

KONSANTRE YOĞURT JELİNİN OLUŞUMUNDA ETKİLİ FAKTÖRLER I. TIOL/DİSÜLFİT ARADEĞİŞİM REAKSİYONLARININ ROLÜ

FACTORS AFFECTING THE FORMATION OF CONCENTRATED YOGHURT GEL. I. ROLE OF THIOL/DISULFIDE INTERCHANGE REACTIONS

Barbaros H. ÖZER

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Bilimi ve Teknolojisi Bölümü, 63040, Şanlıurfa

ÖZET: Tiol/disülfid ara değişim reaksiyonunun koyulaştırılmış yoğurt jelinin fiziksel özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Jelin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde yeni bir teknik olan dinamik titreşimli reometre (dynamic oscillatory rheometer) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tiol/disülfid ara değişim reaksiyonlarının jel oluşumunda son derece büyük bir öneme sahip olduğu saptanmıştır. Bu interaksiyonların 2-ME aracılığı ile teşvik edilmesi ya da NEM aracılığı ile engellenmesi yoğurt pıhtısının sıklığını sırasıyla artırıcı ya da azaltıcı etki yapmıştır.

ABSTRACT: The effect of thiol/disulphide interchange reactions on the physical properties of concentrated yoghurt gel systems was investigated. In the determination of the physical properties of concentrated yoghurt, a new technique named dynamic oscillatory rheometer was employed. Results obtained suggested that this mentioned interactions are of particularly importance in the formation of yoghurt gel. The stimulation of these interactions by adding 2-ME and the prevention by NEM caused an increase and a decrease in the gel firmness, respectively.

GİRİŞ

Yoğurt jeli, kovalent (tiol/disülfid aradeğişim reaksiyonu) ve kovalent olmayan (hidrofobik, iyonik, elektrostatik...) interaksiyonlar aracılığı ile oluşan sürekli (continuous) bir protein ağ yapısı olarak tanımlanabilir. Isı uygulaması ve asitlik gelişimi ile indüklenen bu üç boyutlu jel, partikül (makromolekül) yapısına sahiptir. (Dickinson, 1990). Dolayısıyla, bu yapıyı oluşturan makromoleküllerin özellikleri ve pıhtı içindeki davranışları, jelin doğal niteliklerini belirlemektedir. Bir yoğurt jelinin en önemli karakteristikleri; yapının homojenliği, sinerez eğilimi, pıhtı sıklığı ve mekanik kırılma direnci karşı gösterdiği dirençtir. Tüm bu özellikler, makromolekül (kazein) konsantrasyonu, jelin entalpi/entropik doğası ve partiküller arası itme/çekme kuvvetleri tarafından belirlenmektedir. Yoğurt jeli, homojen olmayan viskoelastik bir yapıdadır (Roefs, 1986; Steventon ve ark., 1990). Kazeinlerin ağ yapısı içerisinde düzensiz dağılımı nedeniyle, protein birleşim noktaları (protein junction points) düzensiz sayıda protein partikülü içerebilmektedir. Bir protein birleşim noktasındaki bağımsız protein partikül sayısındaki artış, pıhtı sıklığındaki artışı her zaman beraberinde getirmemektedir. Asıl önemli nokta, bağımsız protein partikülü miktarındaki artış değil, protein birleşim noktalarının sayısındaki artıştır. Çünkü yoğurdun viskoelastik özellikleri bu noktaların dağılımı ve içerdiği bağımsız protein partikülü miktarı ile ilintilidir. Genel olarak, bir jel, üzerindeki deformasyon kuvvetlerine eşit oranda direnç göstereceğinden, homojen bir ağ yapısının mekanik etkilere ve sinereze karşı daha dayanıklı olması beklenmektedir. Aynı protein konsantrasyonunda homojen olmayan bir ağ yapısı içerisinde, kuvvet taşıyan (stress-carrying nodes) bağlantı noktası sayısı daha az ve çok sayıda bağımsız protein partikülü içereceğinden- daha kalın olduğundan sinerez eğilimi daha fazladır.

Yaygın olarak kullanılan klasik reometrik yöntemler ile (viskozimetre ya da penetrometre gibi), zayıf jel özelliği gösteren yoğurdun reolojik özelliklerinin ölçümü hatalı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu tip ekipmanlar, ölçüm sırasında pıhtıyı parçaladığı için, jelin doğal fiziksel niteliklerini yansıtmamaktadır (ÖZER ve ark., 1997, 1998). Bu amaçla, jeli deforme etmeden viskoelastik özelliklerin ölçümüne yönelik yeni metotlar geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi olan dinamik titreşimli reometre ile pıhtı zedelenmeden viskoelastik karakteri oluşturan viskoz ve elastik bileşenlerin ölçümü mümkün olmaktadır.

Bu araştırmada, kovalent bağların koyulaştırılmış yoğurt jeli oluşumuna etkilerinin reolojik ve elektroforetik olarak irdelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve METOT

Araştırmada hammadde olarak rekonstitüye yağlı süttozu (Adams Food Ingredients, Leek, Staff., İngiltere) kullanılmıştır. Konsantre yoğurt yapımında, %16 toplam kurumaddeyi sağlayacak oranda süttozu ve su karıştırılarak (40°C'de) yoğurt sütü hazırlandıktan sonra 4 eşit bölüme ayrılmış ve

- (a) Ultrafiltrasyon (UF)
- (b) Reverse osmosis (RO)
- (c) Direk rekonstitusyon (DR)

metotları ile ~ %23 KM'ye kadar konsantrasyon sağlanmıştır.

- (d) %16 KM'li dördüncü kısım süt kontrol örneği olarak konsantre edilmeksizin denemeye alınmıştır. Kurumadde artışı takiben standard yoğurt yapım tekniği izlenmiştir (TAMIME ve ROBINSON,1985).

Buna göre;

- 85°C'de 20 dakika ısı uygulaması (Vat tekniği ile)
- %2 (v/v) kültür katımı (*Str. thermophilus/Lb. delbrueckii* sub-sp *bulgaricus* karışım kültürü, CH-1, Chr. Hansen, Reading İngiltere) ve pH 4.0'a kadar inkübasyon.
- Soğuk depolama (<4°C, 12 saat).

Ön denemeler sonunda, geleneksel yöntemle (torbada süzme) üretilen konsantre yoğurtlarda süzülme sonrası pH değeri 4.0-4.1 arasında bulunmuştur. Bu yüzden bu değer koyulaştırılmış set yoğurtlarda inkübasyon sonu için baz alınmıştır.

Denemede kullanılan kurumadde artırım yöntemleri aşağıda detaylandırılmıştır:

A) Ultrafiltrasyon (UF): Paterson Candy marka pilot UF-aleti (Paterson Candy, Whitchurch, Hampshire, İngiltere, tipi ES (625) kullanılmıştır. Aletin seperasyon etkinlik sınırı 25,000 dalton molekül ağırlığıdır. Tübülar tip polietersulfon membran kullanılmıştır ve embranın yüzey alanı 0.8 m²'dir. Giriş (inlet) ve çıkış (outlet) basınçları sırasıyla 0.3 ve 0.1 MPa'dır. Ultrafiltrasyon 50±1°C'de gerçekleştirilmiştir ve besleme tankının cidarlarından buzlu-su sirkülasyonu ile sıcaklık artışı kontrol altında tutulmuştur.

B) Reverse Osmosis (RO): Reverse osmosis ile konsantrasyonda Paterson Candy marka (ZF 99 tip) pilot RO aleti kullanılmıştır. Borulu (tübülar) polietersulfon membran içinden 2.0MPa transmembran basıncı ile geçirilen sütün membran ile temas yüzeyi 1.2 m²'dir. Reverse osmosis boyunca sıcaklık 50±1°C'de tutulmuştur.

C) Direk Rekonstitusyon (DR): Yaklaşık %22-23 KM'yi sağlayacak oranda süttozunun su içinde çözündürülmesi (40°C'de) ile elde edilen süt yukarıda tarif edilen yöntemle göre yoğurda dönüştürülmüştür.

Isı ile indüklenmiş serum proteinleri/ κ -kazein kompleksi oluşumunda tiol/disülfid aradeğişim reaksiyonları büyük öneme sahiptir (DOİ ve ark., 1983; HILL, 1989; SHIMADA ve CHEFTEL, 1989). Bu araştırmada, tiol/disülfid aradeğişim reaksiyonlarının konsantre yoğurt jelinin fiziksel özellikleri üzerine etkilerini araştırmak amacıyla değişen oranlarda tiol gruplarını bağlayan (N-ethylmaleimide, NEM) ve tiol/disülfid reaksiyonlarını teşvik eden (2-mercapoethanol, 2-ME) maddeler süte katılmıştır. Bu iki madde, pH 7.0'nin altında tiol/disülfid grupları için oldukça spesifiktir (Means ve Feeney, 1971). 2-ME ve NEM katımını takiben sütler, 1 saat süre ile oda sıcaklığında bekletilerek reaksiyonun tamamlanması sağlanmış ve ardından yoğurda dönüştürülmüşlerdir. 2-ME ve NEM konsantrasyonları 0 ile 10 mmol/l arasında değişmiştir.

Toplam kurumadde gravimetrik olarak belirlenmiştir (BSI, 1963). Protein (N x 6.38) standard mikrokjeldahl (BSI, 1988a), kül gravimetrik olarak (BSI, 1988b)ç ve yağ Gerber metoduna göre (BSI, 1989a) belirlenmiştir. pH ölçümleri bileşik elektrotlu pH-metre (Kent EIL 7045/46 model) ile yapılmıştır. Toplam asitlik titrimetrik yolla saptanmış ve %laktik asit olarak ifade edilmiştir (1989b).

Dinamik reolojik ölçümler, bir dinamik reometre (dynamic oscillatory rheometer) aracılığı ile saptanmıştır.

Çalışmada paralel plakalı, kuvvet-kontrollü (controlled-stress) dinamik reometre kullanılmıştır (Rheo Tech, Int., Leeds, İngiltere). Plaka çapı 10 mm, plakalar arası boşluk 1 mm (örnek kalınlığı) olarak kalibre edilmiştir. Ön denemeler ile belirlenen amplitüd aralığı ve frekans değeri sırasıyla, $1,5 \times 10^{-2}$ - $1,5 \times 10^{-1}$ mNm ve 0,25 Hz'dir. Ölçüm sıcaklığı 25°C'dir. Tüm işlemler bilgisayar destekli ortamda gerçekleştirilmiş ve sonuçlar elastik (G') ve viskoelastik (tan δ) modül olarak Paskal cinsinden ifade edilmiştir.

Elektroforetik çalışmalar, doğal-P.A.G.E. elektroforezi aracılığı ile Laemmli yöntemine göre yapılmıştır (Laemmli, 1970). Toplam monomer konsantrasyonu %12.5 olarak belirlenmiştir. Örnek, protein standartları ve molekül ağırlığı standartları miktarları sırasıyla 25 μ l, 20 μ l ve 10 μ l'dir. Jeller 200 volt sabit voltaj ve 60 mA sabit akım koşullarında yürütülmüşlerdir. Toplam jel yürütme süresi 1 saat olarak belirlenmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMALAR

Denemeye alınan

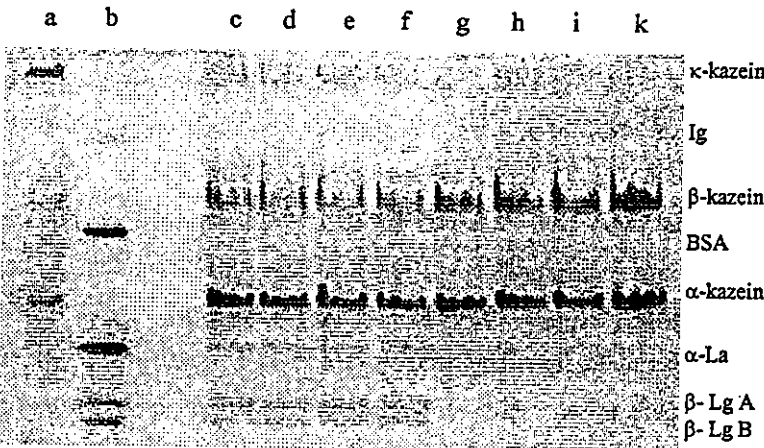
örneklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de sunulmaktadır. Buna göre UF ile üretilen örnek daha yüksek protein ve yağ içeriğine sahip olurken RO ve DR ile üretilen örneklerde süt bileşenleri koyulaştırma oranına paralel bir artış göstermiştir. Bu farklılığın nedeni UF ile laktoz ve diğer düşük molekül ağırlıklı bileşenlerin (<25,000 Da) permeat ile uzaklaştırılmasıdır.

Çizelge 1. Deneme Örneklerinin ve Hammadde Süttozunun Kimyasal Kompozisyonu. Sonuçlar gram/100 gr Örnek Olarak İfade Edilmiştir. (X±Standard Hata) (n=3).

Örnekler	Kurumadde	Protein	Laktoz ²	Yağ	Kül
Kontrol	16,00±0,18	4,36±0,08	6,16 ±0,09	4,50±0,15	0,98±0,03
UF-yoğurt	22,24±0,20	9,00±0,11	4,26±0,09	8,20±0,13	0,78±0,01
RO-yoğurt	23,22±1,03	6,82±0,48	9,07±0,02	6,25±0,07	1,08±0,03
DR-yoğurt	22,50±0,19	6,38±0,48	8,72±0,31	6,10±0,14	1,30±0,02
Süttozu ¹	96,75	26,00	38,50	26,25	6,00

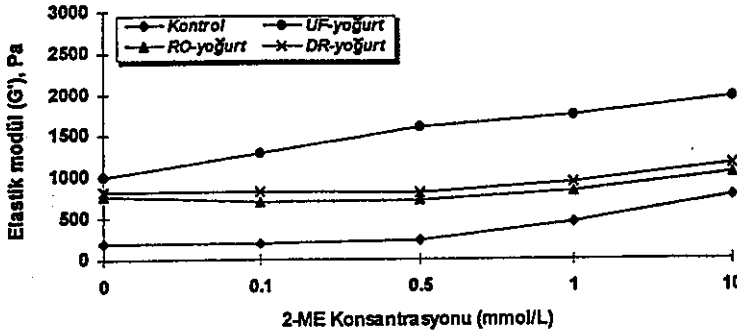
¹) Süttozu bileşimi ürün kataloğundan alınmıştır.

²) Laktoz fark yolu ile hesaplanmıştır.



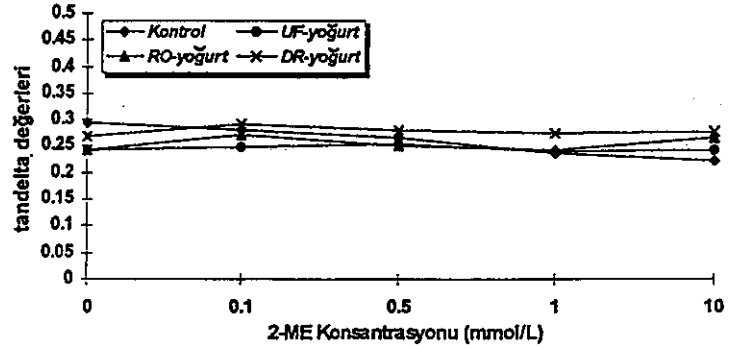
Şekil 1. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış sütün doğal-P.A.G.E örnekleri. a) Kazein standartları, b) Serum proteini standartları, Isıl işlem görmemiş sütün: c) Kontrol, d) UF, e) RO, f) DR, Isıl işlem görmüş sütün: g) Kontrol, h) UF, i) RO, k) DR

Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış süt örneklerinin protein fraksiyonlarındaki değişimler Şekil 1'de gösterilmektedir. Genel olarak tüm örneklerde ısıl işlem uygulanmamış sütün protein yapısı benzerlik göstermiştir. Doğal poliakrilamid jel elektroforezi (Native-P.A.G.E) tekniğinde α_{s1} - ve α_{s2} -kazeinler birbirlerinden ayıramadığı için bu iki kazein fraksiyonu α_s -kazein olarak tanımlanmaktadır. Doğal-P.A.G.E. jeli üzerinde, α_s ve β - kazein fraksiyonları k-kazeinden biraz daha belirgin bulun-

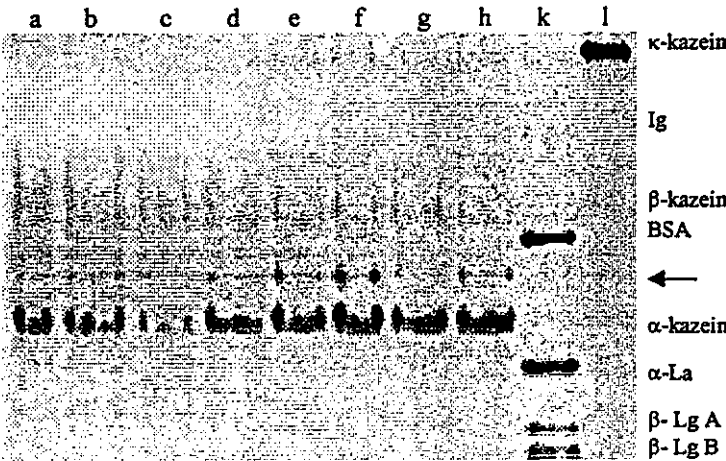


Şekil 2. Tiol-indirgen maddenin (2-ME) test örneklerinin elastik modülleri (G') üzerine etkileri, Sonuçlar dört tekerrür ortalamasıdır (n=4). (2-ME su içerisinde hazırlanmıştır).

larındaki rolünü de teyit etmektedir. Yüksek PH değerlerinde (düşük asitlikte) ısı ile indüklenmiş protein interaksyonlarının tamamlanmadığı bilinmektedir (Hill, 1989). Isı uygulanmış sütlerde anılan bantlar tamamen kaybolmuştur. Ayrıca k-kazein bantının yoğunluğunda bir miktar daha azalma göze çarpmıştır. Bununla birlikte, diğer kazein fraksiyonlarında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Bu yüzden, serum proteinleri ile kazein



Şekil 3. Tiol-indirgen maddenin (2-ME) test örneklerinin tan s değerleri üzerine etkileri. (n=4)

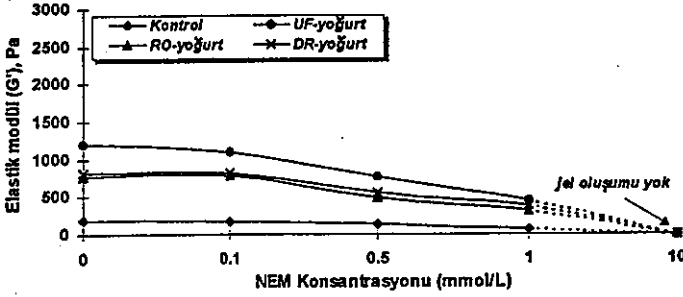


Şekil 4. 2-ME katılımlı test yoğurtlarının doğal-P.A.G.E. örnekleri. 10 mmol/l konsantrasyon; a) DR-yoğurt, b) RO-yoğurt, c) UF-yoğurt, d) Kontrol. 0.1 mmol/l konsantrasyon; e) DR-yoğurt, f) RO-yoğurt, g) UF-yoğurt, h) Kontrol, k) Serum proteini standartları, l) κ -kazein standardı. (→) Tahmini k-kazein/ β -laktoglobulin kompleksi

muştur. Buna karşın α -laktalbumin ve β -laktoglobulin bantlarının standard proteinler ile karşılaştırıldığında daha az yoğunlukta olduğu saptanmıştır. Bu olay, büyük olasılıkla süttozu üretimi sırasında serum proteinlerinin kısmi denatürasyonundan kaynaklanmaktadır. Ancak, denatüre serum proteini ile kazein interaksyonu elektroforez bandı üzerinde görülmemeye kadar düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Bu bir anlamda asitliğin kazein/serum proteini interaksyon-

interaksyonlarında, tüm serum proteinleri yer alırken, kazein fraksiyonlarından yalnızca k-kazeinin belirleyici rol oynadığı ileri sürülebilir.

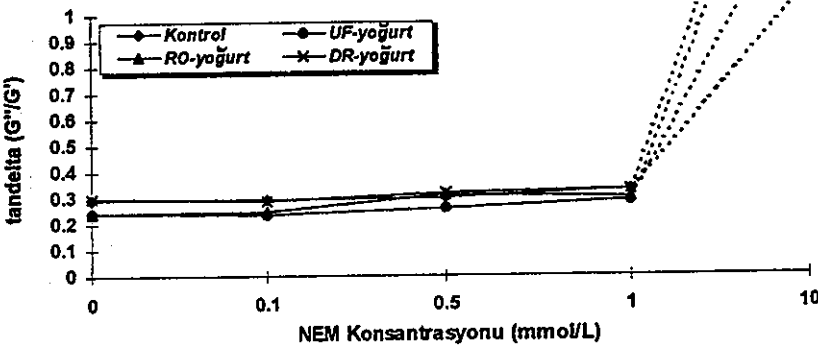
Genel olarak, kontrol, RO-ve DR-yoğurtlarda 1 mmol/l 2-ME konsantrasyonuna kadar herhangi bir reolojik değişim gözlenmemiştir (Şekil 2). Bu değer üzerinde ise daha sıkı ancak gözle görülebilecek kadar kaba/pütürlü bir yapı ile karşılaşılmıştır. Buna karşın, UF-yoğurtta, 2-ME konsantrasyonu artışına paralel, elastik (G') karakterde dereceli bir artış gözlenmiştir. UF-



Şekil 5. Tiol gruplarının bloke eden maddenin (NEM test örneklerinin elastik modülleri (G') üzerine etkileri. (NEM etanol içeren su içerisinde (20 ml/L) hazırlanmıştır (n=4).

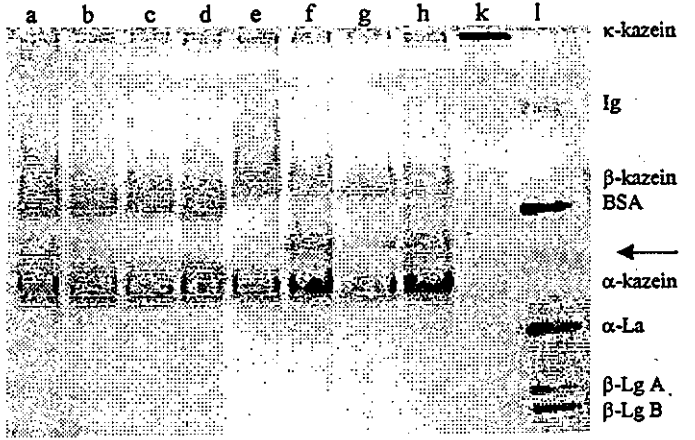
parametredir ve bu değer değişmeden kalması, aynı interaksiyon tipi hakkında bilgi veren bir parametredir ve bu değer değişmeden kalması, aynı interaksiyon kuvvetlerinin sisteme yer aldığıın göstergesidir. Elastik (G') modülün yüksekliği, protein bağlarının sayısı ve dağılımı ile ilişkili olduğundan, UF-yoğurtta yüksek G' değerleri daha fazla sayıda protein bandının ağ yapısı içinde yer aldığıın ve/veya proteinlerin bu yapı içinde daha az homojen dağıldığıın kanıtıdır. Kontrol örneğinde daha düşük G' değerleri ve konsantrasyona paralel artış gösteren $\tan \delta$ değerleri, düşük protein içerikli sistemlerde diğer interaksiyon güçlerinin de (hidrofobik, elektrostatik ve iyonik interaksiyonlar gibi) en az tiol/dilsüfit reaksiyonları kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Doğal-P.A.G.E. sonuçlarına göre, κ -kazeinin jel üzerinden kaybolması 2-ME konsantrasyonuna bağlı bulunmuştur. (Şekil 4). Düşük 2-ME konsantrasyonunda (0.1 mmol/l), κ -kazein bandının düşük yoğunlukta



Şekil 7. Tiol gruplarını bloke eden maddenin (NEM) test örneklerinin $\tan \delta$ (G''/G') değerleri üzerine etkileri. (n =4).

yoğurtta yüksek protein içeriği, ağ yapısı düzeyinde-muhtemelen- daha az homojen bir yapının oluşumuna neden olmuştur. Tiol gruplarının dağılımı protein ağının homojenliği ile direk olarak ilişkilidir. Dolayısıyla, yüksek protein içerikli UF-yoğurtta daha fazla reaksiyona kapalı tiol grubunun varlığı teorik olarak kabul edilebilir. Kontrol örneği hariç tüm örneklerde $\tan \delta$ (G''/G') değerleri değişmeden kalmıştır (Şekil 3). $\tan \delta$ değeri interaksiyon tipi hakkında bilgi veren bir



Şekil 6. NEM katılmış test yoğurtlarının doğal-P.A.G.E örnekleri. 10 mmol/l konsantrasyon: a) DR-yoğurt, b) RO-yoğurt, c) UF-yoğurt, d) Kontrol, 0.1 mmol/ konsantrasyon e) DR-yoğurt, f) RO-yoğurt, g) UF-yoğurt, h) Kontrol, 1) Serum proteini standartları, k) κ -kazein standardı (→). Tahmini κ -kazein/b-laktoglobulin kompleksi.

2-ME konsantrasyonuna bağlı olarak halen var olduğu dikkat çekmektedir. Ancak, yüksek 2-ME konsantrasyonunda (10 mmol/l) bu kazein fraksiyonu tamamen kaybolmuştur. Buna ek olarak, elektroforez jeli üzerinde yeni bir band oluşumu gözlemlenmiştir. Bu yeni band tahminen interaksiyona girmiş serum proteinleri/ κ -kazein kompleksine aittir. Örnekler

arasında reolojik olarak belirgin farklılığa karşın, protein kompozisyonu bakımından benzerlik, serum proteini/ κ -kazein interaksyonunda kovalent olmayan bağların (hidrofobik ve iyonik güçler) ya da polipeptidlerin fiziksel yığılımının da etken olduğunu göstermektedir (SAWYER ve COULTER, 1963; SAWYER, 1968, 1969; WATANABE ve KLOSTERMAYER, 1976).

Benzer şekilde, tiol gruplarını bağlayan madde (NEM)'nin katımı, NEM konsantrasyonuna bağlı olarak, örneklerin elastik (G') modülünde önemli düşüslere neden olmuştur (Şekil 5). En yüksek NEM konsantrasyonu (10 mmol/l) jel oluşumunu tamamen engellemiştir. Bu sonuçlar doğal-P.A.G.E. sonuçları ile uyum içindedir (Şekil 6). Düşük konsantrasyonlarda serum proteini/ κ -kazein interaksyonunu temsil eden bir bandın varlığı sözkonusu iken, yüksek konsantrasyonda bu band kaybolmuştur. Bir diğer ifade ile, protein interaksyonları engellenmiştir. Test örneklerinin tan δ değerlerindeki yakınlık aynı tip interaksyon güçlerinin jel oluşumunda yer aldığını (Şekil 7), G' değerlerindeki farklılık ise protein konsantrasyonuna bağlı olarak bağ sayısı ve/veya bağların jel içindeki dağılımında dengesizliklerin (homojen olmayan yapı) ve var olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. 1963. Methods for the chemical analyses of liquid milk and cream **BS 1741** London, UK.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. 1988a. Chemical analyses of liquid milk and cream. **BS 1741: Section 5.1** London, UK.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION.. 1988b. Chemical analyses of liquid milk and cream. **BS 1741: Part 9.** London, UK.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION.. 1989a. Determination of fat content of milk and milk products (Gerber method). **BS 696: PART 2.** London, UK.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. 1989b. Chemical analyses of liquid milk and cream. **BS 1741: Section 10.1** London, UK.
- DICKINSON, E. 1990. Particle gels *Chemistry and Industry*, October, **No. 19**, 595-599.
- DOI, H., IDENO, S., IBUKI, F. and KANAMORI, M. 1983. Participation of the hydrophobic bond in complex formation between κ -casein and β -lactoglobulin. *Agricultural and Biological Chemistry*, **47 (2)**, 407-409.
- HILL, A.R. 1989. The β -Lactoglobulin κ -casein complex *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, **22 (2)**, 120-123.
- LAEMMLI, U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 680-685.
- MEANS G.E. and FEENEY, R.E. 1971. *Chemical Modifications of Proteins*. Holden Day Publ., San Fransisco, USA, pp. 112-149.
- ÖZER, B.H., ROBINSON, R.K., GRANDISON, A.S. ve BELL, A.E. 1997. Comparison of techniques for measuring the rheological properties of labneh (concentrated yoghurt). *International Journal of Dairy Technology*, **50 (4)**, 129-134.
- ÖZER, B.H., ROBINSON, R.K., GRANDISON, A.S. ve BELL, A.E. 1998. Rheological characteristics of labneh (concentrated yoghurt) produced by various concentration techniques. *International Dairy Federation Proceedings on "Textural Properties of Fermented Dairy Products and Dairy Desserts"*. 4-5 May, Vicenza, Italy, s. 181-185.
- ROEFS, S.P.F.M. 1986 *Structure of Acid Casein Gels*. Ph.D. Thesis. Agricultural University, Wageningen, the Netherlands.
- SAWYER, H.W. And Coulter, W.H. 1963. Role of sulphhydryl groups on the interactions of κ -casein and β -lactoglobulin. *Journal of Dairy Science*, **46(1)**, 564-570.
- SAWYER, H.W. 1968. Heat denaturation of bovine β -lactoglobulins and relevance of disulfide aggregation. *Journal of Dairy Science*, **51 (3)**, 323-329.
- SAWYER, H.W. 1969. Complex between β -lactoglobulin and κ -casein A review. *Journal of Dairy Science*, **52 (2)**, 1347-1353.
- SHIMADA, K. and CHEFTEL, J.C. 1989. Sulphydryl group / disulfide bond interchange reactions during heat-induced gelation of whey protein isolate. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **37**, 161-168.
- STEVENTON, A.J., PARKINSON, C.J., FRYER, P.J. and BOTTOMLEY, R.C. 1990. The rheology of yoghurt. "In: *Rheology of Food, Pharmaceutical and Biological Materials with General Rheology*. Car8ter R.E. (Ed), Elsevier Applied Science, London, England, p. 196-210."
- TAMİME, A.Y.ve ROBINSON, R.K. 1985. *Yoghurt: Science an Thecnology*. Pergamon Press.
- WATANABLE, K. and KLOSTERMAYER, H. 1976. Heat-induced changes in sulphhydryl and disulfide levels of β -lactoglobulin A and the formation of polymers. *Journal of Dairy Research*, **43**, 411-418.