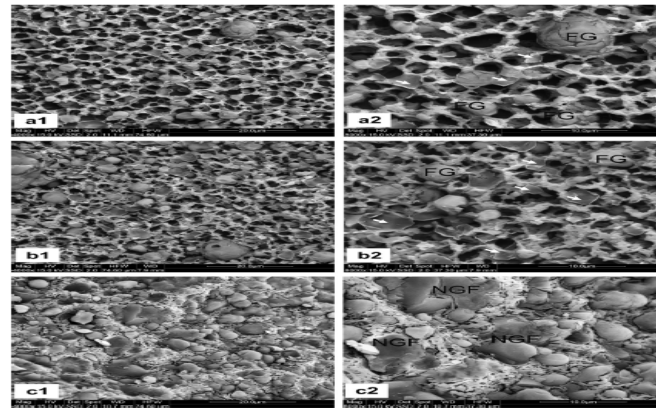
Protein jel ağının mikroskop görüntüleri genellikle reolojik veya duyuşsal değerlendirme ölçüm tekniklerinden gelen sonuçları doğrulamak veya yorumlamak da etkili olmaktadır (Pereira ve ark., 2003; Lee ve Lucey, 2004; Pereira ve ark., 2006; Guggisberg ve ark., 2007). Tekstür görüntüsünün, protein ağı mikro yapısını gösteren mikrograflar ile bir şekilde yorumlanabileceği düşünülürken bir yoğurt tekstürü, protein ağı mikro yapısının incelenmesi ile tanımlanır ve yoğurdun fiziksel özellikleri ile ilişkilendirilmektedir (Lee ve Lucey, 2010; Ozcan ve ark., 2011). Lee ve Lucey (2004) çalışmalarında, yüksek sıcaklıkta (>80°C) ısıtılan süttten elde edilen yoğurt jellerinin düşük sıcaklıkta ısıtılmış süt ile karşılaştırıldığında küçük gözenekli ve daha fazla çapraz bağlı ve dallı bir protein yapısına sahip olduklarını ifade etmişlerdir.

Peynir

Üretimi, süttün jelleşmesi, telemenin oluşması, jelin dehidrasyonu ve pıhtının işlenmesi aşamalarını içeren peynir, yağ ve nemi de içeren yoğun bir protein jelidir. Peynir pıhtısının oluşumunu sağlayan ve pıhtı özellikleri

üzerinde etkili olan proteolitik enzim preparatları hayvanlardan, bitkilerden ve mikroorganizmalardan elde edilen asit proteazlardır (Fenelon ve Guinee, 2000). Sütün enzim ile pıhtılaşması iki aşamada meydana gelmektedir. Proteolitik aşama olarak da adlandırılan birinci aşamada, kazein misellerinin stabilitesini sağlayan κ -kazeinin asit proteazlar (rennin) tarafından hidrolizi sonucunda para- κ -kazein ve gliko-makropeptid molekülü oluşmaktadır. İki değerlikli iyonlar (Ca, P, Mg) içeren para- κ -kazein hidrofobik olup miseller üzerinde tutulurken, hidrofilik karakterdeki kazeino-makropeptid (gliko-makropeptid) moleküllerinin kazein misel yüzeylerinden ayrılması sonucu κ -kazeinin stabil edici etkisi azalmaktadır. κ -kazein molekülündeki gliko-makropeptidlerin %90'ı bu şekilde ayrıldığında enzimatik proteoliz tamamlanmaktadır (Silva ve ark., 2015).

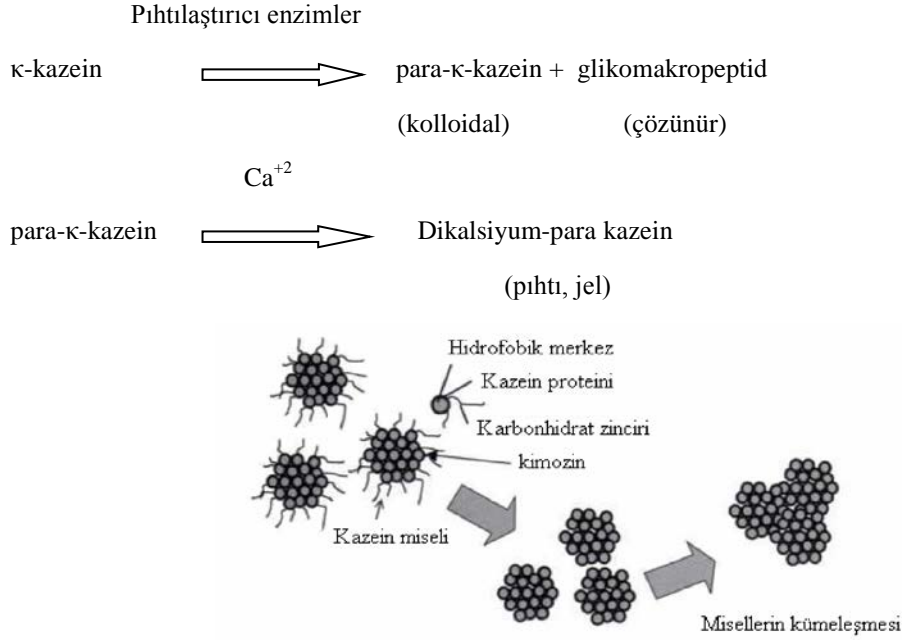
İkinci aşama ise enzimatik olmayan aşama olarak ifade edilmektedir. Misellerdeki κ -kazeinin en az %85'i enzim etkisiyle parçalandıktan sonra, stabilitesi bozulan kazein miselleri Ca^{+2} iyonu varlığında bir araya gelerek misel toplulukları oluşturmaktadır. Bu olay bir agregasyon (kümeleşme) olayıdır ve bir kazein miseli üzerindeki para- κ -kazeinin pozitif yüklü gruplarıyla diğer misel üzerindeki κ -kazeinin negatif yüklü grupları arasındaki etkileşim, misellerin bir araya gelmesini sağlamaktadır (Lucey ve ark., 1998a,b). Bu aşamada, misel stabilitesinde rol oynayan koloidal kalsiyum fosfat bağlarının parçalanmasıyla birlikte serbest kalan kalsiyum iyonlarının, ilave edilmiş olan enzimin etkisiyle oluşan para-kazeinat ile bağlanması sonucu kalsiyum-para-kazeinat kümeleri ortaya çıkmaktadır. Misel toplulukları büyüdükçe pıhtılaşma gözle görülmeye başlamaktadır. Oluşan misel toplulukları yağ globülleri, su ve yağı da içerisinde tutan üç boyutlu ağ örgü oluşturarak sertleşmekte ve şekil kazanarak pıhtıyı ve peynire özgü mikro yapıyı oluşturmaktadır (Şekil 7) (Lucey ve ark., 1999).



Şekil 7. Elektron mikroskopu görüntüleri. (a) jel, (b) peynir pıhtısı ve (c) homojenize edilmemiş süttten hazırlanan peynir. Ölçek çubukları 20 mm (a1, b1, c1) ve 10 mm (a2, b2, c2) uzunluğundadır. Oklar, örneklem sırasında kısmen çıkarılan globüllerden kalan yağ miktarını göstermektedir. FG: yağ globülü/küresi; NGF: küresel olmayan yağ

İkinci safhada, modifiye olan misellerin bir araya gelmesi ile gerçekleşen jel oluşumu, büyük oranda sütün sıcaklığına ve kalsiyum miktarına bağlıdır. Pıhtılaşma oranı da çoğunlukla enzim konsantrasyonu ve aktivitesi ile ilişkili bulunmaktadır. Bu etkenlerin her ikisindeki artış pıhtılaşma süresini azaltırken, pıhtı sıklığını

arttırmaktadır (Pereira ve ark., 2009). Kazeinin enzimle pıhtılaşma mekanizması aşağıdaki şekilde gösterilebilmektedir, Şekil 8 (Kurdal ve ark., 2019):



Şekil 8. Kazein misellerinin kimozin etkisi ile kümeleşmesi

Kazein misel yüzeyleri, diğer kazein miselleri ile etkileşime girmekte ve peynir suyunun kolaylıkla ayrıldığı büyük misel kümeleri oluşmaktadır. Rennet ve asit kaynaklı koagülasyonlar peynir üretiminde kullanılmakla beraber sütün rennet kaynaklı enzimatik koagülasyonu daha çok kullanılmaktadır (Hemar ve ark., 2000). Ortamda bulunan proteolitik enzimlerden olan kimozin enzimi, kazein misellerini destabilize etmek ve pıhtılaştırmak için kullanılmaktadır (Fox ve Mcsweeney, 2003; Lucey ve ark., 2003).

Buzağı renneti birinci aşamada κ -kazeini Phe₁₀₅-Met₁₀₆peptid bağından parçalayarak, karbonhidrat içeren gliko-makropeptid (106-169 kalıntı aminoasit) ve pozitif yüklü para- κ -kazein (1-105 kalıntı aminoasit) olmak üzere ikiye ayırmaktadır. Pepsinler, *Rhizomucor miehei* ve *Rhizomucor pusillus* proteazları da κ -kazeini aynı bölgesinden ikiye ayırmaktadır. *Cryphonectria parasitica* proteazı ise κ -kazeini Leu₁₀₄-Phe₁₀₅ bağından hidrolize etmektedir. Bununla birlikte *Rhizomucor* ve *Cryphonectria parasitica* proteazları, κ -kazeini sadece bir bölgeden değil birkaç bölgeden etkilemektedir (Phadungath, 2005).

Süt teknolojisinde kullanılan starter mikroorganizmaların gelişmeleri, fermentasyon ve pH'nın düşmesi ile birlikte pıhtılaşma sonucunda fermente süt ürünleri elde edilmektedir. Fermente edilmiş süt ürünlerinin çeşitliliği, başlangıç kültürlerinin optimum gelişme gereksinimlerine (yani, mezofilik ve termofilik mikroflora) dayanan spesifik mikroorganizmaları içermektedir. Süt ürünlerinde mikrobiyel fermentasyonla uygulanan basamaklar verimi artırmaya, daha iyi duyuşsal özelliklere sahip yeni ürünler oluşturmaya ve bunun yanı sıra ürünün mikro yapısında değişikliklere neden olmaktadır (Ong ve ark., 2013). Çizelge 1'de peynir üretim parametrelerinin mikro yapı üzerine etkileri belirtilmektedir.

Peynir matriksi incelendiğinde enzimle indüklenen jelleşme esnasında elde edilen süt jeli, kazein misel kümelerinden ve kısa zincirlerden oluşmaktadır. Sütte doğal olarak bulunan büyük taneleri ise yağ globülleri kapsamaktadır. Kazein matriksindeki boşlukları peynir altı suyu doldurmaktadır (Ong ve ark., 2013). Jel oluşumunu takiben elde edilen süt jeli, kazein, yağ ve misel kalsiyum fosfat bileşenlerinin yaklaşık on katı daha fazla konsantrasyona sahip olan peynir altı suyunun salınmasını teşvik etmekte ve orijinal süt jelinden kuru madde içeriği çok daha yüksek bir pıhtı haline dönüşmektedir (Pereira ve ark., 2003). Jelin dehidrasyon işlemi sırasında protein konsantrasyonu ve kümeleşmesi (agregasyonu), kalsiyum köprülenmesi, yağ globülleri ve elektrostatik etkileşimler arasındaki hidrofobik etkileşimler de dahil olmak üzere çeşitli molekül içi etkileşimler meydana gelmektedir. Bu etkileşimler; iyonik kuvvet, pH, sıcaklık ve proteinlerin peptidlere hidrolize edilmesi ile modüle edilmekte ve protein fraksiyonunun hidrofil/lipofil dengesini değiştirmektedir. Fenilalanin-2-3 ve fenilalanin-2-4 peptid bağında α 1-kazeinin erken hidrolizi, para-kazein matrisinin belirgin bir şekilde zayıflamasına ve olgunlaşma sırasında peynirin kırılma kuvvetinin ve sertliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu hidroliz, istenilen doku ve özelliklere sahip olgun bir peynir oluşumunda etkili olmaktadır (Lucey ve ark., 2003).

Sütün kurumaddesinin artırılması amacıyla kazeinatların kullanımı uzun süredir bilinmektedir ve endüstriyel düzeyde süt ürünleri üretiminde değişik formda kazeinatlar kullanılmaktadır. Kazeinat eklenen süt kullanılarak üretilen peynirlerde mikro yapıda değişimler belirlenmiş ve daha sıkı bir yapı olduğu görülmüştür. Üretim metoduna bağlı olarak kazeinatlar; asit kazeinat, rennet kazeinat, Na-, K-, Ca- ya da NH_3 -kazeinat ve kazein hidrolizat formları şeklinde kullanılabilir (Fox ve Brodtkorb, 2008).

Peynir oluşumunu ve mikro yapısını etkileyen faktörler; i) süte ilişkin faktörler (sütün bileşimi, mikrobiyel kalitesi vb.), ii) üretim prosesine ilişkin faktörler (ısıtma işlemi, starter kültür, pıhtılaştırıcı enzim, mekanik işlemler vb.), iii) olgunlaşma sürecine ilişkin faktörler (süre, sıcaklık, ambalaj vb.) olarak sayılabilir. Peynirin olgunlaşma evresinde meydana gelen ve lezzet ile tekstür için vazgeçilmez olan tepkimelerden birisi proteoliz ve lipolizdir. Lipoliz ile yağlar, proteoliz ile ise kazeinler parçalanmakta ve daha düşük molekül ağırlıklı peptidler, aminoasitler ve yağ asitleri oluşmaktadır. Peynirde reolojik yapıya etki eden bir diğer önemli faktör sıcaklıktır (Fisher ve Windhad, 2011).

Reolojik ölçümlerde ürün özellikleri genel olarak iki parametre izlenerek gerçekleştirilmektedir: (1) $G'(\omega)$, dinamik elastik modülüs ve (2) $G''(\omega)$, dinamik viskoz modülüs. Bir diğer parametre ise bunların birbirine oranından elde edilen tanjant deltadır. $[\tan(\delta) = G'(\omega)/G''(\omega)]$ 'dir (Fisher ve Windhad, 2011). Bu değerlendirme "dinamik reolojik test" ile yapılmakta ve İngilizce söylenişi sebebiyle (Small Amplitude Oscillatory Shear) SAOS olarak da tanımlanmaktadır. SAOS tekniğinde numuneye uygulanan deformasyon oldukça düşüktür ($\sim 0,5\%$) ve bu sayede ölçüm sırasında numunenin yapısına kalıcı bir hasar verilmediği kabul edilmektedir. Bu test özellikle yapı-özellik ilişkilerinin araştırılmasında ve yapısal değişimlerin izlenmesinde sıkça kullanılmaktadır. Peynir dahil birçok gıda maddesinin viskoelastik yapısını öğrenmek için SAOS tekniğinin kullanımı son yıllarda giderek yaygınlaşmıştır (Fisher ve Windhad, 2011; Chen ve Stokes, 2012).

Çizelge 1. Peynir yapımında kullanılan sütün uygulama basamakları ve peynirin mikro yapısı üzerine etkileri
(Hinrichs, 2001; Lopez-Fandin˜o, 2006; Pereira ve ark., 2009)

Üretim Parametreleri	Mikroyapı'ya Etkileri
Yüksek sıcaklık	Kazein misellerinin yapısı üzerine bir etkisi bulunmamaktadır. Zayıf pıhtılaşma özelliklerine neden olmaktadır. Serum proteinleri denatürasyonu, k-kazein ve serum proteinleri arasında etkileşimlere neden olmaktadır.
Yüksek basınç	Süt proteinleri ile yağ globülleri arasında etkileşimlere neden olmaktadır. Süt proteinlerinin intra-moleküler bağları üzerine etkili olmaktadır. Koagülasyon özelliğinde değişim oluşturmaktadır. Süt enzimlerinin aktiviteleri üzerine etkili değildir. Sineresisin/serum ayrılmasının azalmasına neden olmaktadır. Peynir veriminin artmasına neden olmaktadır. Daha sıkı bir mikro yapı oluşturmaktadır.
Enzim	Peynir olgunlaşmasının hızlanmasını sağlamaktadır. Reolojik özelliklerinin modifikasyonunu sağlamaktadır. Süt yağı globülleri arasında birleşmeyi önlemektedir. Serum proteinlerinin birleşmesini sağlamaktadır.
Membran	Koagülasyonun birincil ve ikincil aşamaları üzerine etkili olmaktadır. Rennet koagülasyon süresinin azalmasına neden olmaktadır. Pıhtı sertliğinde artış sağlamaktadır. Kazein mikro yapısının yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Sert ve yarı sert peynirlerde yumuşak doku ve lezzet özelliklerine etkide bulunmaktadır.

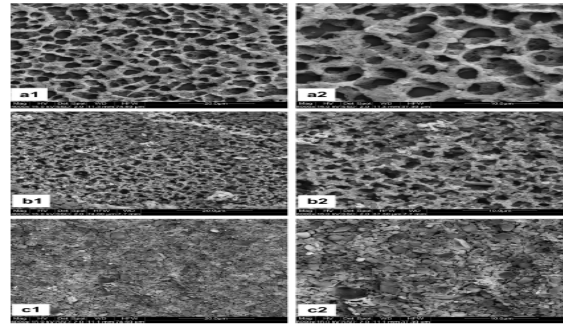
Peynir çeşidine göre derecesi değişmekle birlikte, tekstürel özellikler duyuşal değerlendirmen her zaman önemli bir ögesi olmuştur. Öte yandan tüketiciler de peynir kalitesini beklentileri doğrultusunda bazı duyuşal yöntemlerle (dokunarak, çiğneyerek vb.) anlamaya çalışırlar. Esasen duyuşal tekstür analizi oldukça karmaşıktır, çünkü ağza alınan gıda maddesi kısa sürede birçok işleme maruz kalmakta ve değişime uğramaktadır. Bunlar arasında; ön dişlerle kesme, çiğneyerek öğütme, ağız salgısında bazı maddelerin çözünmesi ve birtakım uyarıcıların (örneğin, tuz, şeker, aroma ve lezzet bileşenleri vb.) ortama salınması ve sonra yutma sayılabilir. Öte yandan, kişinin fizyolojik durumu, ağız ve diş sağlığı, duyuşal durumu gibi hususlar konuyu daha karmaşık hale getirmektedir. Tüm bunların aletsel olarak aynı anda taklit edilmesi kolay bir iş değildir. Aletsel tekstür ölçümlerinin ortaya çıkışı tüketicinin çiğneme işlemini bir anlamda taklit etmek içindir. Ancak çiğneme esnasında gerçekleşen deformasyonları ve ağız içi koşulları aletsel ölçüm sırasında oluşturmak oldukça güçtür. En basitinden ağızdaki salgı ve sıcaklık genel olarak aletsel ölçüm koşullarına uymamaktadır. İnsanlar gıdaları tüketirken birçok nedenden dolayı farklı çiğneme hızı kullanmaktadır. Bu yüzden aletsel tekstür analizleri daha çok ağızdaki mekanik işleme odaklanmıştır. Örneğin, TPA tekniği çiğneme işlemini iki kez sıkıştırma uygulayarak taklit etmeyi amaçlamaktadır (Chen ve Stokes, 2012).

Peynirin iskelet yapısını kazeinler oluşturmakta ve bu 'süngerimsi' protein matriksi içinde oluşan boşluklarda (kanallar) serum, yağ, bakteriler vb. ögeler yer almaktadır. Bir başka deyişle, proteinin oluşturduğu ağ yapının içinde diğer süt bileşenleri hapsedilmektedir. Bu açıdan peynirdeki yağ ve serum, dolgu maddesi gibi görülmekte ve bunlar esas olarak ağ yapıyı zayıflatan ve yumuşatan (plastikleştirici) unsurlar olarak değerlendirilmektedir. Özellikle suyun protein üzerindeki plastikleştirici etkisi; yapısal, reolojik ve tekstürel sonuçları ile bunların

endüstriyel proseslere etkileri ayrı bir öneme sahiptir. Kazeinlerin iskelet yapısını oluşturmasında kalsiyum fosfat birleştirici görevi gören maddedir. Peynirde kalsiyum fosfat seviyesinin azalması yapıyı zayıflatmakta ve yumuşatmaktadır. Tüm peynirlerin bileşiminde aynı öğeler (protein, yağ, su, mineraller vb.) bulunmasına rağmen üretim süreçlerinin farklı olması nedeniyle farklı mikro yapılara sahip peynirler üretilmektedir. Örneğin, Mozzarella peynirinin tipik lifimsi yapısı, üretiminde uygulanan ısı ve mekanik işlemlerden kaynaklanmaktadır. Mikro yapıda Mozzarella peyniri lifleri belli bir yönde dizili haldedir ve bunların arasındaki kanallarda diğer bileşenler yer almaktadır. Çeşitli peynirlerin de birbirlerinden farklı kendilerine has morfolojik nitelikleri bulunmaktadır (Joshi ve ark., 2004).

Mikro- ve makro- düzeyde yapısal farklar ve yapıda zamanla meydana gelen değişimler (örneğin, suyun proteince absorbe edilmesi, kazeinlerin parçalanması, kalsiyum transferi vb.) peynirlerin reolojik ve tekstürel özelliklerini belirleyen ana faktörlerdir (Pereira ve ark., 2009). Şekil 9'da jel, pıhtısı haşlanmış peynir ve homojenize edilmemiş süttten hazırlanan peynirin elektron mikroskobu görüntüleri görülmektedir (Ong ve ark., 2013).

Olgunlaşma döneminde, her peynir çeşidinde kendine özgü tat, aroma, lezzet ve yapının oluşması için bir dizi kimyasal ve biyokimyasal olaylar meydana gelmektedir. Bu olayların gerçekleşmesi esnasında hammaddenin bileşiminde yer alan proteinlerin oluşturduğu ağ yapının kapladığı alan olgunlaşma süresi boyunca starter kültürün aktivitesi sonucu azalmaktadır. Bu sırada hızlı pH düşüşü ile birlikte bunun sonucu olarak da mineral madde kaybı gerçekleşmektedir. Starter konsantrasyonun yüksek olması kazeinin parçalanmasını sağlayarak oluşturulan proteoliz ürünlerinin kaybı ile ürün yapısını zayıflatarak daha kırılabilir hale getirmektedir. Mikro yapıda meydana gelen bütün bu değişimler reolojik parametre değerlerinde de görülmektedir (Ozer ve ark., 1997).

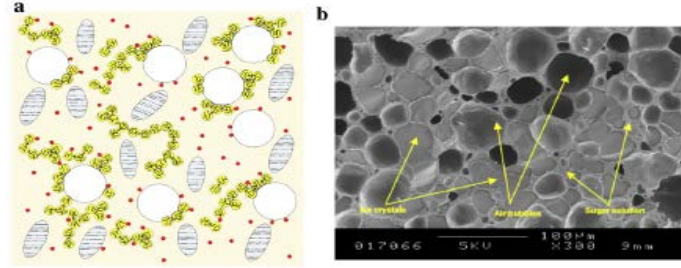


Şekil 9. (a) jel, (b) pıhtısı haşlanmış peynir ve (c) homojenize edilmemiş süttten hazırlanan peynirin elektron mikroskobu görüntüleri. FG : Yağ globülleri.

Dondurma ve Sütü Tatlılar

Süt proteinlerinin önemli rol oynadığı diğer süt ürünleri dondurma ve dondurulmuş tatlılardır. Dondurma ve dondurulmuş tatlıların yapısı, üç iç fazdan (yağ globülleri, hava kabarcıkları ve buz kristalleri) oluşmaktadır (Fox ve Mcsweeney, 2003). Türk Gıda Kodeksi Dondurma Tebliğine göre; içerisinde tat ve çeşidine göre, süt

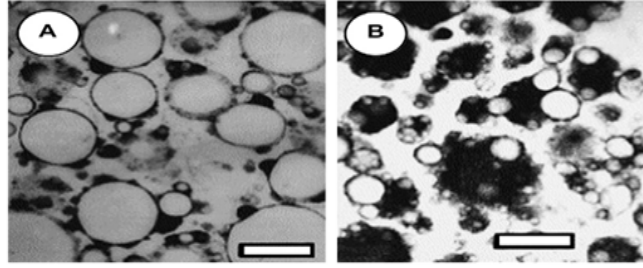
ve/veya süt ürünlerini, içme suyu, şeker ve izin verilen katkı maddelerini bulunduran, istenildiğinde salep, yumurta ve/veya yumurta ürünleri, aroma maddeleri ve çeşni maddeleri gibi bileşenleri içeren dondurma karışımının pastörizasyon sonrası, tekniğine uygun olarak işlenmesi ve dondurulması ile elde edilen, yumuşak halde ya da sertleştirildikten sonra tüketime sunulan ürün olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2004).



Şekil 10. Dondurmanın mikro yapısı: a) Dondurma mikro yapısı şematik gösterimi, yağ (sarı), yağ kristalleri (siyah çizgiler), buz kristalleri (mavi), Protein molekülleri (kırmızı). b) Dondurma (EM), Hava kabarcıkları, buz kristalleri, şeker çözeltileri

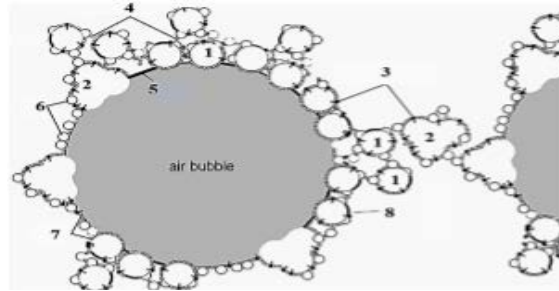
Yağ, sütün yağsız kurumaddesi, tatlandırıcılar, emülgatörler, stabilizatörler ve bazen de lezzet ve renk veren maddeler kullanılarak oluşturulan bir dondurma karışımı bu sistemin ilk hazırlık aşamasını oluşturmaktadır. Bu karışımın işlenmesi formülasyon, homojenizasyon, pastörizasyon ve soğutma ya da dondurma proseslerini içermektedir. Dondurma formülasyonu oluşturulurken kaliteyi etkileyen en önemli unsur yağ miktarıdır. Yağ, dondurmaya lezzet vermesinin yanı sıra yapının homojenliğini ve pürüzsüz olmasını sağlamaktadır. Sütün yağsız kurumaddelerini protein (kazein, albümin ve globülin), laktoz, vitaminler ve mineraller oluşturmakla birlikte bunlar dondurmanın besin içeriğini de artırmaktadır. Emülgatör ve stabilizatörler ise dondurmanın depolanması esnasında stabil olmasını ve fiziksel yapısını korumasını sağlamaktadır. Dondurma üretiminde son proses basamağı olan miksin dondurulması üretimin en önemli aşaması olup son ürünün kalitesini ve verimliliğini etkilemektedir. Ayrıca bu aşama yağ globüllerinin yeterli kaynaşmasını kolaylaştırmak için yağın yeterli kristalleşmesine, emülsiyon damlacık yüzeyinin yeniden yapılandırılmasına ve mikro yapının şekillenmesine neden olmaktadır (Şekil 10) (Bolliger ve ark., 2000; Patel ve ark., 2006). Süt proteinleri de yağın emülsifikasyonuna ve dondurma üretimi sırasında yağ globüllerinin kısmi kümeleşmesine ve yağ yapısının oluşumuna kuvvetli katkıda bulunmaktadır (Raikos, 2010; Rybak, 2014).

Miksin hazırlanması esnasında emülsiyonda yağ damlacıklarının dengeli bir şekilde dağılması gerekmektedir. Üretim sırasında, donma proses basamağında yağ globüllerinin kısmi şekilde kaynaşmaya duyarlı olması kritik öneme sahiptir. Yağ damlacıkları, emülsifikasyondan hemen sonra süt proteiniyle kaplanmakta, ancak dondurma karışımının olgunlaşması esnasında düşük molekül ağırlıklı emülsiyon oluşturucular (örn. monogliseridler) ile yer değiştirmektedir (Koxholt ve ark., 2001; Rybak, 2014). Şekil 11. de sodyum kazeinat ile stabilize edilmiş bir yağ emülsiyonu görülmektedir (Dagleish, 2006).



Şekil 11. (a) Sodyum kazeinat ile stabilize edilmiş bir yağ emülsiyonu. (a) Karışım su arayüzünde kazein misellerinin (koyu renkli kümeler) tutunması ve yayılmasını gösteren, (b) homojenize edilmiş bir sütteki büyük yağ globülleri.

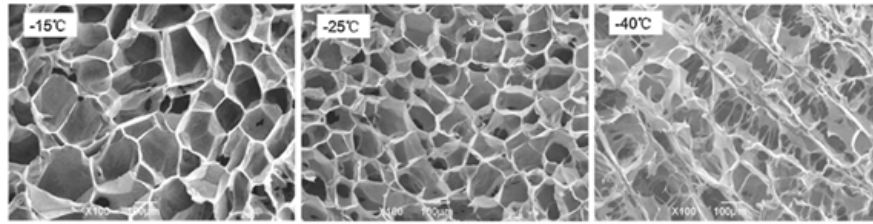
Hava, dondurmanın yapısını etkileyen bir diğer bileşen olmasıyla birlikte son ürün haciminin yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Miksin dondurulması aşamasında sürekli karıştırılan mikse hava verilerek belirli büyüklükte buz kristalleri oluşması sağlanmaktadır. Böylece buz kristallerinin boyut ve homojen dağılımı da sağlanmaktadır. Süt proteinleri, dondurma üretiminin ilk aşamalarında hava kabarcıklarının stabilizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır (Fox ve Mcsweeney, 2003; Rybak, 2014).



Şekil 12. Dondurmada ve dondurulmuş tatlılarda dengelenmiş bir hava kabarcığı modeli 1-kalsiyum köprüleri vasıtasıyla hava kabarcıklarına tutturulmuş bozulmamış yağ globülü; 2-kısmi dengesizleştirilmiş yağ kümeleri; 3-emülgatör; 4-kalsiyum köprüleri; 5- β -casein; 6-kazein miselleri; 7-kazein submiselleri; 8 -peynir altı suyu proteini

Karıştırma ve kristalizasyon etkisiyle yağ globülleri parçalanmakta ve sıvı yağ açığa çıkarak, serum-hava arayüzeyi boyunca yayılarak globüller arasında yapıştırıcı materyal olarak görev yapmakta ve aglomeratlar (topakçıklar) oluşmaktadır. Aglomeratlar dondurmanın serum fazı ile hava hücreleri arasındaki ara yüzeyde yer almakta ve stabilize edici etki göstermektedir. Tüketim sırasında da stabilize olmuş hava hücreleri yağ globülü olarak algılanmaktadır. Aglomeratlar ayrıca havanın ince bir şekilde dağılımını sağlayarak daha yumuşak bir tekstür oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Şekil 12) (Koxholt ve ark., 2001). Dondurma miksinin dondurulması sırasında oluşan buz kristalleri dondurmanın yapısında bulunan yağ ve hava gibi yapıyı etkilemektedir. Üretim parametreleri farklılıklarına göre yapıda küçük ya da büyük buz kristalleri oluşmaktadır. Yapının daha sıkı ve homojen olması için küçük buz kristallerinin oluşması istenmektedir. Üretim

formülasyonunda yer alan suyun sıcaklığı düşük derecelere ulaştığında ve ortama havanın da verilmesinin etkisiyle kristal çekirdeği olarak adlandırılan küçük kümecikler oluşmaktadır. Sıcaklık daha düşük seviyelere indirildiğinde ise bu kümecikler stabil duruma geçmekte ve homojen bir yapı elde edilmektedir (Özcan ve Acı, 2007). Şekil 13' de farklı sıcaklıklarda oluşan buz kristallerinin mikro yapıları görülmektedir (Ni ve ark., 2016). Huppertz (2012), dondurmanın yüksek basınçla işlenmesinin (HPP), karışımların reolojik özelliklerine güçlü etkilerinin olduğunu belirtmiştir. Dondurma karışımlarının viskozitesi, 400 MPa'yı aşan basınçlarda işlendiğinde 25 kattan fazla arttırılabilmektedir. HPP'nin dondurma karışımı üzerindeki bu etkileri aynı zamanda dondurma karışımındaki süt proteinlerinde meydana gelen değişikliklerle (ör. Kazein miselleri bozulmuştur) ilişkilendirilebilmektedir. Isıl işlem gibi, HPP uygulaması da, peynir altı suyu proteinlerinin denatüre edilmesine neden olmakta ve bu da peynir altı suyunun protein agregatlarının (kümeleşmelerinin) oluşumuna ve denatüre edilmiş peynir altı suyu proteinlerinin kazein miselleri ile birleşmesine neden olmaktadır (Huppertz, 2012). HPP veya başka yöntemlerle dondurmada süt proteinlerinin yapılandırılması, duyu kalite parametrelerinden ödün vermeksizin dondurmada yağ ve dengeleyicilerin değiştirilmesi için fırsatlar sunmaktadır. Ayrıca, süt proteinleri, milk shake, çırpılmış krema ve dondurulmuş/ havalandırılmış tatlılar gibi diğer süt içeren ürünlerinin yapısında da aynı fonksiyonel özellikleri (havalandırma, emülsifikasyon) sağlayabilmektedirler (Rybak, 2014).



Şekil 13. Dondurma aşaması öncesi farklı sıcaklıklarda (-15, -25 ve -40 °C) oluşan buz kristallerinin mikro yapıları

Sonuç

Süt proteinleri süt ürünlerinin tekstürel, reolojik ve erime nitelikleri gibi teknolojik/fonksiyonel özelliklerinden sorumlu yapısal öğeleri içermektedirler. Sıcaklık ve pH burada en önemli parametreler olarak ortaya çıkmaktadır. Proteinlerin hidrasyonu, birbirleriyle ve diğer çeşitli bileşenlerle olan güçlü etkileşimleri, onları gıda uygulamalarında fonksiyonları bulunan bileşenler haline getirmektedir. Ürünün mikro yapısı ve teknolojik özellikleri, kazein misellerinin kararlılığı ve stabilitesi ile önemli derecede etkilenmektedir.

Kaynakça

- Akgül, F. ve Karaman, A.D. 2017. Süt ürünlerinde serum protein izolatu kullanımı. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14: 95–99.
- Anonim, 2004. Türk Gıda Kodeksi, Dondurma Tebliği (Tebliğ No:2004/45).

- Bolliger, S., Kornbrust, B., Goff, H.D., Tharp B.W. and Windhab, E.J. 2000. Influence of emulsifiers on ice cream produced by conventional freezing and low-temperature extrusion. Escola Superior de Biotecnologia, Portugal.
- Chen, J. and Stokes., J.R. 2012. Rheology and tribology: two distinctive regimes of food texture sensation. *Food Science and Technology*, 25: 4–12.
- Dalgleish, D.G. 2006. Food emulsions – Their structures and structure-forming properties. *Food Hydrocolloids*, 20; 415–422.
- Dalgleish, D.G., Spagnuolo, P.A. and Goff, H.D. 2004. A possible structure of the casein micelle based on high-resolution field-emission scanning electron microscopy. *International Dairy Journal*, 14: 1025–1031.
- De Kruif, C.G., Huppertz, T., Urban V.S. and Petukhov, A.V. 2012. Casein micelles and their internal structure. *Advances in Colloid and Interface Science*, 171–172: 36–52.
- Dickinson, E. 2011. Double emulsions stabilized by food biopolymers. *Food Biophysics*, 6:1–11.
- Fenelon, M.A. and Guinee, T.P. 2000. Primary proteolysis and textural changes during ripening in cheddar cheeses manufactured to different fat contents. *International Dairy Journal*, 10: 151–158.
- Fisher, P., and Windhad, E.J. 2011. Rheology of food materials. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 16: 36–40.
- Fox, P.F. and Brodtkorb, A. 2008. The casein micelle: historical aspects, current concepts and significance. *International Dairy Journal*, 18: 677– 684.
- Fox, P.F. and Mcsweeney, P.L.H. 2003. Milk proteins. *Advanced Dairy Chemistry*, 146 pp.
- Guggisberg, D., Eberhard, P. and Albrecht, B. 2007. Rheological characterization of set yoghurt produced with additives of native whey proteins. *International Dairy Journal*, 17: 1353–1359.
- Hemar, Y., Hall C.E. and Singh, H. 2000. Rheological properties of oil-in-water emulsions formed with milk protein concentrate. *Journal of Texture Studies*, 36: 289–302.
- Hinrichs, J. 2001. Incorporation of whey proteins in cheese. *International Dairy Journal*, 11: 495–503.
- Huppertz, T. 2012. High pressure processing for better ice cream. *Agro Food Industry*, 23: 22–24.
- Huppertz, T., Fox P.F. and Kelly, A.L. 2004. High pressure treatment of bovine milk: effects on casein micelles and whey proteins. *Journal of Dairy Research*, 71: 97–106.
- Joshi, N.S., Muthukumarappan K. and Dave, R.I. 2004. Effect of calcium on microstructure and meltability of part skim mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 87: 1975–1985.
- Karagözü, C. ve Bayarer, M. 2004. Peyniraltı suyu proteinlerinin fonksiyonel özellikleri ve sağlık üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41: 197–207.
- Kaufmann, S. and Palzer, S. 2011. Food structure engineering for nutrition. Health and Wellness. 11th International Congress on Engineering and Food. *Procedia Food Science*, 1; 1479–1486.

- Koxholt, M.M.R., Eisenmann, B. and Hinrichs, J. 2001. Effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 84: 31–37.
- Kurdal, E., Özcan, T. ve Yılmaz, L. 2019. Süt Teknolojisi. U. Ü. Ders Notu, No: 99, Bursa, 260 s.
- Lee, W. and Lucey, J. 2004. Structure and physical properties of yogurt gels: effect of inoculation rate and incubation temperature. *Journal Dairy Science*, 87: 3153–3164.
- Lee, W. and Lucey, J. 2010. Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Aust Journal Animal Science*, 23: 1127–1136.
- Lopez-Fandin˜o, R. 2006. High pressure-induced changes in milk proteins and possible applications in dairy technology. *International Dairy Journal*, 16: 1119–1131.
- Lucey J.A., Teo, C.T., Munro, P.A. and Singh, H. 1997. Rheological properties at small (dynamic) and large (yield) deformations of acid gels made from heated milk. *Journal of Dairy Research*, 64: 591-600.
- Lucey J.A., Johnson, M.E. and Home, D.S. 2003. Invited review: Perspectives on the basis of the theology and texture properties of cheese. *Journal of Dairy Science*, 86: 2725-2743.
- Lucey, J., Teo, C.T., Munro, P.A. and Singh, H. 1998a. Microstructure, permeability and appearance of acid gels made from heated skim milk. *Food Hydrocolloids*, 12: 159–165.
- Lucey, J., Tamehana, M., Singh, H. and Munro, P. 1998b. A comparison of the formation, rheological properties and microstructure of acid skim milk gels made with a bacterial culture or glucono- δ -lactone. *Food Research International*, 31: 147–155.
- Lucey, J.A., Munro, P.A. and Singh, H. 1999. Effects of heat treatment and whey protein addition on the rheological properties and structure of acid skim milk gels. *International Dairy Journal*, 9: 275–279.
- Ni, X.W., Ke, F., Xiao, M., Wu, K., Kuang, Y., Corke, H. and Jiang, F.T. 2016. The control of ice crystal growth and effect on porous structure of konjac glucomannan-based aerogels. *International Journal Biology Macromol*, 92: 1130–1135.
- O'Mahony J.A., McSweeney, P.L. and Lucey, J.A. 2008. Observations on the rheological and functional properties of model cheeses made using milk protein concentrate solutions with different ratios of α 1: β -casein. *Milchwissenschaft*, 63: 145–148.
- Ong L., Dagastine, R.R. and Kentish, S.E. 2013. Microstructure and composition of full fat cheddar cheese made with ultrafiltered milk retentate. *Foods*, 2: 310–331.
- Ozcan, T., Horne, D. and Lucey, J.A. 2011. Effect of increasing the colloidal calcium phosphate of milk on the texture and microstructure of yogurt. *Journal of Dairy Science*, 94: 5278–5288.
- Ozcan, T. 2013. Determination of yogurt quality by using rheological and textural parameters. *Nutrition and Food Science II*, 53: 118-122.
- Ozcan, T., Horne, D.S. and Lucey, J.A. 2015. Yogurt made from milk heated at different pH values. *Journal Dairy Science*, 98: 6749–6758.

- Ozer, B.H., Robinson, R.K., Grandison, A.S. and Bell, A.E. 1997. Comparison of techniques for measuring the rheological properties of labneh. *International Journal of Dairy Technology*, 50: 129–133.
- Özcan, T. ve Delikanlı, B. 2011. Gıdaların tekstürel özelliklerinin geliştirilmesinde peynir altı suyu protein katkılarının fonksiyonel etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25: 77–88.
- Özcan, T. ve Acı, C. 2007. Dondurmada buz kristallerinin oluşumunu etkileyen faktörler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21: 1–12.
- Palzer, S. 2009. Food structures for nutrition, health and wellness. *Trends. Food Science and Technology*, 20: 194–200.
- Patel, H. and Manager, S. 2017. Milk proteins ingredients: functional properties and how to maximize use in formulating foods. Ingredient Solutions Platform, Protein Trends and Technologies Seminar. 23-24 May 2017.
- Patel, M.R., Baer, R.J. and Acharya, M.R. 2006. Increasing the protein content of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 89: 1400–1406.
- Pereira, C.I., Gomes, A.M. and Malcata, F. X. 2009. Microstructure of cheese: processing, technological and microbiological considerations. Universidade Cato ´lica Portuguesa.
- Pereira, R., Merino-Matia, L., Jones, V. and Singh, H. 2006. Influence of fat on the perceived texture of set acid milk gels: a sensory perspective. *Food Hydrocolloids*, 20: 305–313.
- Pereira, R.B., Singh, H., Munro, P.A. and Luckman, M.S. 2003. Sensory and instrumental textural characteristics of acid milk gels. *International Dairy Journal*, 13: 655–667.
- Phadungath, C. 2005. Casein micelle structure: a concise review. *Songklanakarin Journal Science Technology*, 27: 201–212.
- Raikos, V. 2010. Effect of heat treatment on milk protein functionality at emulsion interfaces. University of Patras. Department of Chemistry. Laboratory of Physical Chemistry, Greece.
- Rybak, O. 2014. The role of milk proteins in the structure formation of dairy products. Food Technologies, Volume 3. Issue 3. Ternopil National Technical University, Ukraine.
- Silva, J.V.C., Legland, D., Cauty, C., Kolotuev, I. and Floury, J. 2015. Characterization of the microstructure of dairy systems using automated image analysis. *Food Hydrocolloids*, 44: 360–371.
- Skytte, J. L., Ghita, O., Whelan, P.F., Andersen, U., Moller, F., Dahl, A.B. and Larsen, R. 2015. Evaluation of yogurt microstructure using confocal laser scanning microscopy and image analysis. *Journal of Food Science*, 80: 1218–1228.
- Thompson, A., Boland, M. and Singh, H. 2009. Milk proteins: from expression to food. Academic Press, New York.
- Yang, D., Yuan, Y., Wang, L., Wang, X., Mu, R., Pang, J., Xiao, J. and Zheng, Y. 2017. A review on konjac glucomannan gels: microstructure and application. *International Journal of Molecular Sciences*, 18: 2250.

- Ye, A. 2011. Functional properties of milk protein concentrates: emulsifying properties, adsorption and stability of emulsions. *International Dairy Journal*, 21: 14–20.
- Younes, E. 2017. Structural properties of casein micelles in milk, the effect of salt, temperature, and pH. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 36: 202-215.