

# PROTEİN-LİPİT İNTERAKSİYONLARI VE BUNLARIN SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDEKİ ÖNEMİ

Araş. Gör. Oğuz GÜRSOY

Prof. Dr. Özer KINIK

Prof. Dr. Necati AKBULUT

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, 35100 Bornova, İzmir  
ogursoy@ziraat.ege.edu.tr, kinik@ziraat.ege.edu.tr, akbulut@ziraat.ege.edu.tr



## ÖZET

Proteinler ve lipitler, besin öğelerinin başlıca iki grubunu oluşturmaktadır. Bu iki besin öğesinin bireysel olarak gıdaların fonksiyonel ve besleyici özelliklerine etkisi oldukça iyi bir şekilde aydınlatılmıştır. Protein ve lipitler arasındaki interaksyonlar süt ürünlerinin oluşumu ve özellikleri için önemli bir role sahiptir. Süte uygulanan ısıtma, karıştırma, homojenizasyon gibi işlemler sırasında teşvik edilmiş protein-lipit interaksyonları meydana gelmektedir. Bu makalede, protein-lipit interaksyonlarının oluşumları ile bu interaksyonların proteinlerin fonksiyonel özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve süt ve süt ürünlerinde meydana gelen bazı protein-lipit interaksyonları ve bunların önemi üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Protein-lipit interaksyonu, Süt ve süt ürünleri

## Protein-Lipid Interactions and Their Importance in Milk and Milk Products

### ABSTRACT

Proteins and lipids constitute two of the major food components. Their individual contributions to the functional and nutritional properties of foods are well established. Protein-lipid interactions is important for production and properties of milk products. Induced protein-lipid interactions occur during operations such as heating, mixing, homogenization in production process. This review will focus on formation of protein-lipid interactions, effects of these interactions on functional properties of proteins, some protein-lipid interaction occurred in milk and milk products and their importance.

**Key Words:** Protein-lipid interaction, Milk and milk products

### GİRİŞ

Protein ve lipitlerin doğal olarak meydana gelen interaksyonları ile gıdaların çeşitli özelliklerine etki ettikleri ve bunun yanında protein-lipit interaksyonlarının canlı hücre ve dokulardaki çok sayıda biyolojik yapının istenilen organizasyonundan sorumlu olduğu bilinmektedir. Gıda teknolojisinde protein ve lipitler arasındaki interaksyonlar; peynirler, süt kremaları, dondurma, mayonez, fırıncılık ürünleri ve et ürünleri gibi gıdaların işlenmesi sırasında oluşmaktadır. Bu interaksyonlar "teşvik edilmiş" protein-lipit interaksyonları olarak da tanımlanmaktadır [1]. Proteinler ve lipit interaksyonlarının oluşumunda bir çok yol mevcuttur. Bunlardan hidrojen bağları ve elektrostatik bağlar protein-lipit komplekslerinin yapısal organizasyonunda özellikle önemlidir. Protein ve yağ arasındaki interaksyonlar süt ürünlerinin oluşumu ve özellikleri

için önemli bir role sahiptir. Süte uygulanan işlemler sırasında (özellikle homojenizasyon) teşvik edilmiş protein-lipit interaksyonları meydana gelmektedir. Söz konusu interaksyonlar ürünlerin yapısal özellikleri üzerinde direkt olarak etkili olmaktadır. Bu makalede öncelikle protein-lipit interaksyonlarının oluşum mekanizmaları ve bu interaksyonların proteinlerin fonksiyonel özellikleri üzerine etkileri gözden geçirilmiştir. Son bölümde süt ve süt ürünlerinde meydana gelen bazı protein-lipit interaksyonları, bu interaksyonların mekanizmaları ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri üzerinde durulmuştur.

## HAYVANSAL ORJİNLI PROTEİN-LİPİT KOMPLEKSLERİ

Protein-lipit kompleksleri biyolojik sistemlerde özellikle de bir çok hayvansal orijinli gıda maddesinde yaygın bir şekilde meydana gelmektedirler. Bu kompleksler; hücrelerde, hücre yapılarında, vücut sıvılarında ve dokularda oluşmaktadır. Örneğin; yumurta sarısı, kan, kaslar, et, balık, süt ve süt ürünlerinin lipoproteinleri protein-lipit kompleksleri içermektedir. Lipoproteinler en çok bilinen hayvansal orijinli protein-lipit kompleksleridir ve elektroforez sırasındaki davranışları ile yoğunlukları baz alınarak sınıflandırılabilirler. Lipoproteinler, yağ globüllerinin membran yapıları boyunca sütte doğal olarak oluşmaktadır. Protein-lipit interaksyonları süt ve süt ürünlerinin karıştırılması ve homojenizasyonu gibi işlemler sırasında şekillenmektedir. Dondurmada, lipitler kazeinler ile etkileşerek protein-lipit komplekslerini oluşturmada iken tereyağı yapımında yağ globülleri hava/su ara yüzeyinde konsantre olmakta ve proteinler ile etkileşerek ara yüzeyde kompleksler oluşturmaktadır [1].

## PROTEİN-LİPİT BAĞLANMASI

Proteinler ve lipitler birçok yolla etkileşebilmektedir. Protein-lipit interaksyonu olarak bilinen bağlanma tipleri; hidrojen bağı, elektrostatik bağ, kovalent bağ, hidrofobik bağ ve van der Waals bağı içerir. Protein ve lipit sisteminin bahsedilen tipleri için meydana gelen interaksyonlar pH, iyonik güç ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca aynı protein-lipit kompleksinde birden fazla bağlanma tipi bulunabilir. Doğal olarak meydana gelen protein-lipit komplekslerinde lipitler ve proteinler arasındaki yapısal bağlanmalar pH ve iyonik gücün basit değişimleri ve ultrasantrifüj kuvveti etkisiyle kolay bir şekilde bozulamazdır [1].

## Elektrostatik Bağlanma

Elektrostatik bağlanma;

(a) bir fosfolipidin pozitif yüklü bir grubu (örneğin kolin) ve proteinin negatif yüklü bir grubu (örneğin aspartil , glutamil ) arasında ve / veya

**(b)** bir fosfolipidin negatif yüklü fosfat grubu ile bir proteinin pozitif yüklü bir grubu (örneğin lisil yada guanil'deki amil grubu) arasında meydana gelmektedir.

Ayrıca elektrostatik etkiler yada dipol etkileşimleri yüksüz fakat polar moleküller arasında meydana gelebilir. Bu moleküllerin elektronları bir bölgedeki negatif yükün fazlalığı ve diğerinde de pozitif yükün fazlalığı gibi bir yolla dağıtılmaktadır [1, 2].

Peyniraltı suyu proteini ile fosfolipitler arasındaki gibi protein-lipit komplekslerinde, elektrostatik bağlanma pH ile etkilenmektedir. Asidik pH'da peyniraltı suyu proteini pozitif yük taşımakta ve bu pozitif yüklü gruplar fosfolipitlerin negatif yüklerine bağlanabilmektedir. Nötral pH'da, fosfolipitler ve protein net negatif bir yük taşıdığından, elektrostatik itme gücü ve etkileşim için azalmış bir meyil söz konusudur [1].

### Kovalent Bağlanma

Kovalent bağlanma lipit-peptit yapılarında en genel bağlanma şeklidir ve aminoasit taşınmasındaki lipit-peptit komplekslerinin yapısal organizasyonunda daha önemli olduğu görülmektedir. Alkol-eter yada polar-nonpolar solvent karışımlarının bazı varyasyonları ile lipoproteinlerden lipit ekstraksiyonu kovalent bağların yokluğuna, yalnızca iz miktarda kovalent bağlı lipitlerin varlığına yada susuz solventlerde bu lipoproteinlerin düşük çözünürlüğüne işaret etmektedir. Kovalent bağların varlığı biyolojik sistemler ve gıda ürünlerindeki lipoproteinlerin daha stabil olmasını sağlayabilmektedir. Lipidik serbest radikal veya serbest radikaller bağlanış oksidasyon ürünlerinin ayrılmasıyla oluşmaktadır. Çoğunlukla hidroperoksitler proteinler ile etkileşebilmektedir ve protein-lipit komplekslerini oluşturmak için çeşitli lipidik serbest radikallerle yeniden birleşebilmektedir [1].

### Hidrojen Bağlanma

Proteinler ve yağ asitleri arasındaki etkileşimle ilgili ilk teorilerde bu yapıların elektrostatik bağlar içerdiği düşünülmüş iken günümüzde ilgili etkileşimlerin hidrofobik bağların sonucu olarak ortaya çıktığı göz önünde bulundurulmaktadır. Sulu sistemlerde protein ve yağ arasındaki hidrofobik etkileşimler, protein intramoleküler hidrofobik bağlarının azalmasıyla, protein yapısını değiştirmektedir. Bu durum sistemin yağ-su ara yüzeyinde kısmi protein ayrılmasıyla açıklanmaktadır [1]. Proteinler katlanmamış olduğunda, reaktif amino asitler açıkta kalır ve bu amino asitler komşularıyla hidrofobik bağlar ve disülfid bağları oluşturma kabiliyetindedirler [3]. Bu durumda oldukça viskoelastik bir membran oluşur. Proteinler ve lipitler arasındaki hidrofobik etkileşimlerin protein agregasyonunda önemli olabileceğine inanılmaktadır ve bu etkileşimler teşvik edilmiş protein-lipit komplekslerinin stabilizasyonunda kritik olarak göz önünde tutulmaktadır [1].

### Dispersiyon İnteraksiyonu (van der Waals kuvveti)

Bunlar genelde, indüklenmiş dipoller ve komşu (bitişik) atomlar veya moleküller arasındaki etkileşimlerin sonucu olarak oluşan kısa alanlı kuvvetlerdir. Bu kuvvetler atom veya moleküllerin polarize edilebilirliği ile ilişkilidir [2]. İnteraksiyonlar tekil olarak oldukça

zayıftır fakat kolektif olarak protein bölgelerinin stabilizasyonunda oldukça önemli olabilmektedir. Bu etki hidrofobik etkileşimlerden oldukça farklı olarak göz önünde tutulmaktadır. Bu kuvvetler intermoleküler mesafelere oldukça duyarlıdır ve nonpolar grupların etkileşiminde önemlidir. Örneğin protein yan zincirlerinin CH<sub>2</sub> grupları fosfolipit veya yağ asitlerinde bulunan CH<sub>2</sub> grupları ile etkileşime girebilir ve protein-lipit komplekslerini oluşturabilir [1, 2].

### PROTEİN-LİPİT KOMPLEKSLERİNİN YAPISAL ORGANİZASYONU

Biyolojik sistemlerde protein ve lipit molekülleri arasındaki etkileşimlerin farklı yapısal organizasyonları söz konusudur. Yıllardır bu farklı organizasyonların gösterilmesi için değişik modeller sunulmaktadır. Danielli modeli iki protein katmanı arasında bulunan moleküler bir lipit katmanını içeren membran yapısı için tanımlanmıştır. Protein-lipit ara yüzeyinde, lipit moleküllerinin polar uçları proteine elektrostatik olarak yada hidrojen bağları ile bağlanır. Bunun yanında biyomoleküler lipit katmanı yağ asitleri van der Waals kuvveti yada hidrofobik bağlar veya her iki şekilde yapıya katılır [1].

Fosfolipit çift katmanının oluşumu globüler membran modelinde çok iyi açıklanmış bir modeldir. Fosfolipit çift katmanı önceleri globüler membran yapısı için çoğunlukla kabul edilen bir model olmuştur. Birim membran dışı dönük fosfolipitlerin polar gruplarını içeren fosfolipit çift katmanından oluşur ve proteine polar etkileşimler ile bağlanır [11]. Bu modelde globüler membran tekrar eden protein üniteleri içerir. Her bir ünite membran oluşumu için protein ve lipitlerin birleşmeleri gereklidir. Bu durum protein ünitelerini 3 boyutlu agregatların oluşumundan korur [1].

### PROTEİNLERİN FONKSİYONELLİĞİNDE PROTEİN-LİPİT İNTERAKSİYONLARININ ROLÜ

Süt ve süt ürünlerinde içinde bulunduğu bir çok protein kaynağı gıdanın fonksiyonel karakteristikleri, proteinler ve lipitler arasında meydana gelen etkileşimlerden etkilenmektedir. İşlenmiş bir gıdanın birçok karakteristiğinin oluşumunda göz önünde tutulan proteinlerin genel fonksiyonel özellikleri; jelleşme, su tutma kapasitesi, köpürme, emülsifikasyon ve çözünürlüktür [4].

### Jelleşme

Bir çok protein, büyük moleküller ve agregatların 3 boyutlu bir ağını içeren jelleri oluşturma kabiliyeti göstermektedir. Ağ suyu tutması yanında ve elastisite ve jelin tekstürel dayanıklılığında sorumludur. Protein jelinin oluşumu 2 kademeli bir olaydır. Birinci basamak konformasyondaki değişimi (genellikle ısı etkisiyle) yada protein moleküllerinin kısmi denaturasyonunu içermektedir. Denature proteinler sulu ortamda disperse olmaktadır. İkinci basamakta dispersiyon viskozitesi 3 boyutlu yapının bağ yapmamış proteinler ile yoğunlaşan etkileşiminden dolayı artmaktadır [1, 4]. Bunu birbirinden bağımsız denature proteinlerin kısmi birleşmesi yada agregasyonu izlemektedir. Proteinin jel haline dönüşmesi, su ve çeşitli gıda ingredientlerinin tutulması için yapısal bir matriks sağlamaktadır.

Jel özellikleri; hem proteinin karakteristikleri (inter- ve intra- çapraz bağlanma mekanizmaları) hem de protein zincirlerinin doğası ve katlanabilirliği tarafından etkilenmektedir. Ayrıca, protein konsantrasyonu, ısıtma ve soğutma sıcaklığı, ısıtma süresi ve çevresel faktörler de (pH, iyonik güç vb.) jel oluşumu sırasında denaturasyon ve çapraz bağlanmayı etkiler [1].

Protein dispersiyonunda lipidlerin varlığı protein jelleşme özelliklerini engelleyebilir yada değiştirebilir. Protein jel ağları, proteinle kaplanmış lipid damlacıklarının (PKLD) varlığında etkilenmektedir. PKLD'nin varlığı proteinin jel özelliklerini iyileştirmektedir. Bazı şartlarda, proteinlerle lipidlerin interaksiyonları jelleşme özelliğini geliştirebilirken, yine bazı şartlarda lipidler proteinlerin vizkozite özelliklerini etkileyebilmektedir. Protein jelleri, sınırlı partikül büyüklüğü dağılımlı küçük yağ globülleri içeren lipidlerin varlığında, pürüzsüz (muntazam) tekstüre ve yüksek jel kuvvetine sahiptirler. Isı ile oluşmuş protein jeli lipidlerin varlığında, lipidlerin yokluğundaki protein jelinden daha büyük jel kuvvetine sahiptir. Bu özellik, jel matriksinde lipidlerin destek partikülleri tarafından protein jel ağının kuvvetlendirilmesiyle oluşmaktadır. Peynir altı suyu proteini-lesitin jellerinin gösterdiği artan jel kuvveti lesitin ve peyniraltı suyu proteini arasındaki kompleksleşmeye bağlanmaktadır. Burada lesitin damlacıklarını çevreleyen sulu protein tabakası sızdırmaz katman olarak hareket eder ve jel özelliklerini değiştirir [1].

### Su Tutma Kapasitesi (STK)

Su tutma kapasitesi (STK) genel olarak gıdanın hem doğal suyunu hem de işleme sırasında ilave edilen suyu bağlama kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır ve protein bazlı gıdaların fonksiyonel bir özelliğidir. Proteinlerin STK'sı; tekstür, sululuk (özlülük) ve tat gibi gıda karakteristiklerini etkilemektedir. Gıda ürünlerindeki su, fizikokimyasal olarak bağlı ve serbest su olmak üzere 2 şekilde bulunabilmektedir. Bağlı su, protein yüzeyindeki yüklü gruplar ve bipolar bölgeler üzerinden, proteinler ile güçlü bir şekilde birleşmiştir. STK; protein tipi, protein yapısı ve aminoasit kompozisyonu gibi çeşitli kompozisyonel faktörler yanında, pH, iyonik güç ve sıcaklık gibi dış faktörler (sonradan oluşan) tarafından da etkilenmektedir [1].

Protein jellerinde lipidlerin varlığı STK'yı artırır. Bu olay genel olarak yüksek STK'ya sahip jel matriksi içindeki su damlacıkları tarzındaki lipid moleküllerinin çevresindeki protein moleküllerinin düzeni ile açıklanabilir. Protein jellerinde lipidlerin varlığı protein jel matriksinin yeknesaklığını arttırabilir. Benzer şekilde protein-protein ve protein-su interaksiyonları jel yapısının yeknesaklığını arttırır. Bu durum jelin STK'sının artışı ile sonuçlanır [1].

### Köpürme

Köpükler, sürekli sulu fazda disperse olmuş hava kabarcıklarını içeren koloidal sistemlerdir. Dondurma, çalkalanıp köpürtülmüş kremalar, kekler gibi birçok işlenmiş gıda maddesi köpük tipi ürünlerdir. Bu ürünlerde, proteinler disperse olmuş gaz fazının oluşum ve stabilizasyonunda başlıca (yardımcı) yüzey aktif ajanlardır. Köpük oluşumunda, proteinin hava-su ara yüzeyinde yapışkan bir film oluşturmak için, suda çözünür ve katlanabilir (esnek) olması gereklidir [5].

Genellikle proteinlerin karışımları mükemmel gıda köpükleri oluşturur. Proteinlerle birlikte lipidlerin varlığı, genelde proteinin köpürme özelliğini bozar. Yağsız soya proteini, lipidlerden yoksun yumurta beyazı, yağı alınmış peyniraltı suyu proteinleri veya protein izolatları, lipid içerdikleri durumlara göre daha yüksek köpürme özelliği gösterirler. Bu durum göstermektedir ki, yüzey aktif polar lipidler hava-su ara yüzeyinde konuşlanmak suretiyle en çok istenilen adsorbe olmuş protein filmlerinin oluşumunu engellemektedir. Ayrıca, proteinlerin köpüklenme özellikleri lipidlerin farklı tipleri tarafından değişik şekilde etkilenmektedir. Tereyağı köpüklenme özelliğine zarar vermekte iken proteinlerin köpüklenme özelliğine en önemli zararı lesitin meydana getirmektedir. Lipitlerin özellikle de polar lipidlerin ve monogliseritlerin varlığında peyniraltı suyu protein konsantrasyonu ile stabil olmayan köpükler hazırlanmaktadır. Fosfolipitler, proteinler ile yüzey aktif moleküllerin yarışmasından dolayı, hava-su ara yüzeyinde proteinin kısmi yer değişimi ile sonuçlanan adsorbsiyon için protein köpüklerinin stabiliteyi bozarlar [1].

### Çözünürlük

Çözünürlük, proteinlerin emülsifikasyon, jelleşme ve köpürme gibi diğer fonksiyonel özelliklerine yardım eder ve fonksiyonel gıda bileşeni olarak gıda işlemede çeşitli proteinlerin etkili kullanımı için gerekli olabilecek bir özelliktir [4]. Protein çözünürlüğü sıcaklık, pH, konsantrasyon, sistemdeki protein ve solvent özellikleri ve yüzey hidrofobisitesine bağlıdır. Protein-su (yada protein-solvent) interaksiyonları gıda sistemlerinde hayati öneme sahiptir. Burada proteinin performansı lipidler gibi diğer gıda bileşenleriyle interaksiyonlar tarafından ve proses şartları tarafından göze çarpacak şekilde etkilenmektedir.

Proteinlerin ampifatik doğaları, onların hem polar hem de apolar solvent molekülleri ile etkileşimine izin verir, ve lipidler ile su sistemlerinin interaksiyonunda onların adsorbsiyonunu destekler. Çözünürlük etkisi ara yüzeyel gerilim için solüsyondan protein moleküllerinin difüzyonu boyunca gerçekleşmektedir [1]. Homojenizasyon gibi süt işleme basamakları süresince açıkta kalmış yağ yüzeyi, stabil bir süspansiyon sistemi oluşturmak için, fosfolipitler ve proteinler gibi ilave molekülleri adsorbe etme kabiliyetindedir. Böylece, sütteki fosfolipit ve proteinler oldukça genişlemiş lipid ve su ara yüzeyinde bir süspansiyon oluşturmak için yeterlidir [6].

### Emülsifikasyon

Emülsiyon genel olarak bir sıvının diğer bir sıvı içersinde damlacıklar halinde dağılması (sıvıların birbiri içinde çözünmemesi) olarak tanımlanmaktadır [5]. Gıdalardaki emülsiyonlar oldukça geniş anlam ifade eden sistemlerdir ve bu sistemlerde katılar, gazlar ve/veya sıvı kristaller (dondurma gibi) bulunabilir. Suda/yağ emülsiyonları tipik olarak sıvı ve kristal yağ fazı içerebilir iken yağda/su emülsiyonları (tereyağı gibi) katı benzeri yapıya sahiptir. Termodinamik olarak stabil olmayan sistemlerin varlığında, gıda emülsiyonları kinetik stabiliteyi geliştirilmesiyle stabilize edilir. Fiziksel değişikliklere direnç olarak tanımlanan stabilizasyon, genellikle emülsiyona küçük sürfektan moleküllerin (fosfolipitler, polisorbitatlar vb.)

ve/veya proteinlerin (süt proteinleri gibi) ve/veya yapıştırıcı ajanların (gumlar, jelatin) ilavesiyle sağlanmaktadır. Globüller arası fazda yada sürekli fazda yağ kristallerinin bulunması da emülsiyon stabilitesini etkileyen önemli bir husustur [7].

Gıda sistemlerindeki suda/yağ emülsiyonları sıklıkla proteinler tarafından stabilize edilmektedir [8]. Yağ/su ara yüzeyine doğru dağılım ve adsorbsiyonun ardından, proteinler bir "ara yüzey filmi" oluştururlar. Proteinlerin elektriksel ve reolojik özelliklerinden dolayı, bu film birleşmeleri ve flokülasyonları engeller [9]. Bu filmin herhangi bir nedenle parçalanması moleküllerin birleşmelerine neden olacağından emülsiyon stabilitesi bozulur [10]. Proteinlerde üç boyutlu yapılarda gömülü hidrofobik bölgeler, daha kolay bulunur ve (daha kolay etkileşime girebilecek) hidrofobik bölgelere oranla daha az lipit bağlar. Hidrokarbon zinciri uzunluğunun artışı yada doymamışlık derecesinin azalması lipitler ve proteinler arasındaki interaksyonları iyileştirir. Lipitler ve proteinler arasındaki bu interaksyonlar genel olarak onların hidrofobik doğalarının gereğidir [9].

### SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE PROTEİN-LİPİT İNTERAKSİYONLARI

İnek sütü; düşük moleküler ağırlıklı bileşiklerden oluşan bir solüsyona, globüler proteinlerin koloidal bir solüsyonuna, protein misellerinin koloidal bir dispersiyonuna benzemektedir ve suda/yağ emülsiyonudur. Süt serumu içerisinde yağ globülleri şeklinde bulunan süt yağı, normal olarak süt içerisinde sıvı halde bulunduğu ve sütün diğer unsurları ile karışmadığı için emülsiyon durumundadır. Sütte yaklaşık 510<sup>9</sup> adet/ml yağ globülü bulunması [11] yüzey alanının oldukça büyük olmasına bu ise kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik açıdan büyük bir tepkime yeteneğine işaret etmektedir. McWilliams [12] doğal olarak oluşan süt yağı globüllerinin membran yapısında oluşmuş protein ve lipit moleküllerinin organizasyonu için bir model önermiştir. Bu membran proteinleri, fosfolipitleri, enzimleri ve lipoproteinleri içermektedir. Lipoproteinler, hidrofilik ve hidrofobik komponentler içermekte ve bunun yanında süt yağı globüllerinin trigliserit molekülleri çevresinde koruyucu bir katman oluşturmaktadır. Taze sütte bu emülsiyon, emülsüfiye edici ajanlar gibi etki eden lipoproteinleri içeren süt yağı globülü membranı tarafından korunmaktadır.

Protein ve yağ arasındaki interaksyonlar süt ürünlerinin oluşumu ve özellikleri için önemli bir role sahiptir. Süt herhangi bir işleme maruz kalmadan önce, temel süt proteinleri (kazeinler, -laktoglobulin ve -laktalbumin) ve süt yağı arasında herhangi bir interaksyon (teşvik edilmiş) mevcut değildir. Süt yağı; proteinleri, lipitleri ve fosfolipitleri içeren kendine ait bir membran içinde bulunur [3]. Normal şartlar altında bu membran bileşenleri proteinler ile herhangi bir interaksyona girmez. Proteinler süt serumu içerisinde serbest olarak bulunabildiği gibi (-laktoglobulin ve -laktalbumin) kazeinler gibi (kazein misellerinde) ayrı ayrı parçacıklı halde de bulunabilirler. Süte uygulanan işlemler bu durumu değiştirir. Süt ısıtıldığında, serum ve misel proteinleri ile serum ve misellerdeki kalsiyum fosfat arasındaki mineral dengesinde değişimler meydana gelir. Sıcaklık artışıyla ayrıca yağ globülü

membranında da değişiklikler meydana gelebilir. Sonuçta bütün bu işlemler sütün mikro yapısında değişimler meydana gelmesine neden olur. Adı geçen değişimler sütün ısıl işleminden önce homojenizasyonu söz konusu ise daha çabuk ve ani gerçekleşir [13].

Sütte ısı ile teşvik edilmiş en önemli interaksyonlar, serum proteinlerinin (-laktoglobulin ve -laktalbumin) denaturasyonu ve sonrasında meydana gelen interaksyonları içermektedir [13, 14]. -laktalbumin -laktoglobulin'den daha düşük bir sıcaklıkta denature olmaktadır. Ancak önemli derecede ısı uygulamasından sonra bile sütün diğer bileşenleriyle ısı ile teşvik edilmiş bir interaksyona girmemektedir. Diğer taraftan -laktoglobulin denature olduğunda reaktif hale gelmekte ve çok sayıda farklı bileşiklerle interaksyona girmektedir. Bu durum -laktoglobulin'deki denaturasyonla açığa çıkan serbest sülfidril grubundan kaynaklanmaktadır. -laktoglobulin'nin bu reaktif özelliği (i) bir jel oluşumu için -laktoglobulin'in diğer denature olan moleküllerle interaksyonuna, (ii) kazein misellerinin yüzeyleri üzerindeki -kazein ile interaksyona ve (iii) süt yağı ile interaksyonlara izin verir. Denature serum proteinlerinin yağ globülleri ile nasıl bir interaksyona girdiği tam olarak bilinmemektedir. Konu ile ilgili 2 farklı teori öngörülmektedir. Birinci teori; mevcut membranın kırılması ve bu yolla meydana gelen boşluklardan -laktoglobulin'in direkt olarak yağ adsorbsiyonudur. Öngörülen ikinci mekanizma; serum proteinleri denature olmakta ve yağ globülü membranında mevcut diğer moleküllere bağlanmaktadır. Burada serum proteinlerinin denature membran proteinlerine bağlanması daha muhtemel görülmektedir. Çünkü membran proteinleri sisteinil kalıntılara sahiptir ve bu kalıntılar denature serum proteinlerinin serbest sülfidril grupları ile interaksyona girebilir. Bu gerçekleştiğinde globül etrafında ikinci bir membran katmanı oluşmaktadır. Yağ globülünün çevresinde yeni bir membran oluşumu, ısıtılmış süttен yapılan peynirlerde önemlidir. Bu şekilde yapılan peynir ısıtıldığında yağın kolaylıkla erimelediği görülmektedir. Bu durum, meydana gelen yeni membranın orijinal membrandan daha güçlü hale gelmesi ve ilave bir ısıtmayla bile stabil kalmasıyla açıklanabilir [13].

Genel olarak rekombine süt, öncelikle yağsız süt tozunun su ilavesiyle yağsız süte dönüştürülmesi, ardından ilave edilen süt yağının homojenizasyonu ile yağın süt içersine disperse edilmesiyle elde edilmektedir [6, 14]. Bu üründe protein ve yağ arasındaki interaksyonlara homojenizasyon işlemi neden olmaktadır. Bir homojenizatörde yağ nispeten küçük yağ globüllerine parçalanmakta ve bunun sonucunda yağ yüzey alanı oldukça önemli şekilde artmaktadır [6, 15, 16]. Yeni oluşan globüller, özellikle plazmada bol bulunan proteinler gibi yüzey aktif maddelerin adsorbsiyonu yoluyla diğer globüllere etkileşimden korunurlar [17]. Yeni yağ globüllerinin çevresinde oluşan koruyucu tabaka büyük oranda kazein ve peyniraltı suyu proteinlerinden oluşur. Proteinin adsorbe olmuş yüzey katmanı, rekombine süt ürünlerinin işlenmesi ve depolanması sırasında stabilitenin sağlanmasında son derece önemli role sahiptir. Homojenize edilmiş rekombine sütün yağ globüllerini çevreleyen protein katmanının yapısı ve kompozisyonu ile ilgili bilgiler nispeten sınırlıdır [6].

Yapılan bir araştırmada rekombine sütün yağ globülleri üzerine adsorbe olan proteinlerin tipi ve miktarı çalışılmıştır [6]. Araştırmacılar, yüzey protein yükü ( $\text{mg}/\text{m}^2$  yağ yüzeyi) ve yağ globülleri üzerine adsorbe olan proteinin kompozisyonunun; (i) yağ globüllerinin büyüklüğü, (ii) yağsız sütteki toplam protein miktarı, (iii) yağsız sütteki peyniraltı suyu proteini/kazein oranı ve (iv) kazein misellerinin agregasyon durumuna bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Söz konusu araştırmanın sonuçları şu şekilde özetlenebilir: Daha büyük boyutlu yağ globülleri daha düşük protein yüküne sahiptir ve büyük miktarlarda peyniraltı suyu proteini içermektedir. Yağsız sütteki protein konsantrasyonunun artmasıyla,  $\sim 6 \text{ mg}/\text{m}^2$  değerine yükselene kadar globüle protein yüklenmesi artmıştır. Peyniraltı suyu proteini/kazein oranının yağsız süte peyniraltı suyu ilavesiyle artışı protein yükünü çok az miktarda azaltmıştır. Fakat bu uygulama adsorbe olan protein kompozisyonunu önemli şekilde etkilemiştir. Rekombinasyondan önce koloidal kalsiyum fosfatın uzaklaştırılmasıyla kazein misellerinin dağılması (parçalanması) protein yükünü azaltmıştır ve adsorbe olan proteinin kazein kompozisyonu değişmiştir. Sonuçta, rekombine sütteki yağ globüllerinin protein katmanının yapısını, çoğunlukla protein tipleri ve bunların emülsifikasyon sırasındaki mevcut konsantrasyonlarının belirlendiği bildirilmiştir.

Daha öncede belirtildiği gibi, protein-lipit interaksyonları süt ve süt ürünlerinin karıştırılması ve özellikle homojenizasyonu gibi işlemler sırasında şekillenmektedir. Dondurmada, lipitler kazeinler ile etkileşerek protein-lipit komplekslerini oluşturmada iken tereyağı yapımında yağ globülleri hava/su ara yüzeyinde konsantre olmakta ve proteinler ile etkileşerek arayüzeyde kompleksler oluşturmaktadır [1].

Hojenizasyon işlemi ile süt yağı daha küçük ve daha fazla sayıda taneciklere parçalanırken, misellerdeki kazein yeni oluşan yağ tanecik zarında yer almakta ve tanecikler zarda bulunan kazeinin pıhtılaşmasına bağlı olarak kafes örgüsü şeklindeki yoğun ağ yapısı içerisinde daha sıkı bağlanabilmektedir. Ayrıca, meydana gelen yağ-kazein interaksyonu nedeniyle, kazein misellerinin yüzey alanı küçüldüğünden miseller arası etkileşimler güçleşmekte ve rennetle pıhtılaşma sırasında kazein misel agregasyonu yavaşlamaktadır [18]. Açıklanan durumlar peynir yapımı sırasında sinerezin önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Anne sütü içerdiği çok sayıda bileşen nedeniyle bebeklerin sağlığı, gelişimi ve beslenmesi için mükemmel bir kaynaktır. Bununla beraber, prematüre ve düşük doğum ağırlığına sahip çocuklar, yetersiz süt sendromu ve anne sütü ile beslemenin yapılamadığı durumlarda çocuğun anne sütü dışındaki kaynaklarla beslenmesi zorunlu olabilir. Anne sütüyle beslemenin mümkün olmadığı durumlarda bebek mamaları ve benzer formülasyonlar anne sütü yerine kullanılmak üzere formüle edilir. Geleneksel inek sütü bazlı reçete, genellikle protein, yağ, karbonhidrat, vitamin ve mineral bileşiklerinin özel bir kombinasyonu kullanılarak formüle edilir. Ardından hammaddeler karıştırılır, pastörize, homojenize ve kondense edildikten sonra kurutulur yada sterilize edilir. Bu işlemler sırasında bileşen dağılımı ve interaksyonları (kazein-peyniraltı suyu proteinleri, protein-protein,

protein-lipit, protein-lipit-mineral interaksyonları) meydana gelebilir [19, 20]. Bu interaksyonları önemli derecede etkileyen faktörler ve bunların fonksiyonel özellikler ve beslenme üzerine etkileri henüz iyi bir şekilde anlaşılmış değildir. Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada, bir bebek formülasyonu üretimi sırasında pastörizasyon, homojenizasyon, konsantrasyon ve kurutma işlemlerinin bebek formülasyonu üzerindeki etkileri çalışılmıştır [20]. Homojenizasyondan sonraki elektron mikroskobu görüntülerinde kazein-peyniraltı suyu proteinlerinin yağ globüllerinin yüzeyi ile etkileşime girerek birleştikleri görülmüştür. Yine karışımın yağ fraksiyonundaki nitrojen içeriği homojenizasyondan önce toplam azotun %2'si iken homojenizasyondan sonra %30'a yükselmiştir. Bu bulgu da yüksek seviyede protein-lipit interaksyonunu doğrulamaktadır.

### SONUÇLAR

Süt herhangi bir işleme maruz kalmadan önce, temel süt proteinleri (kazeinler, -laktoglobulin ve -laktalbumin) ve süt yağı arasında herhangi bir interaksyon (teşvik edilmiş) mevcut değildir. Süt ve süt ürünlerinde teşvik edilmiş protein-lipit interaksyonları peynir, krema, dondurma, rekombine süt gibi ürünlerin işlenmesi (karıştırma, ısıtma ve homojenizasyon vb.) ve depolanması sırasında meydana gelmektedir. Bu tip interaksyonlarda kovalent bağlar ve çoklu hidrojen bağlarının etken olduğu bildirilmektedir. Proteinler ile birlikte lipitlerin varlığı proteinlerin fonksiyonel özelliklerini olumlu yada olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Süt ve süt ürünlerinde protein-lipit interaksyonlarının oluşum mekanizması ile ilgili 2 temel teori bulunmaktadır. Denature serum proteinlerinin yağ globülü membranında mevcut diğer moleküllere bağlandığı teorisinin daha olası olduğu bildirilmektedir. Sonuç olarak protein-lipit interaksyonları diğer gıdalarda olduğu gibi süt ürünlerinin de oluşumunda ve son ürünlerin özellikleri üzerinde önemli bir role sahiptir.

### KAYNAKLAR

1. Alzagat, A.A., Alli, I., 2002. Protein-lipid interactions in food systems: a review. *Int. Journal of Food Sci. and Nutrition* 53: 249-260.
2. Petrucci, R.H., Harwood, W.S., 1993. *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (6th Edt.). Macmillian Publishing Company, New York, USA.
3. Dlagleish, D.G., 1989. Protein-stabilized emulsions and their properties. In *Water and Food Quality* (Edited by T.M. Hardman). Elsevier Applied Sciences, England, 211-250p.
4. Koçak, C., Aydemir, S., 1994. Süt Proteinlerinin Fonksiyonel Özellikleri. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No: 20*, Ankara, 46s.
5. Dickinson, E., Stainsby, G., 1988. Emulsion stability. In *Advances in Food Emulsions and Foams*. Elsevier Applied Sciences, England, 1-45p.
6. Singh, H., Sharma, R., Taylor, M.W., 1992. Protein-fat interactions in recombined milk. In *Protein & Fat Globule Modifications by Heat Treatment, Homojenization & Other Technological Means for High Quality Dairy Products*. IDF Special Issue No: 9303, IDF 41, Square Vergate, B-1040, Brussels, Belgium, 30-39p.

7. Rousseau, D., 2000. Fat crystals and emulsion stability-a review. Food Research International 33: 3-14.
8. Hung, S.C., Zayas, J.F., 1991. Emulsifying capacity and emulsion stability of milk proteins and corn germ protein flour. J. Food Sci. 56(5): 1216-1218.
9. Aynie, S., Le Meste, M., Colas, B., Lorient, D., 1992. Interactions between lipids and milk proteins in emulsions. J. Food Sci. 57(4): 883-886.
10. Patino, J.M.R., Garcia, J.M.N., Nino, M.R.R., 2001. Protein-lipid interactions at the oil-water interface. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 21: 207-216.
11. Metin, M., 1999. Süt Teknolojisi. Sütün Bileşimi ve İşlenmesi. 1. Bölüm. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 33. Ege Üniversitesi Basımevi. Bornova, İzmir.
12. McWilliams, M., 1997. Foods Experimental Perspectives. Third Edition. New Jersey: Merrill/Prentice Hall.
13. Dlagleish., D.G., Sharma, S.K., 1992. Interactions between milk fat and milk proteins-The effect of heat on the nature of the complexes formed. In Protein & Fat Globule Modifications by Heat Treatment, Homojenization & Other Technological Means for High Quality Dairy Products. IDF Special Issue No: 9303, IDF 41, Square Vergate, B-1040, Brussels, Belgium, 7-17p.
14. Özer, B., 1999. Konsantre yoğurt jelinin oluşumunda etkili faktörler. II. Hidrofobik ve iyonik interaksyonların rolü. Gıda 24(4): 253-259.
15. Atamer, M., Yıldırım, Z., Yıldırım, M., 1992. Farklı basınçlarda uygulanan homojenizasyon işleminin set yoğurtların bazı nitelikleri üzerine etkisi. Gıda 17(4): 255-258.
16. Vaitkus, V., Urbshene, L., 1992. Structural protein-fat milk systems. In Protein & Fat Globule Modifications by Heat Treatment, Homojenization & Other Technological Means for High Quality Dairy Products. IDF Special Issue No: 9303, IDF 41, Square Vergate, B-1040, Brussels, Belgium, 171-175p.
17. Shimizu, M., Ametani, A., Yamauchi, K., 1992. Emulsifying properties of -lactoglobulin: Its structure on an emulsified oil surface. In Protein & Fat Globule Modifications by Heat Treatment, Homojenization & Other Technological Means for High Quality Dairy Products. IDF Special Issue No: 9303, IDF 41, Square Vergate, B-1040, Brussels, Belgium, 362-367p.
18. Gürsel, A., Avşar, Y.K., Koçak, C., 1994. Peynir Mayasıyla Oluşan Pıhtılarda Sinerez. Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No: 19. Ankara, 29s.
19. Guo, M.R., Hendrics, G.M., Kindstedt, P.S., 1998. Component distribution and interactions in powdered infant formula. Int. Dairy Journal 8: 333-339.
20. Guo, M.R., Hendrics, G.M., Kindstedt, P.S., 1999. Effect of processing on protein-protein and protein-lipid interactions and mineral distribution in infant formula. Int. Dairy Journal 9: 395-397.

# III.ULUSLARARASI AMBALAJ KONGRESİ ve SERGİSİ

**03-06 ARALIK 2003**

**İLETİŞİM BİLGİLERİ  
KMO EGE BÖLGE ŞUBESİ**

**1456 SOKAK NO:22 D: 2  
BARIŞ APARTMANI  
ALSANCAK / İZMİR  
TEL: 0232 421 35 35  
FAX: 0 232 464 59 08**

**e-mail: kmoege@ttnet.net.tr  
www.kmo.org.tr**

Derginiz  
**Akademik**  
**Gıda'ya**  
Abone  
Oldunuz mu?  
**www.akademikgida.com**