

## Protein - Su İnteraksiyonları

Asuman GÜRSEL, Ayşe GÜRSOY

Ankara Üniversitesi Zir. Fak. Süt Teknolojisi Bölümü — ANKARA

### ÖZET

Protein-su interaksyonu gıda sistemlerinin dehidrasyon, rehidrasyon, çözünbilme, belirli bir viskoziteye sahip olma, jelleşme, ısıya karşı stabilite gösterme gibi özellikleri açısından önemli bir oluşumdur. Proteinlerle su arasındaki interaksyonlar esas olarak protein molekülündeki polar amino asit bölgelerinde meydana gelmektedir. Protein içeren gıda sistemlerinde su tiplerinin tanımlanması için strüktürel, tek katmanlı, dondurulamayan, hidrofobik hidrasyon, çok katmanlı, imbibisyon ya da kapillar ve hidrodinamik hidrasyon suyu terimleri kullanılmaktadır. Protein-su interaksyonlarını etkileyen faktörler protein molekülündeki su bağlanan bölgelerin sayısı ve niteliği, pH değeri, sıcaklık derecesi, iyonlar ve diğer faktörleri içine almaktadır. Süt proteinlerinin su ile olan interaksyonları ısıtma, asit ya da enzimle pıhtılaştırma, koyulaştırma, kurutma, dondurulma gibi işlemler sonucu elde edilen çeşitli süt ürünlerinin fiziksel, kimyasal ve işlevsel özelliklerinde etkili olmaktadır.

### SUMMARY

#### PROTEIN - WATER INTERACTIONS PROTEIN - WATER INTERACTIONS

Protein-water interaction is an important phenomenon from the point of view of some properties of food systems such as dehydration, rehydration, solubility, viscosity, gelation and heat stability. Protein-water interactions occurs mainly at polar amino acid sites on the protein molecule. Terms of structural, monolayer, unfreezeable, hydrophobic hydration, multilayer, imbibition or capillary and hydrodynamic hydration water are used to describe the types of water in protein-food systems. Factors which affect the protein-water interactions include the number and the nature of water binding sites on the protein molecule, protein conformation, pH, temperature, ions and others. Milk/proteins-water interactions affect the physical, chemical and functional characte-

ristics of various milk products obtained by the processing treatments including heating, acid or enzymatic coagulation, concentration, drying and freezing.

### GİRİŞ

Çeşitli protein izolat ve konsantratları gıda sistemlerinde belirli işlevleri yerine getirmek üzere yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Proteinlerin gıda sistemlerinde başarıyla kullanımı, bunların köpük ya da emülsiyon stabilitesi sağlamak, jel oluşturmak, su tutmak gibi bir veya birden fazla işlevsel gereksinimi karşılayabilmelerine bağlı bulunmaktadır. Çoğu dehidratize halde olan protein katkı maddelerinin gıda sisteminde arzulan işlevsel özellikleri sağlamanın ilk ve en önemli aşama su ile interaksyona girmeleridir (CHOU ve MORR 1979). Proteinlerle su arasındaki interaksyonlar esas olarak proteinlerin polar gruplarıyla su arasında hidrojen bağı oluşumundan ileri gelmekle birlikte, hidrofobik interaksyonların da önemli rolü bulunmaktadır (HARWALKAR ve BROWN 1989).

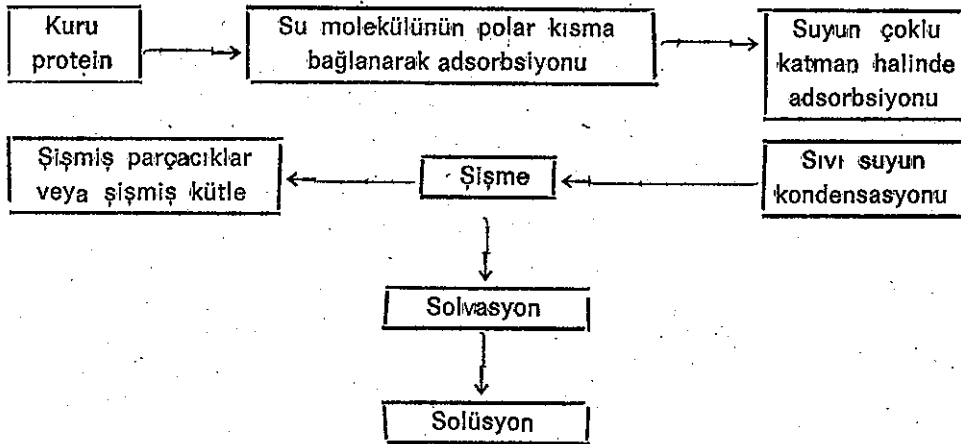
Sütün bileşiminde ırk, beslenme, laktasyon dönemi ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak % 3-4 dolayında protein bulunmakta ve bunun % 20'ye yakın çözünür durumda bulunurken, kalan kısım koloidal süspansiyonda tutulmaktadır (HARWALKAR ve BROWN 1989). Süt proteinleri kuvvetlice su bağlayabildiklerinden ve su ile güçlü bir şekilde interaksyona girebildiklerinden uygun pH değeri, sıcaklık derecesi ve iyon aktivitesinde oldukça çözünbilir durumda ve işlevsel özelliktedir. (MORR, 1989). Peynir yapımında kazein misel toplaklaşması ve sinerez, UHT yöntemiyle sterilize edilmiş koyulaştırılmış sütlerde jelleşme, kurutulmuş ürünlerde dağılılabilme, ıslanabilme, çözünbilme, dondurma ve dondurulmuş diğer ürünlerde buz ve laktöz kristalizasyonunun kontrolü, fermente ürünlerde jelleşme protein-su interaksyonlarına bağlı ya da bu inte-

raksiyonlardan etkilenen örnekler arasında (KINSELLA ve FOX 1987, MORR 1989).

### Protein - Su İnteraksiyonlarına İlişkin Terminoloji

Protein - su interaksiyonlarına ilişkin literatür incelendiğinde, gıdalarla birarada bulunan suyu ifade etmek üzere su absorpsiyonu, su adsorpsiyonu, su tutma, hidrasyon, su bağlama, bağlı ve ortaklanmış (associated) su gibi terimlerin birbiri yerine kullanıldığı ve üniform bir tanımlama konusunda araştırmacılar arasında tartışmaların sürdürüldüğü dikkati çekmektedir. KINSELLA ve FOX (1987)'a göre terminolojinin doğruluğu incelenen sisteme ve hidrasyon derecesine bağlı bulunmaktadır. Örn. su içeren bir gıda sisteminde, gıdaya dondurulma, haşlama ya da baskıya alma gibi işlemler uygulandığında su tutma veya su kaybetme sözü konusu olabilirken, dehidratize bir proteinin su

buharı veya su ile temasında akla ilk gelebilecek durum absorpsiyon veya su tutma olabilecektir. CHOU ve MORR (1979) tarafından toz haldeki bir proteinin protein - su interaksiyonundaki muhtemel aşamalar Şekil 1'deki gibi şematize edilmiştir. Buna göre, toz haldeki bir protein su buharına maruz kaldığında, su molekülleri yarayırlı tüm yüzey polar bölgelere absorblanarak tek sıralı (monolayer) bir katman oluşacaktır. Suyun daha da absorblanması çoklu katman (multilayer) adı verilen ek su katmanları oluşumunu sağlayacak, bunu suyun kondensasyonu ile sonuçlanan su - su interaksiyonu izleyecektir. Bu aşamada protein taneçikleri şişmiş durumdadır ve eğer protein çözünebilir halde ise, her bir protein molekülü çözünebilmek için yeterli derecede su molekülleriyle çevrilmeye kadar şişme devam edecektir. Araştırmacılara göre, bu olay aşamaları arasında kesin bir sınırın bulunmadığı, sürekli, birbiri üzerine katlanan bir süreçtir.



Şekil 1. Kuru proteinin protein - su interaksiyonu aşamaları (CHOU ve MORR 1979)

KUNTZ ve KAUFMANN (1974; KINSELLA ve FOX 1987)'den) proteinlere su bağlanması olayını giderek artan su aktivitesi değerlerinde proteinlerle birlikte bulunan suyun termodinamik ve kinetik özelliklerindeki değişimlere göre açıklamaktadır. Bu çerçevede, sorpsiyon, su tutma, hidrasyon, denge nem içeriği terimleri belirli bir denge su buharı basıncı, denge nisbi nem veya su aktivitesinde proteinle birlikte bulunan su miktarını (gr H<sub>2</sub>O/100 gr protein) belirtmek için kullanılmaktadır. Araştırmacı-

lara göre, kuru proteine sorb - lanan, bağlanan ya da onunla birlikte bulunan başlangıç su molekülleri değişen fiziksel özellikler örn. azalan buhar basıncı, entropi, entalpi ve hacim ile artan özgül ağırlık, buharlaşma ısısı ve ısı kapasitesi göstermektedir.

Mevcut bilgilerin ışığında proteinlerle interaksiyona giren ya da proteinlerin etkisi altında bulunan suyun aşağıdaki tiplere ayrılacağı belirtilmekte ve böyle bir tanımlamanın «bağlı su», «kütle (bulk) suyu» gibi genel

sınıflandırmalardan daha özgün olduğu ve proteinlerin fiziksel, kimyasal, işlevsel özellikleriyle su arasındaki ilişkiyi açıklamayı kolaylaştıracağı ifade edilmektedir (CHOU ve MORR 1979, KINSELLA ve FOX 1987).

**Strüktürel Su :** Hidrojeni proteindeki polar gruplara bağlı olan sudur. Protein doğal yapısının stabilizasyonunda rol oynar. Birçok durumda kimyasal reaksiyonlar için uygun değildir. Ortamdan uzaklaştırılması oldukça zordur.

**Tek Katmanlı Su :** 0,05 - 0,2 su aktivitesinde hidrojen veya dipol interaksyonlarıyla proteinin iyonik ve polar gruplarına kimyasal olarak sorblanan su molekülünün ilk tek katmanı. Bu su (2 - 10 gr/100 gr protein) kütle suyundan farklı termodinamik ve kinetik özelliklere sahiptir. Çözücü olarak yararlı değildir, ancak bazı reaksiyonlarda elverişli olabilir.

**Hidrofobik Hidrasyon Suyu :** 0,1 - 0,25 su aktivitesinde proteinin açık hidrofob rezidülerini çevreleyen, kafes benzeri yapıda olduğuna inanılan sudur. Bu su bazı reaksiyonlar için uygundur, ancak çözücü değildir.

**Çok Katmanlı Su :** 0,3 - 0,7 su aktivitesinde strüktürel suyu çevreleyen su katmanlarıdır.

**Dondurulamayan Su :** 0,9 su aktivitesine kadar olan, donmayan, sıralı (ordered) suyun tümüdür. Protein molekülünün her bir polar grubu etrafında kümelenmiş toplam su moleküllerinin temsil ettiği strüktürel ve tek katmanlı suyu içine alır. Miktarı (50 gr/100 gr protein) amino asit içeriğine göre değişir. Bazı kimyasal reaksiyonlara dahil olur ve çözücü işlevi görür.

**İmbsiyon Suyu ya da Kapillar Su :** 0,5 - 0,95 su aktivitesinde protein molekülündeki yüzey ve kapillar kuvvetlerle boşluklarda fiziksel olarak tutulan sudur. Peynir pıhtısı gibi jelleşmiş ürünlerdeki suyun büyük bir kısmını oluşturur. Fiziksel özellikleri bakımından kütle suyuna benzer. Çözücü olarak ve kimyasal reaksiyonlar için uygundur.

**Hidrodinamik Hidrasyon Suyu :** 0,99'dan büyük su aktivitesinde protein makromolekülü-

nü çevreleyen proteinin difüzyonu sırasında onunla birlikte taşınan sudur.

## PROTEİN - SU İNTERAKSİYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

### A. Protein molekülündeki hidrasyon yerlerinin sayısı ve niteliği

Protein - su interaksyonları esas olarak protein molekülündeki polar amina asit gruplarında meydana gelmektedir (CHOU ve MORR 1979). KUNTZ (1971: CHOU ve MORR 1979'dan)'a göre katyonik, anyonik ve iyonik olmayan polar bölgeler farklı miktarda su molekülü bağlamaktadır. Diğer taraftan polar grupların söz konusu interaksyonlar için sterik bakımdan uygun olup olmaması da bağlanan su miktarını etkilemektedir (CHOU ve MORR 1979).

### B. Fiziksel - Kimyasal etkenler

**1. Protein yapısı :** Protein molekülündeki yapısal değişimler hidrasyon bölgelerinin yarıyışlılığını ve niteliğini dolayısıyla su bağlama reaksiyonlarının termodinamik özelliklerini etkileyebilmekte, molekül yapısının sıkı globüler biçiminde rastgele kıvrımlı bir şekle dönüşmesi molekülün iç bölgelerinde bulunan peptit bağları ve amino asit uçlarının su ile reaksiyona girmesi ve sonuç olarak daha fazla su bağlamaya neden olmaktadır (CHOU ve MORR 1979, KINSELLA ve FOX 1987). Bununla birlikte protein sisteminin dördüncü yapısını değiştiren ısıtma, koyulaştırma, kurutma gibi işlemler polar amino asit gruplarının su bağlamaya elverişliliğini azaltabilmekte, proteinin hidrofobik interaksyonlar yoluyla agregasyonu da toplam yüzey alanını önemli derecede küçültmekte ya da protein matriks ağının zayıflamasına yol açmaktadır (CHOU ve MORR 1979). Diğer taraftan, topaklaşmış protein sistemlerinin değişen yapısal özellikleri yeni oluşan ağ yapısı içinde suyun tutulmasıyla ek protein-su interaksyonları sağlamaktadır (CHOU ve MORR 1979).

**2. pH :** KUNTZ (1971; CHOU ve MORR 1979'dan)'a göre iyonize olan amino asitleri iyonize olmamış gruplardan 2-3 kat daha fazla su bağlamaktadır. Böylece pH'nın 4'ün altına düşürülmesi karboksil gruplarını iyonize olma-

yan şekle dönüştürmekte ve proteinin su bağlama özelliklerini azaltmaktadır (CHOU ve MORR, 1979). Protein molekülünün pH değeri proteinin net yükünü tayin ederek yapı ve hidrasyonun da belirleyicisi olmaktadır. Örn. izoelektrik noktada protein-protein interaksyonları en yüksek, buna karşın hidrasyon en düşük düzeyde iken protein matrisi de büzülmüş durumdadır (KINSELLA ve FOX 1987).

**3. İyonlar :** İyonik güç ve iyon türleri proteinlerin çözünbilme, belirli bir viskozite gösterme, jelleşme, şişme ve su bağlama kapasitelerinde önemli etkiye sahiptir (HERMANS-SON ve AKESSON 1975). Su ve tuz moleküllerinin amino asit gruplarına rekabete dayalı olarak bağlanmasıyla protein-su interaksyonlarında tuza bağlı değişimler oluşturulabilmektedir (CHOU ve MORR 1979). Tuzların söz konusu interaksyonlar üzerindeki etkisi hidratize iyon çapının büyüklüğüne de bağlı bulunmakta, daha büyük hidratize iyon çapına sahip olanlar proteinin dehidrasyonunu daha fazla etkilemektedir (KINSELLA ve FOX 1987).

**4. Sıcaklık derecesi :** Proteinler su aktivitesi aynı olmak koşuluyla, yüksek sıcaklık derecelerinde düşük deranelerdeki göre daha az su bağlamaktadır (HANSEN, 1976; CHOU ve MORR 1979'dan). Ancak sıcaklık derecesindeki değişimler protein yapısını da değiştirebileceğinden, sıcaklığın protein-su interaksyonundaki muhtemel etkisinin bu yolla aşılabileceği belirtilmektedir (CHOU ve MORR 1979).

**5. Diğer faktörler :** Yüzey aktif maddeler, organik çözücüler ve basınç protein-su interaksyonu etkileyebilmektedir (CHOU ve MORR 1979).

### SÜT PROTEİNİ - SU İNTERAKSİYONLARI

Dehidrat, çözelti ve jel halinde bulunan ürün sistemlerinde süt proteinlerinin su ile interaksyona girebilmeleri ve suyu hareketsiz hale getirebilmeleri büyük ölçüde fizikokimyasal durumlarına bağlı bulunmakta, bu son durum da pH, sıcaklık derecesi, protein ve toplam kurumadde içeriği, iyonik bileşim gibi faktörlere göre değişebilmektedir (MORR 1989). Bu nedenle süt proteini-su interaksyonlarına geçmeden önce kazein ve serum proteinlerinin

bazı fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1 ve 2'de özetlenmeye çalışılmıştır.

**Çizelge 1. Kazeinlerin bazı fizikokimyasal özellikleri (MORR 1975, 1985 ve 1989).**

Alt misellerde :

Çap, nm	10 - 20
Molekül ağırlığı, dalton	19 - 25x10 <sup>3</sup>
Açık yapısal (konformasyonel) durum	
Ampifilik özellik	
Hidrofob ve Ca iyon bağlarıyla interaksyonlara girmek	ç
İzoelektrik noktada (pH 4,5 - 5) ve $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 'de çözünmemek	

Misellerde :

Çap, nm	100 - 300
Molekül ağırlığı, dalton	2 - 18x10 <sup>3</sup>
Solvasyon, gr H <sub>2</sub> O/gr kuru misel	
0 - 5°C	2 - 3
25°C	1,6 - 2
Volüminozite, cc/gr kuru misel	
25°C	3,5 - 6
Kolloidal fosfatla Komplek oluşturmak	
Renninle pıhtılaşmak	
k - kazeinle stabilizasyon	
Disülfid moleküllerarası değişim mekanizmasıyla $\beta$ - lakto - globülinle interaksyona girmek	

**Çizelge 2. Serum proteinlerinin genel özellikleri (MORR 1985).**

Molekül ağırlığı, dalton	14.000 - 1.000.000
Sıkı (kompakt), globüler yapı	
Denatürasyon ve sülfidril grup aktivasyonu	
Disülfid moleküllerarası değişimi ve ve Ca bağı ile protein-protein interaksyonu	
İzoelektrik noktada (pH 4,5 - 5,0) denatüre olmuş formun çözünmemesi	

Kazeinlerin bazı fizikokimyasal özelliklerinin verildiği Çizelge 1'e dönüldüğünde protein-su interaksyonları açısından önemli özellikler-

den birisinin hidrasyon derecesinin bir ölçüsü sayılan voluminozite değeri olduğu MORR (1988) tarafından belirtilmektedir. Araştırmacıya göre, bu değer yüksekliği kazeinlerin yüksek solvasyon derecesinin açıklanmasına yardımcı olmaktadır. Misel solvasyonu pH 6,6'da imbibisyon suyuna bağlı olarak düşük düzeyde iken, kazeinlerin izoelektrik noktasına yaklaşan pH 5'de muhtemelen kısmi misel topaklaşmasına dayalı olarak artmakta, pH 7'nin üzerinde de daha fazla kolloidal fosfatın misel üzerinde birikimi nedeniyle yine artış gösterilmektedir (Çizelge 3) (MORR 1989). Öte yandan süt sıcaklığının 35-40°C'ye çıkarılması kazein misel solvasyonunu büyük ölçüde azaltmakta ve 2-3 µm boyutlarında misel topaklarının oluşumu belirli süt ürünlerinde viskozite değişimi ve jelleşmeye yol açabilmektedir (MORR 1973 a ve b). Sütü 90°C ve üzerindeki sıcaklık derecelerine ısıtmanın da misel topaklaşması ve bir miktar daha serbest suyun imbibisyonu nedeniyle viskozite artışı, jelleşme ve pıhtılaşmaya neden olacağı ileri sürülmektedir (MORR 1965 a ve b).

**Çizelge 3. Yağsız sütte kazein misellerinin solvasyon değerleri (MORR 1989).**

Yağsız süt	Solvasyon (gr H <sub>2</sub> O/gr kuru misel)
Isıtılmamış, 0-5°C	2,86-3,11
Isıtılmamış, 35-40°C	1,64
Isıtılmamış, pH 5,0, 0-5°C	3,80
Isıtılmamış, pH 7,5, 0-5°C	3,48
Isıtılmamış (90°C'de), 0-5°C	2,85

pH'nın, özellikle 5-7 aralığında, kazein misellerinin su içeriğine etkisi fermente ürünler açısından dikkate değer bulunmakta ve 0,95'in üzerindeki su aktivitesinde pH'nın 4,7'ye düşmesiyle misellar sistemin su içeriği, gr protein için, 0,3 gr'dan 1,0 gr'a çıkarak sınırsız etkileyebilmektedir (KINSELLA ve FOX 1987). Peynirde ise, aynı su içeriğinde, pH'nın düşmesiyle misellerin su aktivitesindeki azalma istenmeyen mikroorganizmaların gelişiminin en düşük düzeyde tutulması ve olgunlaşmanın sey-

ri açısından önem taşımaktadır (KINSELLA ve FOX).

Serum proteinlerinden β-laktoglobulinin su ile olan interaksyonları konusudaki çalışmalardan birisi, esas olarak soğukta gerçekleşen hızlı dimer ↔ oktamer dengesi üzerinde odaklanmaktadır. FARRELL ve ark. (1989)'na göre, 3-7 pH aralığının dışındaki değerlerde kararlı iki alt birim, dimerden oluşan β-laktoglobulin pH 3,7-5,1 arasında sıcaklık azaldıkça kendiliğinden oktamer şekline dönüşmektedir. Oktamer, dörtlü bir eksen etrafında simetrik olarak ortaklanan dört dimerin oluşturduğu kapalı bir halka olup, genel şekliyle merkezinde büyük bir boşluk bulunan on yüzlü bir prizmaya benzemektedir (TIMASHEFF ve TOWNEND 1964; FARRELL ve ark. 1989'dan). Dolayısıyla Oktamerin oluştuğu koşullarda hidrasyonda gözlenen artış oktamerdeki boşluktan ileri gelmektedir (FARRELL ve ark. 1989).

Raf ömrünü uzatmak amacıyla çeşitli ürünlere dönüştürülmesi sırasında süte uygulanan işlemler süt proteinleri-su interaksyonlarının derecesini önemli ölçüde etkilemekte örn., ısı işleminin süt proteinlerinde oluşturduğu tersinir ve tersinmez değişimler kurutulmuş süt ürünlerinin dağılabilme, çözünebilme ve belirli bir işlevi sağlayabilme özellikleri üzerinde rol oynamaktadır (MORR 1985 ve 1989). Serum proteini denatürasyonunu artıran ısı işlemleri protein-su interaksyonunda yalnızca % 10 dolayında bir artış sağlanmaktadır (KINSELLA ve FOX 1987). Peyniraltı suyu sistemlerinde serum proteini topaklaşmasına ve süt sistemlerinde serum proteinleri-kazein interaksyonuna yol açan işlemler protein polar gruplarının su ile interaksyona elverişliliğini genellikle azaltmakta ve bu tip protein topaklaşmaları uygun koşullarda viskozite artışına ya da daha fazla serbest su tutabilen bir jel yapısı oluşumuna yol açmaktadır (CHOU ve MORR 1979; MORR 1989). Öte yandan kazein misellerinin interaksyonunu ve topaklaşmasını artıran işlemler ısıyla teşvik edilen misel mikro yapısı içinde tutulan imbibisyon suyu miktarını artırarak fermente ürünler, peynir ve sterilize koyulaştırılmış sütlerde viskozite artışı ve jelleşme meydana getirmektedir (MORR 1975; KALAB 1979).

Sonuç olarak, mevcut ticari gıdaların çoğunluğunun üretiminin başarıyla gerçekleştirilmesi bir ölçüde proteinlerin bu sistemlerde kendilerinden beklenen işlevleri yerine geti-

rebilmelerine, dolayısıyla protein-su interaksyonlarının kontrollü bir şekilde modifiye edilmesine bağlı bulunmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- CHOU D.H., C.V. MORR. 1979. Symposium : Functionality of Proteins, Protein - Water Interactions and Functional Properties, J. Am. Oil Chemists Soc. 56 (1) 53A - 62A.
- FARRELL Jr. H.M., H. PESSEN, T.F. KUMOSINSKI. 1989. Water Interactions with Bovine Caseins by Hydrogen - 2 Nuclear Magnetic Resonance Relaxation Studies : Structural Implications, J. Dairy Sci. 72 (2) 562, 574.
- HARWALKAR, V.R., R.J. BROWN. 1989. Symposium : Water - protein Interactions. J. Dairy Sci. 72 (2) 561.
- HERMANNSSON A.M., C. ÅKESSON. 1975. Functional Properties of Added Proteins Correlated With Properties of Meat Systems. Effect of Concentration and Temperature on Water binding Properties of Model Systems. J. Food Sci. 40: 595 - 602.
- KALAB M. 1979. Microstructure of Dairy Foods 1. Milk Products Based on Protein. J. Dairy Sci. 62 (8) 1352 - 1364.
- KINSELLA J.E., P.F. FOX. 1987. Water Sorption by Milk Proteins. Bulletin of the International Dairy Federation No: 209, 12 - 40.
- MORR C.V. 1965a. Effect of Heat Upon Electrophoresis and Ultracentrifugal Sedimentation Properties of Skim Milk Protein Fractions. J. Dairy Sci. 48 (1) 8 - 13.
- MORR C.V. 1965b. Effect of Heat Upon Size and Composition of Proteins Sedimented From Normal and Concentrated Skim Milk. J. Dairy Sci. 48 (1) 29 - 33.
- MORR. C.V. 1973a. Milk Ultracentrifugal Opalescent Layer. 1. Composition as Influenced by Heat, Temperature and pH. J. Dairy Sci. 56 (5) 544 - 552.
- MORR, C.V. 1973b. Milk Ultracentrifugal Opalescent Layer. 2. Physicochemical Properties. J. Dairy Sci. 56 (10) 1258 - 1266.
- MORR, C.V. 1975. Chemistry of Milk Proteins in Food Processing. J. Dairy Sci. 58 (7) 977-984.
- MORR, C.V. 1985. Functionality of Heated Milk Proteins in Dairy and Related Foods. J. Dairy Sci. 68 (10) 2773 - 2781.
- MORR, C.V. 1989. Beneficial and Adverse Effects of Water - Protein Interactions in Selected Dairy Products. J. Dairy Sci. 72 (2) 575 - 580.