



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TRANSGLUTAMİNAZ ENZİMİ
KULLANIMININ SÜT TOZLARININ
TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Betül ER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Betül ER tarafından hazırlanan “Transglutaminaz Enzimi Kullanımının Süt Tozlarının Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 06/11/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Durmuş SERT

.....

Üye

Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Betül ER
04.12.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TRANSGLUTAMİNAZ ENZİMİ KULLANIMININ SÜT TOZLARININ TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Betül ER

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Durmuş SERT

2018, 43 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN

Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Durmuş SERT

İçerdiği besin maddeleri ve sağlıklı beslenmedeki yeri göz önüne alındığında süt hayati öneme sahip bir gıdadır. Süt tozu ise süttten suyun mümkün olduğu derecede uçurulmasıyla elde edilen kurutulmuş bir süt ürünüdür. Süt tozu aynı miktardaki süte göre daha kolay muhafaza, taşıma ve saklama sağlar. Süt tozlarının endüstrideki kullanımının artmasıyla birlikte yapılan çalışmalarda artış göstermektedir.

Transglutaminaz enzimi, gıda endüstrisinde ticari olarak kullanıma uygun olan proteinler arası kovalent çapraz bağlanmayı katalizleyen tek enzimdir. Bu enzimatik modifikasyon sonucunda üründe jelleşme ve emülsifikasyon niteliğinde gelişme, su bağlama niteliğinde artma, serum ayrılmasında azalma, stabilitede artma gibi teknolojik özelliklerde değişim gözlenmektedir. Transglutaminaz enziminin katalizlediği reaksiyonlar düşünüldüğünde süt endüstrisinde kullanıldığı alanlar oldukça geniştir.

Bu araştırmada, farklı oranlarda transglutaminaz enzimi ilavesinin püskürtülerek kurutulan yağsız süt tozlarının bazı fizikokimyasal özelliklerine ve toz akış davranışlarına etkisini belirlenmiştir. Araştırmada çift kademeli koyulaştırma işlemi (evaporatör ve ters ozmoz) yapılmıştır. Farklı oranlarda (% 0.020, 0.030 ve 0.035; TG20, TG30 ve TG35) transglutaminaz enzimi içeren sütlerden tozların üretiminde pilot ölçekli Niro Atomizer kurutma ünitesi kullanılmıştır. TG20 örneğinin span değerinin diğer örneklerden düşük olması sebebiyle daha iyi akış gösterdiği tespit edilmiştir. TG kontrol örneği için üniformite değeri 0.471 iken enzim miktarı arttıkça bu değerde azalma görülmüştür. Kontrol örneği, enzim ilaveli tozlarla kıyaslandığında medyan değerden daha fazla uzaklaşmıştır. En düşük d(0.1) değeri TG30 ve en yüksek d(0.1) değeri TG35 örneğinde tespit edilmiştir. TG kontrol örneği 43.333 ile en yüksek d(0.5) değerine sahip olurken en düşük değer TG30 grubunda belirlenmiştir. TG kontrol, TG20 ve TG30 için kohezyon indeksleri sırasıyla 11.40, 11.06, 11.47 olarak hesaplanmıştır ve bu toz örnekleri kolay akış davranışı sergilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Süt Tozu, Teknolojik Özellikler, Transglutaminaz Enzimi

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECT OF, TRANSGLUTAMINASE ENZYME USE ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MILK POWDER

Betül ER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN FOOD ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Durmuş SERT

2018, 43 Pages

Jury

**Prof. Dr. Cemalettin SARIÇOBAN
Asst. Prof. Dr. Durmuş SERT
Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR**

When it comes to the nutrients and the place in healthy nutrition, milk is a vital food. Milk powder is a dried milk product obtained by evaporating the milk to the extent possible. It provides easier protection, handling and storage than the same amount of milk. It shows an increase in studies with increasing use of milk powders in the industry.

The enzyme transglutaminase is the only enzyme that catalyses the inter-protein covalent crosslinking which is suitable for commercial use in the food industry. As a result of this enzymatic modification, there is a change in technological properties such as gelation and emulsification, increase in water binding, decrease in serum separation and increase in stability. Considering the reactions by the enzyme transglutaminase, the areas used in the dairy industry are quite wide.

In this study, the effect of different rates of the enzyme transglutaminase on the spray-dried skimmed milk powder and some physicochemical properties were determined. In this study, double level darkening process (evaporator and reverse osmosis) were performed. A pilot scale Niro Atomizer drying unit was used in the production of powder from milk containing different ratios (% 0.020, 0.030 ve 0.035; TG20, TG30 and TG35) of transglutaminase. The span value of the TG20 sample was found to be better than that of the other samples. While the uniformity value for the TG control sample was 0.471, this value decreased as the amount of enzyme increased. The control sample moved further away from the median value compared to the enzyme added powders. The lowest d(0.1) value was determined in TG30 and highest d(0.1) value in TG35 sample. TG control sample had the highest d(0.5) value with 43.333, while the lowest value was determined in TG30 group. The cohesion indexes for TG control, TG20 and TG30 were calculated as 11.40, 11.06, 11.47, respectively, and these powder samples showed easy flow behaviour.

Keywords: Milk Powder, Technological Properties, Transglutaminase Enzyme

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince tez konumun seçiminden araştırmanın yürütülmesi ve değerlendirilmesine kadar her konuda yardımlarını esirgemeyen, özveri ve sabrını örnek aldığım değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Durmuş SERT'e ve yardımlarını esirgemeyen Enka Süt A.Ş. (Konya) Ar-GE Müdürü Mustafa CİVELEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Destekleri ve sevgileri ile her zaman yanımda olan, varlıkları ile bana güven veren, bugünlere gelmemde büyük emek sahibi olan canım anneme, canım babama, bu süreçte beni yalnız bırakmayıp desteğini esirgemeyen biricik eşime, beni annelik duygusuyla tanıştıran hayatıma anlam katan canım oğluma ve çok sevdiğim kardeşlerime ayrıca çok teşekkür ederim.

Betül ER
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
TEZ BİLDİRİMİ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Transglutaminaz (TGase; R-glutaminyl-peptide:amine γ -glutamyl- transferase (E.C 2.3.2.13).....	3
2.1.1. TG'nin enzimatik özellikleri	3
2.1.2. TG'nin eldesi	3
2.1.3. TG'nin katalizlediği reaksiyonlar	5
2.1.1. TG'nin gıda endüstrisinde kullanımı.....	8
2.2. Süt Tozu Üretim Teknolojisi	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Materyal	17
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Süt tozu örneklerinin üretimi.....	17
3.2.2. Süt tozlarına uygulanan analizler	17
3.2.2.1. Fizikokimyasal analizler.....	18
3.2.2.1.1. Nem.....	18
3.2.2.1.2. Yağ.....	18
3.2.2.1.3. Protein.....	18
3.2.2.1.4. Kül.....	19
3.2.2.1.5. Asitlik.....	19
3.2.2.1.6. pH.....	19
3.2.2.1.7. Yabancı yanık madde.....	19
3.2.2.1.8. Partikül irilik ve dağılımı.....	20
3.2.2.1.9. Renk ölçümü.....	21
3.2.2.2. Toz akış özelliklerinin belirlenmesi.....	21
3.2.2.3. İstatistiksel analiz.....	22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	23
4.1. Süt Tozlarının Fizikokimyasal Özellikleri	23
4.2. Süt Tozlarının Toz Akış Özelliklerinde Meydana Gelen Değişim.....	27
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
5.1 Sonuçlar.....	35
5.2 Öneriler.....	36
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

g: gram

cm: santimetre

µm: mikrometre

sn: saniye

ml: mililitre

°C : santigrat

mm: milimetre

Kısaltmalar

FDA: Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi

GRAS: genellikle güvenli kabul edilen

CMP: kazeinomakropeptidin

TG: transglutaminaz

MTG: mikrobiyal transglutaminaz

UHT: ultra high temperature

α - La: α-laktalbumin

β – lg : β-laktoglobulin

E.C 2.3.2.13 : TGase; R-glutaminyl-peptide:amine γ-glutamyl- transferase

1. GİRİŞ

Süt, içerdiği çok çeşitli besin maddelerinden dolayı tüm memeli canlılarda organizmanın gereksinimlerini karşılayabilen hayati bir gıdadır. Yavrunun beslenmesinde temel gıda olan süt, hayvan yetiştirmede besin maddesi, aynı zamanda gıda sanayinde ve eczacılıkta ve diğer endüstri dallarında hammadde olarak kullanılmaktadır.

Sağlıklı beslenme, besin maddelerinin yeteri kadar olmasının yanında, dengeli olarak alınmasını da kapsamaktadır. Bu temel ilke göz önünde bulundurulacak olursa, özellikle protein kalitesi yüksek hayvansal kaynaklı ürünlerin üretilmesi ve tüketilmesi gerekmektedir. Süt ve ürünlerinin insan beslenmesindeki önemi oldukça büyüktür ve ülkemiz beslenme sorununun çözümünde en önemli kaynaklardan biri konumundadır.

Beslenme alışkanlığının bilinçli olmaması, eğitim eksikliği ve sürekli artan fiyatlar ve yetersiz alım gücü kişi başına tüketilen süt ve süt ürünleri miktarının sağlıklı bir gelişim için gereken miktarının oldukça altında gerçekleşmesine neden olmaktadır. Sağlıklı bir gelişim için gerekli olan kişi başına süt ve süt ürünlerinin toplam tüketimi yılda 99 kg (içme sütü, yoğurt, peynir çeşitleri, tereyağı ve süt tozu toplamı) iken, Türkiye’de bu miktar kişi başına yılda 20 kg’ı geçmemektedir.

Süt tozu üretiminin temel amacı, sıvı sütün kalitesinde önemli bir değişiklik olmadan uzun süre (en az 1 yıl) depolanabilmesini sağlamaktır. Sütü uzunca bir süre dayanıklı hale getirmede uygulanan yöntemler başlıca; sterilizasyon, koyulaştırma ve kurutmadır. Bunun dışında tuz, şeker vb katkı maddeleri ile de bir süre için süt ve ürünlerini sıvı veya konsantre halde muhafaza etmek mümkündür (Hall ve Hedrick, 1971).

Süt pek çok nedenlerle kısa sürede bozulan bir gıdadır, dolayısıyla onun daha sonra tüketilebilmesi için korunması gerekir. Günümüzde ise en önemli koruma yöntemlerinden biri kurutmadır. Bunun için kullanılan modern kurutma teknikleri vasıtasıyla kurutmanın avantajı, sütün besin değerinde herhangi bir kayıp olmaksızın toz haline dönüştürülmesidir. Yani tozdan tekrar yapılan süt (rekonstitüe süt) aynı besin değerine sahiptir. Ancak önemli bir dezavantajı ise enerji tüketiminin yüksek olmasıdır. Gerçekte süt endüstrisinde başka hiçbir proses, kurutma sırasındaki gibi ton başına son üründe bu kadar yüksek bir enerjiye ihtiyaç göstermez. Yine de enerji maliyetlerindeki önemli artışlar, proses ve ekipmanlardaki gelişmeleri zorlamış ve sonuçta bugün sütün toz haline getirilmesi için daha önce kullanılan enerjinin yarısı ile üretim yapmak mümkün olmuştur (Yetişmeyen, 2002).

Süt tozu üretiminde amaç; bir yandan atıl kapasite dolayısıyla ekonomik çalışmayan fabrikada işin sürekliliği sağlanmış olur. Bir yandan da üretimi yüksek olan bölgelerin elde

kalan fazla sütün peynir gibi (özellikle beyaz peynir) aşırı derecede zayıfatı bulunan ürüne işlenmesi önlenmiş olur (Uraz ve Gürsoy, 1994). Bu bakımdan, süt tozu sektörünün gelişmesini sağlamak için özel teşviklere ihtiyaç vardır. Aksi takdirde Avrupa ülkelerinde üretilen kalitesi yüksek ve fiyatı düşük süt tozunun gelip ülkemizde yerleşmesine ortam hazırlanır.

Manus ve Asworth (1948), yaptıkları bir çalışmada sütün % 40 kurumaddeye kadar koyulaştırılmasından sonra işlenen süt tozlarının, % 20 kurumaddeyi sütlerden elde edilenlere oranla daha fazla eriyebilirliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre koyulaştırma oranına bağlı olarak süt tozunun yoğunluğu artmış ve elektrostatik yükü düşmüş olduğu için rekonstitüsyon işleminin kolaylaştığı belirtilmiştir.

Hunziker (1949), püskürtme yöntemiyle elde edilen süt tozlarında yoğunluğunun; partikül büyüklüğü, partiküller arasında tutulan hava miktarı, atomizer diskinin delik büyüklüğü, süte uygulanan basınç ve ön koyulaştırma oranı gibi pek çok faktörden etkilendiğini belirtmektedir. Araştırmacı, silindir yöntemiyle üretilen süt tozlarının, oluşan partiküllerin kırışık yüzeyi ve kırılğan yapısından dolayı püskürtme yöntemiyle elde edilenlerden daha düşük yoğunluğa sahip olduğunu bildirmiş ve püskürtme yöntemiyle üretilen süt tozlarındaki partiküllerin ise küresel şekilli ve daha yumuşak yapıda olduğundan paketleme, depolama ve taşıma sırasında az yer işgal ettiğini belirtmiştir.

Swanson (1956), süt tozlarında partikül büyüklüğünün, üründe dağılılabirliği etkilediğini ve 30-50 µm arasında partikül büyüklüğüne sahip olan süt tozlarının bu sınırlar dışında kalanlara oranla daha iyi bir ıslanabilirlik ve dağılılabirlik özelliği gösterdiğini tespit etmiştir.

De Vleeschauwer ve Puyvelde (1956), yağsız sütün farklı oranlarda koyulaştırmış ve hem santrifüj, hem de yüksek basınçla çalışan nozzle başlıklı düzende kurutmuşlardır. Araştırmacılar, koyulaştırma oranı yükseldikçe her iki şekilde kurutmada da toz partikülleri arasındaki hava miktarının daha düşük olduğunu ve partikül yoğunluğunda artış görüldüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca yüksek basınçla çalışan düzen ile karşılaştırıldığında, santrifüj disk kullanılarak üretilen süt tozlarında partiküller arasındaki hava miktarını daha fazla bulmuşlardır.

Bu araştırmanın amacı, farklı oranlarda transglutaminaz enzimi ilavesinin püskürtülerek kurutulan yağsız süt tozlarının bazı fizikokimyasal özelliklerine ve toz akış davranışlarına etkisini belirlemektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Transglutaminaz (TGase; R-glutaminyl-peptide:amine γ -glutamyl- transferase (E.C 2.3.2.13)

Transglutaminaz (TG) gıda endüstrisinde ticari olarak kullanıma uygun olan proteinler arası kovalent çapraz bağlanmayı katalizleyen tek enzimdir. TG glutamin residüleri ile birincil aminler arasında kovalent bağ oluşumunun katalize etmekten sorumlu transferazdır. Hayvansal dokularda ve vücut sıvılarında doğal olarak bulunan bu enzim R-glutaminyl-peptide:amine γ -glutamyl-transferase (E.C 2.3.2.13) olarak adlandırılmaktadır (Sharma ve ark., 2001).

2.1.1. TG'nin enzimatik özellikleri

Enzimatik aktivite için optimum sıcaklık değeri 50 °C olan TG, 50 °C'de 10 dakika bekletilirse enzim aktivitesinin hissedilir derecede arttığı görülür. Donma noktası civarındaki sıcaklık değerlerinde az da olsa aktivitesini devam ettirebilen enzim, 10 °C gibi düşük sıcaklıkta aktivitesini sürdürebilmektedir. Diğer yandan optimum aktivasyon pH'sı 5 ile 8 arasında olmasına karşın pH 4 ile 9 değerlerinde de düşük düzeyde aktivasyon gösterir (Motoki ve Seguro, 1998).

2.1.2. TG'nin eldesi

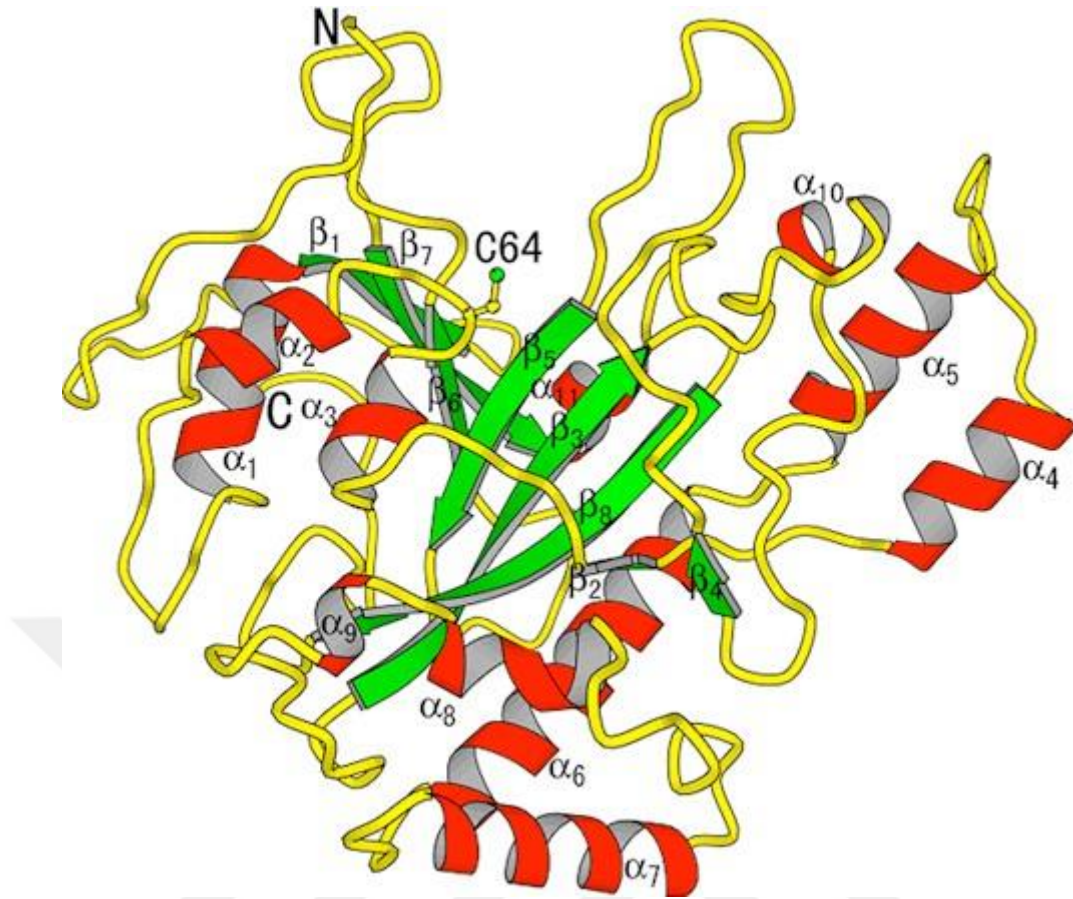
TG'nin endüstriyel ürün eldesinde 3 farklı yöntem denenmiştir. Enzimin sığır, balık, domuz gibi hayvanların vücut sıvılarından ekstrakte edilerek saflaştırılması ilk yöntemdir. Avrupa'da bu yöntemle üretilen ve Faktör XIII olarak adlandırılan enzim ticari olarak kullanım alanı bulamamıştır. Bunun sebebi ise enzimin aktive olması için trombine ihtiyaç duyması ve oluşan kırmızı pigmentleşmenin son üründe istenmeyen olumsuzluklara sebebiyet vermesidir (Wilson, 1992). Diğer yöntem ise enzimin bazı maya ve bakterilerin genetik modifikasyonundan eldesidir ki şu ana kadar pek çok araştırmacı bu konu üzerinde çalışmasına rağmen hiçbiri gıda endüstrisinde kullanıma uygun enzim elde edememiştir (Seguro ve ark., 1995). Asıl yöntem olan üçüncü yol ise TG üretimi yapan mikroorganizmalardır. *Streptovercillium mobarensense* ve *Streptovercillium ladakanum* tarafından hücre dışı üretim yapılırken, *Bacillus subtilis* ve *Physarum polycephalum* tarafından

ise hücre içi olmak üzere birçok mikroorganizma TG enzimi üretmektedir (Yıldırım ve ark., 2000). Pek çok çalışma sonucunda *Streptovorticillium mobareense*'nin TG üretme yeteneğinin pek çok bakteriden daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Ando ve ark., 1989). Diğer mikroorganizmalardan üretilen TG'ler, hücre içi TG olması ve enzim aktivitelerinin çok düşük olması sebebiyle endüstriyel kullanıma uygun olmadığından üretimi tercih edilmemiştir (Yokoyama ve ark., 2003).

Mikrobiyal TG'yi memeli TG'sinden ayıran en önemli özellik mikrobiyal TG'nin Ca^{2+} den bağımsız aktivite gösterebiliyor olmasıdır. Miyozin, soya fasulyesi globülinleri ve süt kazeini gibi pek çok protein Ca^{2+} varlığında çökmekte ve TG'ye karşı duyarlılığı azalmaktadır. Bu gibi durumlarda proteinlerin modifiye edilmesi açısından mikrobiyal TG'nin bu özelliği büyük bir avantaj sağlamaktadır (Motoki ve Seguro, 1998). Diğer indirgeyici ajanların da MTG üzerine etkisi araştırılmaktadır. MTG'nin aktif bölgesinin bir parçası olan sisteinler Cu, Zn, Pb gibi ağır metallerle bağlanırlar ve böylece MTG önemli ölçüde inhibe olur (Hornyak ve ark., 1989). Molekül ağırlığı 38000 olarak tespit edilen mikrobiyal TG, 331 amino asite sahip olup dizide 64. sırada bir tane sistein kalıntısı bulunmaktadır. MTG, glikoprotein veya lipoprotein yapıda olmayıp basit ve monomerik protein olduğu düşünülmektedir (Motoki ve Seguro, 1998).



Şekil 2.1. Mikrobiyal Transglutaminazın primer yapısı (*:olası aktif sistein) (Motoki ve Seguro, 1998)



Şekil 2.2. Mikrobiyal transglutaminazın genel yapısı (Yokoyama ve ark., 2004)

2.1.3. TG'nin katalizlediği reaksiyonlar

TG tarafından çapraz bağlanabilen proteinlere buğday glütenu, yumurta sarısı ve beyazı proteini, miyozin, fibrinler ve bakla globulinleri, süt kazeinleri, α -laktalbumin ve β -laktoglobulin gibi birçok gıda proteini örnek verilebilir (Sharma ve ark., 2001). Proteinlerin TG ile çapraz bağlanması sonucunda birtakım değişiklikler meydana gelir. Su tutma kapasiteleri, jelleşme özellikleri, reolojileri ve emülsiyon özellikleri ile ısı stabilitelelerinde çapraz bağlanma sonucunda birtakım modifikasyonlar oluşmaktadır (Dickinson, 1997; Lorenzen ve Schlimme, 1998). Meydana gelen bu modifikasyonun proteinin yapısal konformasyonu ile sıkı bir ilişki içerisinde olduğu görülmüştür. MTG'nin aktif merkezi katalitik reaksiyonda yer alan bir sistein kalıntısı olup bu reaksiyondaki çapraz bağlanma benzer türdeki proteinler arasında olmaktadır (Schorsch ve ark., 2000). Bir süt proteini olan kazein açık konfigürasyona sahip olması sebebiyle TG için iyi bir substrat olma özelliğine sahiptir. Yapılarında disülfid bağları sayesinde stabilize halde bulunan globüler yapıdaki serum

proteinleri MTG için elverişli bir substrat olma özelliği taşımamakla beraber kazeinler MTG ile muamele edildiğinde serum proteinlerine kıyasla daha hızlı reaksiyon vererek 2-4 saatlik inkübasyon sonucunda neredeyse tamamen çapraz bağlanmaktadır (Lorenzen ve Schlimme, 1998). Denatüre olmamış serum proteinleri doğal hallerinde TG için iyi bir substrat değilken sodyum kazeinat diğer kazein miselleriyle kıyaslandığında iyi substrat olma özelliği sergiler (Traorè ve Meunier, 1992). α -laktoglobulin, β - laktalbumin ve sığır serum albumininin TGase aracılığı ile çapraz bağlanabilmesi ve enzimatik reaksiyon için gerekli olan glutamin ve lizin reaksiyona açık konuma gelmesi gerekmektedir. Bu açık konumu elde etmek için ise serum proteinlerinin alkali şartlar altında meydana gelen reaksiyonla, ısıl işlem uygulamasıyla, yüksek basınç uygulaması veya proteolitik enzimlerle yada kimyasallar yollarla denatürasyona uğraması gerekir (Aboumahmoud ve Savello, 1990). Kazein ve serum proteinlerinin fraksiyonları TG için uygun substrat olma konusunda kendi içinde farklılaşmaktadır. Miselin dış kısmında yer almasından dolayı α -kazein, kazein miselleri arasında TG için en uygun olanıdır. Bu uygunluğu β -kazeinin takip ederken α -kazein son sıradadır (Yüksel ve Erdem, 2009). Bu durum β -kazeinin yüksek prolin içermesi ve esnek ve açık yapıya sahip olması ile itibariyle tepkimeye daha kolay girebilmesiyle açıklanabilir. Yapılan diğer araştırmalarda α -La'nın β -Lg'ye göre daha hızlı reaksiyon verdiği tespit edilmiştir (Faergemand ve ark., 1999). Bunlara ek olarak α -laktalbuminin tersine β -laktoglobulin yalnızca ön ısıtma işleminden sonra TG ile reaksiyona açık hale gelmektedir (Lorenzen ve ark., 2002).

O'Sullivan ve ark. (2001) yaptıkları çalışmalarla TGase'nin proteinler üzerine etkisinin 3 farklı şekilde gerçekleştiğini ortaya çıkarmışlardır (Şekil 2.3.).

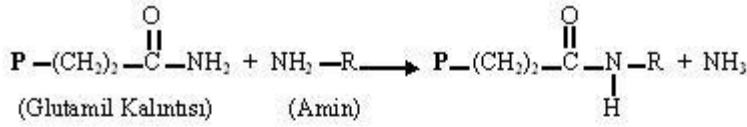
Açıl transfer reaksiyonu: Transglutaminaz enzimi (γ -glutamiltransferaz, EC 2.3.2.13); bir peptid bağındaki glutamil kalıntısının reaksiyonda açıl verici olarak davranan γ -karboksiamid grubu ile açıl alıcı bir primer amin arasındaki açıl transfer tepkimesini katalizler.

Çapraz bağ reaksiyonu: Bir peptid bağındaki lizin kalıntısının ϵ -amino grubu substrat işlevini üstlendiğinde bu iki peptid zinciri birbirine ϵ -(γ -glutamil)lizin[ϵ -(γ -Gln)Lys] bağı ile çapraz bağlanırlar (Folk ve Finlayson, 1977).

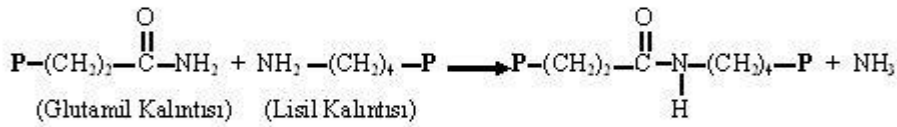
Deamidasyon reaksiyonu: lizin amino grubunun kimyasal ajanlar varlığında bloke olması veya uygun primer amin olmaması durumunda su molekülü alıcı görevi görür ve glutaminil- glutamil dönüşümü gerçekleşir.

Yenilebilir bloke edici ajan bulunmamasından kaynaklı olarak deamidasyon tepkimesi gıda endüstrisinde kullanılmamaktadır (Zhu ve ark., 1995).

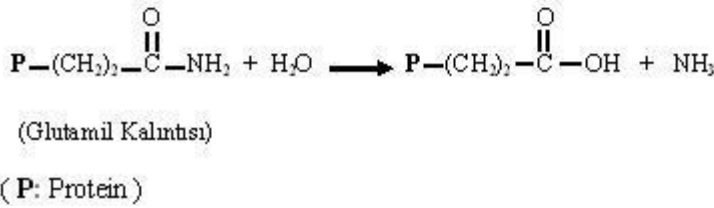
1. Açıl transfer tepkimesi:



2. Çapraz bağlama tepkimesi:



3. Deaminasyon:



Şekil 2.3. TGase aracılığıyla oluşan protein modifikasyonları (a) amin varlığında değişim, (b) çapraz bağlanma (c) deaminasyon

Methiyonin ve lizin gibi bazı temel aminoasitler, β -kazein bünyesine isopeptid bağıyla TG sayesinde bağlanarak temel amino asitlerce fakir olan protein molekülü zengin hale getirilir (Bercovici ve ark., 1995). Bu oluşum sayesinde protein kaynaklı alerjik reaksiyonlar azaltılmaya çalışılır (Yıldırım ve ark., 2000). Gerçekleşen çapraz bağlanma tepkimeleri protein bazı özelliklerinde modifikasyonlara sebep olmaktadır. Bu özelliklere köpük oluşturma kapasitesi, jelleşme, emülsiyon oluşturma kapasitesi, çözünürlük gibi bazı fonksiyonel özellikler örnek verilebilir (Faergemand ve ark., 1998). Ayrıca TG temel aminoasitleri içeren farklı protein moleküllerinin çapraz bağlanması ile besinsel değerleriaçısından zenginleştirme amaçlı kullanılmasının yanısıra lizinin bazı tepkimelerden korunması, lipit ve lipitte çözünen bazı maddeleri enkapsüle etmek, su ve ısıya dayanıklı film oluşturmak ve su tutma kapasitesini artırmak amaçlı da kullanılmaktadır (Zhu ve ark., 1995).

Kovalent olmayan zayıf protein interaksiyonları, süt protein jelleri yani asit ve rennet

jellerinin stabil hale getirir. TG ilavesiyle proteinler arasında meydana gelen kuvvetli kovalent bağlar kazeinin agregasyonuna sebebiyet verir. Ancak pH 6.7’de süte TG ilave edildiğinde kazeinin agregasyonuna bağlı jelleşmenin meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Nötre yakın pHdeğerlerinde proteinler arası sterik ve elektrostatik itmeden dolayı çapraz bağlanmanın olmaması ile bu durum açıklanır. Bu elektrostatik ve sterik itmenin sebebi ise misel yüzeyindeki kazein molekülleridir. Buradan sonuçla TG’nin süt proteinlerinde etkili olması yalnızca buçekme kuvvetlerinin stabilitesinin bozulması durumunda olur (Schorch ve ark, 2000).

MTG ile oluşan jelleşmenin sağladığı bazı avantajlar şunlardır; MTG ile oluşan çapraz bağlanma da jellerin sıklığı artmaktadır. Misellerin bütünlüğü iç kısımlarının intramoleküler çapraz bağlanmasıyla korunarak soğutma ve asitle muamele gibi işlemlerden etkilenmemektedir. Örnek vermek gerekirse; α -kazeinin kısmi çözünürlüğü soğutma işlemi esnasında bir miktar korunmaktadır ve koloidal kalsiyum fosfat asidifikasyon sırasında bazı kazeinlerin çözünürlüğünü sınırlandırmaktadır. Asidifikasyon ya da rennetleme ile üretilen geleneksel kazein jelinin yanısıra MTG ile çapraz bağlanma sonucunda oluşan jeller daha sıkı yapıya sahip olup jelleşme çok daha kısa sürede meydana gelmektedir. Ayrıca oluşan jeller deterjan ve denatürantlar ile çözündürülememektedir. MTG kullanılan ürünlerde depolama boyunca herhangi bir su salması meydana gelmemektedir. Jeller ısıtma esnasında sıcaklıktan etkilenmezler. Normal jelleşme işleminde yüksek sıcaklıkta eriyen jeller MTG ile oluştuklarında erimemektedirler. Isıl işlem uygulamasıyla jelleşmeyen protein substratları MTG ile muamele edildiğinde jelleşebilmektedirler. Su-yağ emülsiyonundaki proteinler şeker ve ya tuz varlığında MTG ile jelleşebilmektedirler (Motoki ve Seguro, 1998).

2.1.4. TG’nin gıda endüstrisinde kullanımı

MTG’nin keşfi ile gıda endüstrisinde kullanım olanakları hızla araştırılmaya başlanmıştır (Ando ve ark., 1989; Kuraishi ve ark., 2001). FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi)’nin GRAS (genellikle güvenli kabul edilen) madde olarak tanımladığı TG, süt proteinlerinin fonksiyonel özelliklerini modifiye ederek değiştirmektedir (FDA, 2010; Rossa ve ark., 2012). Süt proteinlerinin TG ile enzimatik modifikasyonu yalnızca teknolojik açıdan değil, isopeptid bağlarının oluşması sebebiyle proteinin biyolojik değeri açısından da ilgi uyandırmaktadır (Yüksel ve Erdem, 2007). TG ile geçirgenliği azaltarak süt ürünlerinin bazı fiziksel ve duyuşsal özelliklerini olumlu yönde değiştirmek, mayalanma yeteneği, mekanik özellikleri ve stabilite ve jel gücünü artırmak, su tutma kapasitesi ve emülsifiye etme özelliklerini kuvvetlendirmek mümkündür (Özrenk, 2006).

TG ile çapraz bağlanma sonucundasüt proteinleri ve süt ürünlerinde eldeedilebilecek gelişmeler Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. TG'nin süt ürünlerindeki etkileri (Lorenzen ve Schlimme, 1998)

Ürün	Enzimatik Modifikasyonun Yarattığı Etki
Kazeinatlar	Jelleşme ve emülsifikasyon niteliğinde gelişme
Serum proteinleri	Paketleme filmlerinin oluşması ve niteliklerinin gelişmesi
Dondurma	Su bağlama niteliğinde artma/Jelleşmedeyiileşme
Krem şanti	Fiziksel niteliklerin geliştirilmesi
Kurutulmuş süt ürünleri	Stabilitede artma
Yoğurt	Serum ayrılmasında azalma/ pıhtı sıklığında artma
Taze-olgun peynir	Serum ayrılmasında azalma/ ürün randımanında artma

Süt ile geleneksel olarak yapılan jeller yoğurt ve peynirdir. Yoğurdun tekstürel özellikleri bileşimindeki maddelerin nicelik ve niteliği ile yakından ilişkilidir. Yoğurt üretiminde protein miktarının artmasıyla yoğurdun jel yapısının kuvvetlendiği görülür. Aynı şekilde gum kullanımı da yoğurdun jel yapısını kuvvetlendirir ancak bu işlemler maliyetin artmasına sebebiyet verir. Bu sebeple yoğurt tekstürünü geliştirmek amacıyla alternatif yöntemler araştırılmış ve proteinlerin enzimatik çapraz bağlanmasıyla bazı özelliklerinin değiştirilmesi suretiyle yoğurdun duyu ve dokusal özelliklerinin tatmin eder boyutta değiştirebileceği görülmüştür (Faergemand ve ark., 1999a;1999b). TG genellikle yoğurt yapısını kuvvetlendirmek dokuyu sıkılaştırmak ve böylece su salımını azaltmak için kullanılmıştır (Lorenzen, 2002). TG ile inkübe edilmiş süttten üretilen yoğurtlarda daha kremi, homojen, sert bir yapı gözlemlenmiştir (Özer ve ark., 2007).

Düşük yağ ve protein içeriğine sahip sütlerden üretilen yoğurtlar kontrol örnekleriyle kıyaslandığında benzer özellikler gözlemlenmiş ve az yağlı yoğurt prosesinde kuru madde arttırma ve stabilizatör kullanımına alternatif olarak TG kullanımının mümkün olduğu tespit edilmiştir (Faergemand ve ark., 1999a; Özer ve ark., 2007).

Set tipi yoğurt üretimine TG kullanımıyla ilgili yapılan araştırmalarda yoğurdun tekstürel ve yapı özellikleri incelenmiş ve TG ilavesiyle pıhtı sıklığının artarak yapıdan su ayrılmasının önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir (Faergemand ve ark., 1999a; Yüksel ve Erdem, 2010; Şanlı ve ark., 2011a).

Yapılan bir incelemede MTG kullanımının inkübasyondan önce gerçekleştirilip starter kültür inokülasyonu sırasında enzim aktivitesi durdurulduğunda starter kültür dengesinde bir miktar kayıp olduğu fakat MTG ile starter kültürün birlikte kullanıldığı durumu herhangi bir kaybın olmadığı görülmüştür (Neve ve ark., 2001).

Kuraishi ve ark. (2001), MTG miktarının jel yapı üzerine etkisini incelemişler ve 5 unit/protein miktarlarına kadar kullanılan MTG ile set tipi yoğurtlarda jel sıklığı artarken enzim miktarını artırdıklarında aynı sonucu gözlemlememişlerdir. Buradan yüksek miktarda MTG kullanımıyla yoğurt maksimum jel sıklığına ulaştıktan sonra bu sıklığın göreceli olarak azaldığı sonucu çıkarılmaktadır. Bu duruma fazla miktarda oluşan çapraz bağların yoğurt jeli oluşumundaki ağ yapısını inhibe edebilmesi sebep olmuştur. Yine aynı çalışmada stirred tipi yoğurtlarda yağsız kuru madde miktarını azaltarak MTG kullanıldığında viskozite de azalma meydana gelmediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca bu tip yoğurtlarda enzim kullanımıyla serum salma sıkıntısının azaldığı görülmüştür.

Öner ve ark. (2004), TG kullanılarak üretilen set tipi yoğurtların fizikokimyasal özelliklerini incelenmişler ve TG ilave edilen süttten üretilen yoğurtların pıhtı sıklığındaki artış ve serum salmadaki azalma ile birlikte yoğurdun temel aroma maddesi olan asetaldehit miktarında azalma görmüşlerdir. Bir diğer araştırmacı Özer ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada MTG ile muamele edilen süttten üretilen yağsız yoğurt örneklerinde enzim miktarındaki artışla birlikte asetaldehit miktarında azalma görülmüş ve 21 günlük depolama süresi sonunda yoğurt örneklerinin fiziksel özelliklerinde gelişme görülmüştür. Bunlara ilaveten MTG'nin starter bakteri gelişimini yavaşlatarak asitlik gelişimini azalttığını tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada; Lorenzen ve ark. (2002), süte bakteri ile fermentasyonundan önce TG ile birlikte ön inkübasyon işlemi uygulandığında inkübasyon süresinin uzadığını ancak bakteri ve TG aynı anda süte ilave edildiğinde sürenin uzamadığı tespit etmişlerdir. Fermentasyondan önce TG ilavesi ile üretilen set tipi yoğurt örneklerinde pıhtı sıklığı 2 kat artarken enzim ve starter kültürün aynı anda ilave edildiği yoğurt örneklerinde 5 kat artış gözlenmiştir. Bu artış jel içinde proteinlerin daha düzenli dağılması ve ağ yapıdaki gözenek boyutlarının küçülmesi ile açıklanabilir.

Farnsworth ve ark. (2003), MTG'nin keçi sütüyle üretilen yoğurtlarda yapı ve konsistens üzerine etkisini incelemişler ve TG ile muamele edilen örneklerin pH, kuru madde ve protein içerikleri gibi özelliklerinde kontrol örnekleriyle kıyaslandığında önem arz edecek bir farkın olmadığını söylemişlerdir. Ancak elektron mikroskopuyla yaptıkları incelemede enzim ilaveli örneklerin daha sıkı bir yapıya sahip olup viskozitelerinin de kontrol örneklerine göre oldukça yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma sonunda MTG ilavesinin keçi sütü yoğurtlarda konsistens geliştirebilecek bir yöntem olmadığını söylemişlerdir.

Literatürde TG'nin peynir üretiminde kullanılması ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. TG'nin sebep olduğu çapraz bağlanmayla asit kazein jellerinin sıkılışacağı ve serum ayrılmasının artacağı öngörüsüyle peynirde tekstürel iyileşme ve verim artışı olacağı

düşünülmüştür (Bönisch ve ark., 2008; Cozzolino ve ark., 2003). Ancak burada TG için optimum olan koşulların rennet aktivitesi için yeterince uygun olmaması rennet ve TG'nin birlikte kullanılacağı optimum çalışma şartlarını araştırmayı beraberinde getirmiştir. İşte böyle bir çalışmada Lorenzen (2000), süte rennet ilavesi yapılmadan önce TG ile farklı sürelerde muamele de enzimin aktivasyon süresinin uzamasıyla rennet pıhtılaşma süresinin uzadığını ve uzun süreli muamele de ise rennet pıhtılaşmasının oluşmadığını tespit etmiştir. Araştırmacı bunun nedenini, ısıl işlem sebebiyle serum proteinlerinin kazein misellerinin yüzeyini kapladığını ve kazeinomakropeptidin (CMP) kazein miselinden ayrılmasını yavaşlattığını ve böylece pıhtı oluşumunun yavaşladığı şeklinde açıklamıştır. Fakat O'Sullivan ve ark. (2002), yaptıkları çalışmayla Lorenzen (2000) tarafından ortaya atılan yüzey kaplama teorisini çürütmüşlerdir. O'Sullivan ve ark. (2002), TG'nin rennet pıhtılaşmasında agregasyon aşamasına değil birinci aşamaya etki ettiğini söylemişlerdir. Diğer bir çalışmada, peynir üretiminde TG kullanımı ile pıhtı veriminin arttığı bulunmuştur. TG ile peynir üretiminin üç şekilde yapılabileceği bildirilmektedir; süte önce rennet daha sonra TG ilavesi, süte rennet ile TG'nin aynı anda ilavesi, süte TG eklenip pastörizasyon işlemi gerçekleştirilip ardından rennet ilavesidir (Kuraishi ve ark., 2001). Gouda peyniriyle yapılan bir çalışmada, rennet ilavesi yapılmadan önce süt TG ile inkübe edilmiş ve pıhtı veriminin arttığı görülmüştür. Taze ve olgunlaşmamış peynir üretiminde de aynı sonuçlar görülmüştür. Cottage peyniri gibi taze peynirlerde starter kültür aktivitesini durdurmak amacıyla paketleme işleminden sonra yapılan pastörizasyonda karşılaşılan peynir suyunun ayrılması probleminin de TG kullanımı ile çözülebileceği düşünülmüştür (Kuraishi, ve ark., 2001).

Aloğlu ve Öner (2013), labne peynir üretiminde 0-4 U/g oranlarında değişen TG ilavesi yapmışlar ve enzim oranının artmasıyla labne peynirin kontrol örnekleriyle kıyaslandığında peynir sertliğinde yüksek bir artış ve daha beyaz pürüzsüz bir yapı elde etmişlerdir. Yine benzer bir çalışmada TG ilaveli sütlerden üretilen Edam peynirlerinde, peynirin nem içeriğinin arttığı dolayısıyla verimin arttığı tespit edilmiştir (Aaltonen ve ark., 2014). Enzim ilaveli süttten geleneksel yöntemlerle ayran üretiminde serum ayrılmasında azalma, viskozitede artış ve bunlara ek olarak aroma bileşenlerinde iyileşme tespit edilmiştir (Şanlı ve ark., 2011).

Süte TG ilavesiyle sütün ısıl kararlılık özelliğinde bir takım değişiklikler meydana gelmesi öngörülmektedir. Bu değişimin parametreleri ise süte TG ilavesinden önce ısıl işlem uygulama ve bu ısıl işlemin sıcaklığıdır. Çiğ sütte kazeinin çapraz bağlanmasının misellerden κ -kazeinin ayrılmasını engellediği düşünülmektedir. Ancak çiğ süt TG ile muameleden önce

ıslıl işleme tabi tutulursa, serum proteinlerinin denatürasyonu ve bu denatüre olmuş serum proteinleriyle kazeinler arasında bir çapraz bağlanma meydana gelir. Böylece pH>6.5'de sütün ıslıl stabilitesinin gelişimine olanak sağlanır (O'Sullivan ve ark., 2001, 2002a). Sütün, sterilizasyon sıcaklığında koagüle olmaya karşı gösterdiği direnç olarak betimlenen ıslıl kararlılık UHT ve konsantre sütün ürünlerinde ticari açıdan önem arz etmektedir. Buradan özetle TG ile sütün ıslıl kararlılığını sağlamak, sterilizasyon boyunca koagülasyonun ve depolama boyunca sedimentasyonun ortaya çıkmasına engel olarak ürünün kararlılığını sağlamak bakımından dolaylı olarak da ticari açıdan önemlidir.

Dondurulmuş sütli tatlılarda TG kullanımını ile kalite gelişimi üzerine de bazı araştırmalar mevcuttur. TG kullanılarak üretilen dondurmanın daha kolay kaşığa alındığı ve daha pürüzsüz yapıya sahip olduğu, düşük kalorili şeker içermeyen dondurmalarda oluşan kaliteyi olumsuz etkileyen buzlu tekstürel yapıda iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir (Kuraishi ve ark., 2001).

Literatür de sütün ürünlerinden genellikle yogurt, peynir ve ayran ile ilgili çalışmalara rastlanırken sütün tozu ile ilgili çalışma yok denecek kadar azdır. Yalnızca Lorenzen ve ark. (2002), enzimin katalizlediği çapraz bağlanmanın su adsorbsiyonuna etki ederek sütün tozlarında kekleşmeyi önleyebileceğini söylemişlerdir. Aynı araştırmacılar çapraz bağlanma sonucu sütün tozunun yığın hacminde artma tespit etmişlerdir. Başka bir çalışma da TG ilaveli sütün elde edilen sütün tozunun jelleşme ve su bağlama kapasiteleri incelenmiş ve bu sütün tozlarının reolojik niteliklerinin kontrol örneklerine kıyasla çok daha iyi olduğu görülmüştür. Bu sütün tozlarının düşük yağlı yogurt üretiminde kullanılabileceği söylenmiştir (Imm ve Lee, 2000).

TG ile ilgili çalışmalar yalnızca sütün ve sütün ürünleriyle sınırlı olmayıp et endüstrisi ve hububat teknolojisi ile ilgili de çalışmalar mevcuttur.

Balık etinde de yapıyı korumak ve geliştirmek amacıyla NaCl varlığında TG uygulanması konusu araştırılmış ve farklı konsantrasyonda (% 0.5-1.5) enzim, % 0-2 konsantrasyonlarında NaCl varlığında yapılan çalışmada, en iyi sertlik ve su tutmanın elde edildiği kombinasyonun % 1 enzim ve % 1 NaCl varlığında olduğu gözlenmiştir (Vacha ve ark., 2006).

Diğer bir çalışmada, tavuk etine % 0.3 TG eklenmiş 40 °C'de (500 MPa) basınç uygulaması ile 30 dk inkübasyon süresiyle kombine olarak örneklere uygulanmıştır (Trespacios ve Pla, 2007). Enzim ilavesiyle birlikte basınç uygulanan örnekler, sadece basınç uygulananlara göre daha sıkı ve homojen bir yapı göstermiştir. Ayrıca sertlik ve çiğnenebilirlik özelliğinde de olumlu sonuç alınmıştır.

Hububat bilimi ve teknolojisi alanında da TG enzimi ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Köksel ve ark. (2001), süne proteazlarının gluten proteinlerinde neden olduğu olumsuz etkinin TG kullanımı ile düzeltilme olasılığını araştırmışlar ve çalışma sonunda TG'nin katalizlediği çapraz bağlanmanın glütenin molekül ağırlığında artışa sebep olduğunu ve bu artışın süne proteazlarının sebep olduğu olumsuz etkiyi önemli derecede azalttığını gözlemlemişlerdir.

Heidebach ve ark. (2009), kazeinlerin TG aracılığı ile çapraz bağlanabilme yeteneğinin probiyotik bakterilerin mikrokapsülasyonunda kullanıma ihtimalini araştırmışlar ve TG ile çapraz bağlanan kazein matriksi içinde enkapsüle edilen bakterilerin insan midesinin asitliğine karşı bakteri direncinin arttığını bulmuşlardır.

2.2. Süt Tozu Üretim Teknolojisi

Sütün doğal yapısı itibariyle taşıma ve depolanması gibi bazı işlemlerinde birtakım sıkıntılar yaşanmaktadır. Sütün sıvı formda olması ve ağırlığı sebebiyle transferi endüstride yüksek maliyete sebep olmaktadır. Ayrıca sütün mikroorganizmaların gelişimi için elverişli bir ortam sağlamasına bağlı olarak hızla bozulabilir olması gıda endüstrisinde üreticiler için büyük risk teşkil etmektedir. Bu gibi sebeplerden ötürü sütün taşıma, depolama ve üretim aşamalarında daha dayanıklı bir ürün haline gelmesi ve sütün düzenli stoklanıp uzun süre saklanabilmesi için süt tozu üretimi en iyi çözüm olmaktadır.

Süt tozunun tarihine bakıldığında; Marco Pollo'nun 13. yüzyılda Moğolların sütü güneşte kurutmaya çalıştıklarını söylediğini görülür. Endüstriyel olarak süt tozu üretiminin ise ilk kez 1832 yılında Rus kimyager M. Dirchoff tarafından gerçekleştirilip 1855 yılında da patentinin alındığı görülür (Yule, 1903).

Gıda Maddeleri Tüzüğü Koyulaştırılmış Süt ve Süttozu Tebliği'nde süttozu "Yağlı, yağı kısmen veya tamamen alınmış süttten, kremadan veya bu ürünlerin karışımından suyun doğrudan uzaklaştırılması ile elde edilen ve son üründe nem içeriğinin ağırlıkça en fazla % 5 oranında olduğu katı ürünü" olarak ifade edilmektedir. Yine aynı tebliğde süttozu yüksek yağlı, tam yağlı, yarım yağlı veya yağsız süt tozu olarak sınıflandırılmıştır. Bu süt tozu çeşitlerinin yağ ne nem içeriklerinin sınırları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1.Süttozu çeşitlerinin yağ ve nem içerikleri

	Süt yağı (Ağırlıkça,%)	Nem (Ağırlıkça, %)
Yüksek yağlı	>42	En fazla % 5
Tam yağlı	26-42	En fazla % 5
Yarım yağlı	1.5-26	En fazla % 5
Yağsız	≤1.5	En fazla % 5

Süt tozu gıda endüstrisinde pek çok alanda kullanılmaktadır. Süt kullanımından daha ucuza gelmesi sebebiyle özellikle süt temini ve depolanmasının zor olduğu durumlarda süt tozu kullanımı oldukça caziptir. Ürün kalitesi bakımından pasta ve hamur işlerinde, peynir, yoğurt, dondurma gibi ürünlerde kıvamı artırmada, bebek maması ve hazır çorba gibi ürünlerde ürün içerik oluşturmada süt tozundan yararlanılmaktadır.

Süt tozu, sütteki suyun buharlaştırılıp yoğunlaştırılmasıyla meydana gelen kuru maddenin toz hale getirilmesiyle elde edilir. Süt tozu üretiminde ilk basamak sütün standardizasyonudur. Kirlerinden arındırılan çiğ sütün yağ içeriğine ve üretilmek istenilen toz ürünün çeşidine bağlı olarak sütte yağ standardizasyonu yapılır. Ardından süte 73-74 °C’de 1-3 dk boyunca ön ısıtma işlemi uygulanır. Bu işlemin amacı enzimleri inaktive etmek ve bakterilerin büyük bir kısmını tahrip etmektir. İleriki basamaklarda süte uygulanacak püskürtmeli kurutma işlemi diğer kurutma metodu olan silindir kurutmaya göre patojen mikroorganizmalar için tahrip oluşturmama riskini barındırır. Bu sebeple süte ön ısıtma işlemi uygulamak kaçınılmaz olur. Uygulamada bu ön ısıtma sıcaklıkları yağlı süt 88 °C, yağsız süt de 80-82 °C’e kadar çıkmaktadır. Bu sıcaklık değerlerinde sütteki yağın okside olması da geciktirilir. Bu işlemin tek dezavantajı sütteki serum proteinlerinin denatürasyonunun artmasıyla süt tozunun çözünürlüğünün azalmasıdır. Bu işlem direk buharın süte injeksiyonu ya da sütün buhara püskürtülmesiyle yapılabileceği gibi indirek olarak plakalı ya da borulu sistemler ile de yapılabilir. Ardından süt vakum altında düşük basınçta kaynatılarak buharlaştırılır. Bu işlemle süt tozu içindeki hava miktarı azaltılarak ürünün dayanma süresi ve üretim hızı artar. Buharlaştırmayla neredeyse sütteki suyun % 85’i uzaklaştırılır. Buharlaştırmanın ardından koyulaşan süt homojenizasyon işlemine tabi tutulur. Burada amaç büyük yağ globüllerinin parçalanmasını sağlayarak çaplarını küçültmektir. Aynı zamanda homojenizasyonla rengin beyazlatılması, viskozitenin artırılması gibi son üründe istenilen birtakım özelliklerde elde edilir. Ancak asıl amaç yağ taneciklerinin çaplarının küçülmesiyle hareketlerini yavaşlatmak veya tamamen durdurmaaktır. Böylece depolamada süt tozu içindeki yağın oksidasyonuna bağlı olarak acılaşıma meydana gelmesinin önüne geçilmiş olur.

Koyulaşmış süte homojenizasyon işlemi genelde 50 °C dolayında ve 125-150 bar parametrelerinde uygulanır. Süt tozunun kurutulmasında başlıca 2 yöntem vardır.

Bunlardan silindir metodu eski bir yöntem olmasına rağmen özellikle çikolata sektöründe kullanılan süt tozları halen bu yöntemle üretilmektedir. Bu yöntemin prensibi süütün 143-146 °C'de ısıtılmış metal yüzeylerde 2-3 sn ısıtılarak ince bir tabaka halinde kurutulmasına dayanır. Genelde işlemi hızlandırmak için süt önce 70°C'ye ısıtılır. Silindir yüzeye 0.5 mm kalınlıkta yayılan süt kısa süre içinde kuruyarak silindire yakın konumda bulunan kazıyıcı bıçaklar tarafından kazınarak taşıyıcı tabakalara aktarılır. Öğütücülere gelen süt tozu elenerek içindeki sert ve yanık parçalardan ayrıştırılır. Bu yöntemle az miktarda sütü koyulaştırma işlemi yapmadan kurutmak mümkündür. Valsli kurutma yönteminin diğer yöntemle kıyaslandığında daha az masraf ve yatırım maliyeti gerektirdiği görülmektedir.

Diğer kurutma yöntemi ise süütün dehidrasyonundaki en gelişmiş yöntem olan püskürtmeli kurutmadır. Püskürtmeli kurutmada prensip kurutma hücreesindeki sıcak hava içerisine atomize edilen ürünün çok geniş bir yüzey kazanarak sıcak hava içinde hızlıca kurumasıdır (Filkova ve ark., 2006). Bu yöntemde ürün 50-70 °C sıcaklığa sahipken kurutucu hava 180-230 °C civarında olup 3-10 saniye gibi kısa bir sürede kurutma gerçekleşir.

Püskürtmeli kurutmada ilk olarak içinde kurutma havası bulunan kurutma kulelerine konsantre süt çok ince parçacıklar şeklinde püskürtülür. Püskürtülen süt sıcak havayla kurutularak bünyesindeki su uzaklaştırılır. Son olarak süt tozu kurutma havasından ayrılır (Fox ve ark., 2000; Guinee ve Kilcawley, 2004; Pisecky, 2005; Guinee, 2011). Kurutma ekipmanı ve kurutma şartlarının optimizasyonu, üretilmesi amaçlanan son ürüne ve ürünün kullanım amacına göre belirlenmelidir. Püskürtmeli kurutma diğer yöntemlerle kıyaslandığında hızlı olması, kurutma bölümünde geçen sürenin kısa olması ve kurutucudan çıkan ürünün paketlenabilir halde olması dikkat çeker. Püskürtmeli kurutmanın ürüne zarar vermeden 3-10 saniye gibi kısa sürelerde kurutma işlemini gerçekleştiriyor olması ısıya duyarlı gıdaların kurutulmasına olanak sağlar (Okos ve ark., 2007; Schuck, 2011a). Püskürtmeli kurutmanın bir avantajı da toksik, patlayıcı ve ısıya duyarlı ürünlerin de kurutulabilmesidir. Ayrıca son ürünün nem miktarı, partikül büyüklüğü işlem koşulları değiştirilerek ayarlanabilir (Thomas ve ark., 2004; Filkova ve ark., 2006; Schuck, 2011a). İşletmeye veya ürüne özel olarak tasarlanabilen ve değişik kapasitelerde çalışabilen püskürtmeli kurutucularda işlem kontrolü oldukça kolaydır ve aseptik olarak çalışabilirler. Bu gibi pek çok avantajının yanında püskürtmeli kurutucularda bulunan yapısal sorun enerji tüketimlerinin çok yüksek olması ve ürün maliyetini artırmalarıdır. Diğer bir dezavantaj ise

kurutma esnasında kurutucu yüzeyine toz yapışması olayıdır, bu durum yangın çıkma riski ve verimin düşmesini de peşinde getirir (Filkova ve ark., 2006; Schuck, 2011a).

Kurutulan ürün artık ambalajlamaya hazır hale gelmiştir. Uygun koşullarda üretilen bir ürün, uygun ambalaj materyali ve optimum koşullarda depolanmazsa ürünün yapısında bir takım istenmeyen değişiklikler olabilir. Yağlı ve kurutulmuş süt ürünleri ışık, oksijen ve neme karşı duyarlı olduğu için seçilen ambalaj ürünü bu etmenlere karşı korumalıdır. Süt tozunun nem miktarı maksimum % 5 civarındadır ve bunun üzerine çıkarsa topaklaşma sertleşme gibi problemlerle karşılaşılır. Bu problemlerle karşılaşmamak için ambalaj materyali su buharını geçirmemelidir. Ayrıca toz gıda içindeki yağ asitlerinin oksijenle reaksiyona girerek lipidlerin okside olmaması için gaz geçirgenliği olmayan ambalajlar tercih edilmelidir. Kurutulmuş süt tozu ürünlerini ambalajlamada tercih edilebilecek materyaller şunlardır; al-folyo (12 µm) kaplı Kraft kâğıdı, 40 Kromo karton, dışı Alüminyum folyoyla kaplanmış karton kutular, selafon, al-Folyo/ LDPE kombinasyonundan hazırlanan torbalar, al-folyo kaplı Kraft kâğıdı. Selofan/ Al-folyo/ LDPE veya g/m² / LDPE (30µm)'den oluşan ambalajlara % 80 N₂ - % 20 CO₂ karışımı eşliğinde dolun önerilmektedir (Üçüncü, 2000).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Süt tozlarının üretiminde kullanılan yağsız koyulaştırılmış sütler Enka Süt A.Ş.'den (Konya) temin edilmiştir. İşletmede koyulaştırılmış sütler endüstriyel süt tozu üretim prosesine göre üretilmiş ve toza işlenmiştir. Ambalaj materyali olarak süt tozunun endüstriyel olarak ambalajlanmasında kullanılan üç kat kraft kâğıt kaplı polietilen torba kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Süt tozu örneklerinin üretimi

Araştırmada çift kademeli koyulaştırma işlemi (evaporatör ve ters ozmoz) yapılmıştır. Farklı oranlarda (% 0.020, 0.030 ve 0.035) transglutaminaz enzimi içeren sütlerden yapılan süt tozlarının üretimine ait proses akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir. Süt tozu üretiminde pilot ölçekli Niro Atomizer kurutma ünitesi kullanılmıştır.

- ▶ Süt boşaltma ve kaba filtrasyon
- ▶ Çiğ süt soğutma ve depolama
- ▶ Ön ısıtma (63 °C)
- ▶ Seperatör
- ▶ Pastörizasyon (85 °C 1 dk)
- ▶ Evaporasyon (Evaporatör 20-25 bx, ters ozmoz 40-45 bx)
- ▶ Enzim ilavesi (% 0.020, 0.030 ve 0.035)
- ▶ İnkübasyon (50°C 2 saat)
- ▶ Homojenizasyon (10 Mpa)
- ▶ Konsantre süt besleme (63 °C)
- ▶ Kurutma (Giriş sıcaklığı 180 °C, çıkış sıcaklığı 70 °C)
- ▶ Ambalajlama (polietilen iç torba üzeri 3 kat kraft kâğıt torba içerisinde)

Şekil 3.1.Süttozu proses akış şeması

3.2.2. Süt tozlarına uygulanan analizler

3.2.2.1. Fizikokimyasal analizler

3.2.2.1.1. Nem

Darası alınmış kurutma kaplarına yaklaşık 3 g süt tozu örneği tartılmış ve sıcaklığı $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ olan etüvde 3 saat bekletilerek süt tozlarının nem içeriği gravimetrik olarak belirlenmiştir (GEA, 2006a).

3.2.2.1.2. Yağ

Süt tozlarının yağ içeriğinin belirlenmesinde % 0-35 skalaya sahip Teichert süt tozu bütirometreleri kullanılmıştır. Bütirometreye sırasıyla 10 ml 1.816 g/ml yoğunluklu H_2SO_4 , 8 ml distile su, tam olarak tartılmış 2.5 g süt tozu ve 1 ml amil alkol (0.811 g/ml) eklenmiştir. Sonrasında bütirometrenin tıpası kapatıldıktan sonra 15 dk Gerber santrifüjünde (Funke Gerber, Almanya) santrifüjlenmiştir. Örneklerin yağ oranı % yağ olarak bütirometre skalasından direkt olarak okunmuştur (GEA, 2005).

3.2.2.1.3. Protein

Süt tozlarının protein miktarı Kjeldahl metoduyla Kjeltch (Kjeltec-8200, Foss Electric, Danimarka) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Analiz için 1 g süt tozu örneği Kjeldahl tüpüne tartılmıştır. Tüpün içerisine 2 adet Kjeldahl tableti atılıp üzerine 10 ml H_2SO_4 ilave edilip gaz çıkışı bitinceye kadar (10-15 dakika) beklenmiştir. Daha sonra tüpler $400-420^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta berraklaşmaya kadar yakılmış ve oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Sonrasında tüplere 50 ml saf su ve 50 ml % 40'lük NaOH ilave edildikten sonra destile edilmiştir. Destilat 50 ml % 4'lük borik asit üzerine toplanmıştır. Destilat 0.1 N HCl ile titre edilmiştir. Örneklerin % protein içeriği toplama azotun 6.38 faktörü çarpılmasıyla bulunmuştur.

3.2.2.1.4. Kül

Süttozlarında kül miktarı kül fırınında 525°C’de gravimetrik olarak belirlenmiş sonuçlar yüzde olarak belirtilmiştir (GEA, 2004).

3.2.2.1.5. Asitlik

% 10 yağsız kuru madde olacak şekilde rekonstitüe edilmiş sütler fenolftaleyn indikatörü kullanılarak 0.1N NaOH ile kalıcı pembe renk elde edilinceye kadar titre edilmiştir. Titrasyon asitliği değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanarak % laktik asit (% LA) cinsinden verilmiştir (GEA, 2006b).

$$\% \text{ Laktik asit} = \frac{\text{ml} \times \text{N} \times 90 \times 100}{\text{V} \times 1000}$$

ml: Harcanan 0.1 N NaOH (ml), N: NaOH’ın normalitesi, V: Titrasyonda kullanılan süt (ml)

3.2.2.1.6. pH

Süt tozları % 10 yağsız kuru madde olacak şekilde rekonstitüe edildikten sonra, pH değerleri Sentix 42 elektrotlu 315i/SET (WTW, Almanya) el tipi pH metre ile ölçülmüştür. Ölçüm öncesi standart buffer çözeltiler (pH 4.01 ve 7.01;WTW) kullanılarak cihaz kalibre edilmiştir.

3.2.2.1.7. Yabancı yanık madde

Süt tozları rekonstitüe hale getirildikten sonra özel filtreden süzölmüş ve ardından kurutularak standart test şeması ile karşılaştırılarak belirlenmiştir (ADPI, 2002). Bu analizde kullanılan karşılaştırma test şemasıŞekil 3.2’de verilmiştir.



3.2.2.1.8. Partikül irilik ve dağılımı

Süt tozlarının partikül irilik ve dağılımı, Scirocco 3000 kuru toz besleme ünitesi bağlanmış lazer kırınımı partikül boyutu analiz cihazı (Mastersizer 3000; Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, Birleşik Krallık) ile kuru metoda göre belirlenmiştir. Sonuçlar cihazın yazılımı (Malvern Application Ver. 5.60) kullanılarak hesaplanmıştır.

D[4.3] = Hacim ağırlıklı ortalama,

D[3.2] = Yüzey ağırlıklı ortalama

d(0.1) = Numunenin% 10'unun bu çapın altında olduğunu göstermektedir.

d(0.5) = Numunenin% 50'sinin bu çapın altında olduğunu göstermektedir.

d(0.9) = Numunenin% 90'ının bu çapın altında olduğunu göstermektedir.

Span = Dağılımın genişliğini medyan değere göre normalleştirmektedir.

$$\text{Span} = \frac{d(0.9) - d(0.1)}{d(0.5)}$$

Üniformite = Partikül boyutu dağılımının büyüklüğünü ve partikül boyutu dağılım eğrisinin gradyanını yansıtmaktadır.

Spesifik yüzey alanı = Partiküllerin toplam alanının, toplam ağırlığa bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

3.2.2.1.9. Renk ölçümü

Renk analizleri Chroma Meter CR400 renk ölçüm cihazı (Minolta, Osaka, Japonya) ile yapılmıştır. L, a, b ve delta değerleri CIELAB renk aralığına göre belirlenmiştir. Ölçüm öncesi, cihaz referans tabla (L= 97.10, a= -4.88, b= 7.04) kullanılarak kalibre edilmiştir (Francis, 1998).

3.2.2.2. Toz akış özelliklerinin belirlenmesi

Süt tozlarının toz akış özelliklerinin belirlenmesinde Toz Akış Analiz sistemiyle donatılmış TA.XTPlus tekstür analiz cihazı (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) kullanılmıştır. Analiz öncesinde, tekstür analiz cihazına kuvvet ve mesafe kalibrasyonu yapılmıştır. Toz Akış Analiz sisteminde, 220 ml toplam hacime sahip standart cam silindir (yüksekliği 120 mm ve iç çapı 50 mm) ve çapı 48 mm ve yüksekliği 10 mm olan özel bir döner bıçak (Rotor no. R48/50/10/2/A) kullanılmıştır. Bu sistemde, akış özellikleri harekete bağlı olarak bıçak ve tozun yer değiştirmesinden dolayı tozun cam silindirin altına uyguladığı kuvvetten belirlenmektedir.

Her analiz öncesinde belirli hacimde süt tozu örneği cam silindire koyulup örnek miktarı tartılmıştır. Her bir süt tozu örneğine, kohezyon, dört farklı hızda kohezyon ve powder speed flow dependence (PFSD) analizleri uygulanmıştır. Bu analizlerin sonuçları Exponent yazılımındaki (Stable Micro System, UK) ilgili makrolar kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kohezyon analizi: Süt tozlarının kohezyon analizinde öncelikle iki koşullandırma döngüsü yapılmıştır. Bu iki döngüyü takiben toz örneğinin içinde bıçak önce 50 mm/s hızla dilimleme hareketiyle aşağıya inmiş ve sonrasında yine 50 mm/s hızla dilimleme hareketiyle yukarıya çıkmıştır. Toz örneğinin sıkıştırmasını minimize etmek 50 mm/s hız ile kesme hareketi kullanılmıştır. Kohezyon verisi bıçak yukarı 50 mm/s hız ile çıkarken kaydedilmiştir. Uzaklık/mesafe grafiğindeki negatif alan kullanılarak kohezyon katsayısı (g.mm) hesaplanmıştır. Kohezyon katsayısı, bıçağı toz sütunundan geçirmek için gerekli olan, yani tozu kaldırmak için gereken kuvvettir. Kohezyon indeksi ise kohezyon katsayısının örnek ağırlığına bölünmesiyle elde edilmiştir.

PFSD analizi: Süt tozlarının PFSD analizlerinde ilk olarak iki koşullandırma döngüsü yapılmıştır. Ardından sırasıyla her biri ikişer döngüden oluşan sırasıyla 10, 20, 50, 100 ve 10 mm/s'lik sıkıştırma ve 50 mm/s'lik kaldırma hızından oluşan beş set uygulanmıştır. Döngülerin aşağı yönlü olanları tozu sıkıştırma ve yukarı yönlüleri ise kaldırma hareketi olarak

kullanılmıştır. Analiz sonunda, elde edilen sıkıştırma grafiklerindeki pozitif alanın her hızdaki iki döngü için ortalaması alınmıştır. Bu alan kullanılarak her hızdaki (10, 20, 50, 100 mm/s) sıkıştırma katsayısı (g.mm) belirlenmiştir. Sıkıştırma katsayısı, bıçağın sıkıştırma hareketi kullanarak toz sütunundan aşağıya doğru çekilmesi için gereken kuvveti ifade etmektedir. İlk 10 mm/s'lik sıkıştırma hızı için iki döngünün grafiğinin negatif alanındaki ortalaması alınmış ve 50 mm/s hızda kohezyon katsayısı olarak verilmiştir. Akış stabilitesi, son 10 mm/s'lik döngülerin sıkıştırma katsayısının, ilk 10 mm/s'lik döngülerin sıkıştırma katsayısına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

Dört hızda kohezyon analizi: Dört hızda kohezyon analizi, standart PFSD ve kohezyon analizinin modifiye edilmiş halidir. Bu analiz toz örneklerinin akış hızına bağlı olarak akış özelliklerindeki değişimi belirlemek için kullanılmıştır. Analizin başlangıcında, bir koşullandırma döngüsü uygulanmıştır. Ardından her iki yönde de 10 mm/s hızla bir döngü, 20 mm/s'de 1 döngü, 50 mm/s'de 1 döngü, 100 mm/s'de 1 döngü ve son olarak 10 mm/s'lik hızla 1 döngü yapılarak analiz tamamlanmıştır. Kuvvet/mesafe grafiğinin altındaki negatif alan kullanılarak elde edilen kohezyon katsayıları örnek ağırlığına bölünerek her hız (10, 20, 50 ve 100 mm/s) için kohezyon indeksleri hesaplanmıştır. Kohezyon indeksine bağlı olarak tozların akış davranışlarının sınıflandırılması Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

3.2.2.3. İstatistiksel analiz

Araştırma sonucu elde edilen verilerin istatistiki değerlendirmeleri Minitab (sürüm 18, Minitab Inc., A.B.D.) paket programındaki General Linear Model komutu kullanılarak yapılmıştır. Varyasyon kaynağına ait ortalamaların karşılaştırılmasında Tukey metodu kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kohezyon indeksine göre tozların akış davranışlarının sınıflandırılması

Kohezyon İndeksi (KI)	Akış Davranışı
>19	Aşırı derecede kohezif
19 – 16	Çok kohezif
16 – 14	Kohezif
14 – 11	Kolay akabilir
<11	Serbest akabilir

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Süt Tozlarının Fizikokimyasal Özellikleri

Süt tozlarının fizikokimyasal özelliklerinde meydana gelen değişim **Çizelge 4.1**'de verilmiştir. Nem miktarı toz ürünler için önemli bir kalite unsurudur. Farklı oranlarda transglutaminaz enzimi ilave edilerek üretilen süt tozlarının nem (m/m) değerleri önemli farklılıklar göstermiştir. Kontrol örneğinin nem miktarı 2.35 olarak kaydedilirken sırasıyla TG35, TG30 ve TG20 için sonuçlar 2.23, 1.79 ve 1.53 olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre örneklerin nem içerikleri kontrol örneğine göre daha düşük çıkmıştır. İçeriğindeki laktoz sebebiyle süt tozları nem çekici özellik göstermektedir ve süt tozların da nem oranı % 5'in üzerine çıktığında Maillard reaksiyonunun hızı artmakta, protein denatürasyonu olmakta ve enzimatik reaksiyonlar ile laktoz kristalizasyonunun hızlanmasına neden olmaktadır. Bu reaksiyonlar ise sütün depolanması sırasında önemli kalite kayıplarına neden olmaktadır.

Çizelge 4.1. Süt tozlarının fizikokimyasal özellikleri

		TG Kontrol	TG20	TG30	TG35
Nem (m/m)		2.35±0.07	1.53±0.11	1.79±0.04	2.23±0.12
Yağ (m/m)		0.5±0.0	0.5±0.0	0.5±0.0	0.5±0.0
Protein (m/m; N x 6.38)		34.80±0.13	34.99±0.18	34.98±0.10	35.02±0.16
Kül (m/m)		7.32±0.07	8.62±0.09	8.89±0.10	8.85±0.12
Asitlik (% LA)		0.11±0.01	0.13±0.00	0.12±0.01	0.11±0.01
pH (%10'luk çözelti)		6.67±0.02	6.65±0.04	6.64±0.02	6.68±0.02
Yabancı yanık madde		A	B	B	C
Partikül irilik ve dağılımı	Span	1.441±0.012	1.053±0.002	1.218±0.039	1.149±0.011
	D [4.3](µm)	50.432±0.496	40.224±0.081	44.301±3.164	46.342±0.344
	Üniformite	0.471±0.010	0.327±0.000	0.455±0.078	0.380±0.004
	Spesifik yüzey alanı	0.159±0.000	0.176±0.000	0.177±0.001	0.160±0.001
	D [3.2] (µm)	37.797±0.061	34.042±0.054	33.842±0.321	37.569±0.164
	d (0.1)(µm)	22.032±0.011	21.165±0.026	20.514±0.061	23.198±0.068
	d (0.5)(µm)	43.333±0.057	38.509±0.055	37.996±0.216	42.063±0.168
	d (0.9)(µm)	84.440±0.607	61.703±0.175	66.777±1.812	71.539±0.748
Renk değerleri	L	97.73±0.02	97.62±0.04	97.41±0.00	97.53±0.22
	a	-4.46±0.03	-4.40±0.06	-4.31±0.16	-4.07±0.18
	b	14.17±0.06	14.23±0.18	14.55±0.49	13.70±0.59
	ΔL	81.50±0.03	81.39±0.03	81.19±0.01	81.30±0.23
	Δa	-4.35±0.03	-4.29±0.07	-4.21±0.16	-3.97±0.18
	Δb	17.56±0.05	17.62±0.19	17.94±0.49	17.08±0.59
	ΔE	83.48±0.04	83.39±0.08	83.25±0.11	83.17±0.08

Farklı oranlarda transglutaminaz enzimi ilave edilerek üretilen süt tozlarının pH (%10'luk çözelti) değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. En düşük pH değerinin 6.64 ile TG30 örneğine ait olduğunu ve diğer örneklerin pH değerleri sırasıyla kontrol örneği için 6.67, TG20 örneği için 6.65 ve son olarak TG35 için 6.68 olarak tespit edilmiştir. Özetle belirtmek gerekirse enzim ilavesiyle süt tozlarının pH değerlerinde bir miktar değişim olmakla birlikte bu değişim çok dar sınırlar içinde yaşanmıştır.

Çizelge 4.1'de verilen verilere bakıldığında TG Kontrol ve TG35 için asitlik değerlerinin 0.11 olduğu ve TG20 için 0.13 TG30 için ise 0.12 olarak tespit edildiği görülmektedir. Bu sonuçlardan hareketle enzim miktarındaki azalma asitlikte artışa sebep olmuştur. Ancak tüm örnekler için Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) yağsız süt tozu standardında belirtilen maksimum % 0.18 asitlik standardını aşmadığı belirlenmiştir (ADPI, 2018b).

Farklı oranlarda transglutaminaz enzimi ilave edilerek üretilen süt tozlarının yağ oranları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Tüm örneklere ait yağ değeri 0.5 m/m olarak tespit edilmiş olup enzim ilavesinin süt tozlarının yağ oranını değiştirmedeği görülmüştür.

Çizelge 4.1'de verilen verilere bakıldığında TG Kontrol örneği için protein değeri 34.80 olarak tespit edilirken sırasıyla enzim ilavesinin artmasıyla örneklerin protein değerlerinde küçük bir miktar artış tespit edilmiştir. En yüksek protein değeri 35.02 ile TG35 örneğine aittir. TG20 ve TG30 örneklerinin protein değerleri TG Kontrol örneğine çok yakın olup 34.99 ve 34.98 olarak ölçülmüştür.

Farklı oranlarda transglutaminaz enzimi ilave edilerek üretilen süt tozlarının kül miktarları (m/m) Çizelge 4.1'de görülmektedir. TG Kontrol örneğinin kül miktarı 7.32 tespit edilirken enzim miktarındaki artışa bağlı olarak sırasıyla örnekleri kül miktarı 8.62, 8.89 ve 8.85 olarak kaydedilmiştir. TG30 ve TG35 örneklerinin kül değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Çiğ süte değişen miktarlarda transglutaminaz enzimi ilavesi ile üretilen süt tozu örneklerinin yabancı yanık madde içeriğinde meydana gelen değişim Çizelge 4.1'de verilmiştir. Süt tozlarının yabancı yanık madde diskleri kontrol örneği için A olarak belirlenirken TG20 ve TG 30 için B, TG35 için ise C olarak tespit edilmiştir. Amerikan Süt Ürünleri Enstitüsü (ADPI) süt tozlarında yabancı yanık madde içeriği için maksimum B diskinde izin vermektedir. Bu çalışmadaki sonuçlara göre TG20 ve TG30 örneği ADPI standartlarını karşılamaktadır.

Süt tozlarının partikül boyutu ölçümü sonuçları span, üniformite, spesifik yüzey alanı (SYA), $D[3,2]$, $D[4,3]$, $d(0.1)$, $d(0.5)$ ve $d(0.9)$ değerleri olmak üzere 8 farklı şekilde değerlendirilmiştir. Transglutaminaz enzimi ilave edilmiş çiğ sütlerden üretilen süt tozu örneklerine ait partikül irilik ve dağılımına ait değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Partikül dağılımının boyutsuz genişliğini ifade eden span değeri kontrol örneğinde 1.441 olarak tespit edilirken TG20 için 1.053, TG 30 için 1.218 ve TG35 için 1.149 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlardan hareketle enzim ilave edilerek üretilen süt tozlarının span değerlerinin düştüğü görülmektedir. Süt tozlarının kurutulması işlemi esnasında ortaya çıkan boyut dağılımı ve parçacıklar arası ilişkilerintoz akışkanlığını etkilediği anlaşılmaktadır.

Kısaca span değerinin düşük olması toz örneğin daha dar bir partikül dağılımı gösterdiğini ve dar bir dağılım gösteren tozların daha iyi akış özelliği gösterdiği bildirilmektedir. Bu bilgiden hareketle TG20 örneğinin span değerinin diğer örneklerden düşük olması sebebiyle daha iyi akış gösterdiği tespit edilmiştir.

Diğer sonuç parametresi olan üniformite medyandan ($d(0.5)$) mutlak sapmanın bir ölçüsüdür. Çizelge 4.1’deki verilere bakıldığında TG Kontrol örneği için üniformite değeri 0.471 iken enzim miktarı arttıkça bu değerde azalma görülmüştür. Kısaca üniformite değerindeki artış tozların medyan değerden uzaklaşmasındaki artışı ifade eder ve bu bilgiye göre kontrol örneği, enzim ilaveli tozlarla kıyaslandığında medyan değerden daha fazla uzaklaşmıştır.

Çizelge 4.1’de verilen bilgiler ışığında TG Kontrol örneğinin spesifik yüzey alanı 0.159 olarak görülmektedir. Farklı oranlarda enzim ilave edilerek üretilen süt tozu örneklerinin spesifik yüzey alanlarının kontrol örneğiyle kıyaslandığında daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Partikül hacminin küpünün, yüzey alanının karesine bölünmesiyle hesaplanan $D[3,2]$ değeri yüzey ağırlıklı ortalama olarak tanımlanmaktadır. $D[3,2]$ değeri aktif yüzeylere sahip veya yüzey alanının önemli olduğu durumlarda kullanılmakta ve aynı zamanda Sauter ortalama çapı olarak bilinmektedir. Çizelge 4.1’deki verilere bakıldığında enzim ilaveli sütlerden üretilen süt tozlarının kontrol örneğine kıyasla daha düşük yüzey ağırlıklı ortalama değerine sahip oldukları görülmektedir.

Hacim ağırlıklı ortalama (HAO) olarak adlandırılan ve genellikle parçacık sayısının önemsiz olduğu durumlarda kullanılan bir diğer terim ise $D[4,3]$ değeridir. Yapılan çalışmada $D[4,3]$ değeri TG Kontrol örneği için 50.432 olarak tespit edilirken diğer örnekler için sırasıyla 40.224, 44.301, 46.342 olarak tespit edilmiş olup enzim ilavesine bağlı olarak toz partiküllerinin hacim ağırlıklı ortalamasının düştüğü görülmüştür.

$d(0.1)$ değeri örneğin % 10'unun bu çapın altında olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.1'de verilen verilere bakıldığında en düşük $d(0.1)$ değerinin TG30 ve en yüksek $d(0.1)$ değerinin TG35 için tespit edildiği görülmektedir.

Benzer şekilde $d(0.5)$ değeri örneğin % 50'sinin bu çapın altında olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmada en TG Kontrol örneği 43.333 ile en yüksek $d(0.5)$ değerine sahip olurken en düşük değere TG30 sahiptir.

$d(0.9)$ değeri ise örneğin % 90'ının bu çapın altında olduğunu göstermektedir. Çizelgede 4.1'de ki verilere bakılarak en yüksek $d(0.9)$ değerinin TG Kontrol örneğine ait olduğu ve sırasıyla örneklerdeki enzim miktarındaki artışla bu değerin arttığı tespit edilmiştir.

L değeri parlaklığın bir ölçüsüdür. Yapılan çalışmada örneklerin L değerleri kıyaslandığında büyük bir değişimin yaşanmadığı görülmektedir. Kısaca enzim ilavesi tozların parlaklığında büyük etki meydana getirmemiştir.

Tozlarda a-değeri kırmızılığı (-60% yeşil, +60% kırmızı) belirtmektedir. Süt tozu örneklerinin a-değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.1'de belirtilmiştir. Buna göre en yüksek a-değerine TG Kontrol örneği sahipken en düşük değer TG35 örneği için tespit edilmiştir. Enzim ilaveli sütlerden üretilen süt tozlarının a-değerleri kontrol örneğiyle kıyaslandığında enzim miktarındaki artışa paralel olarak a-değerinin azaldığı görülmektedir.

Süt tozlarında b-değeri sarılığı (-60 mavi +60 sarı) belirtmektedir. Süt tozu örneklerinin b-değerlerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.1'de belirtilmiştir. Buna göre en yüksek b-değerine TG30 örneği sahipken en düşük değer TG35 örneği için tespit edilmiştir.

ΔL değeri ise çalışma sonucu elde edilen L değeri ile olması gereken L değeri arasındaki farkı ifade etmektedir. Çizelge 4.1'de yer alan ΔL değerlerine bakıldığında en yüksek değer TG kontrol örneğine aitken en düşük değer TG30 örneğine ait olmuştur.

Δa değeri çalışma sonucu elde edilen a-değeri ile olması gereken a-değeri arasındaki farkı ifade etmektedir. Çizelge 4.1'deki verilere bakıldığında en büyük Δa değerinin TG Kontrol örneğine ait olduğu ve eklenen enzim miktarındaki artışla paralel olarak toz örneklerinin Δa değerinin azaldığı görülmektedir.

Benzer şekilde Δb değeri çalışma sonucu elde edilen b-değeri ile olması gereken b-değeri arasındaki farkı ifade etmektedir. Çizelge 4.1'deki verilere bakıldığında en büyük Δb değeri TG30 örneğine aitken en düşük Δb değeri ise TG35 örneğinde olduğu tespit edilmiştir.

ΔE değeri ise ΔL , Δa , Δb gibi çeşitli fark değerlerinin toplamı sonucu ortaya çıkan toplam fark sonucunu gösterir. Bu değer ne kadar küçük olursa iki renk arasındaki fark o kadar az demektir. Çizelge 4.1'de yer alan ΔE değerlerine bakıldığında TG Kontrol örneğinin

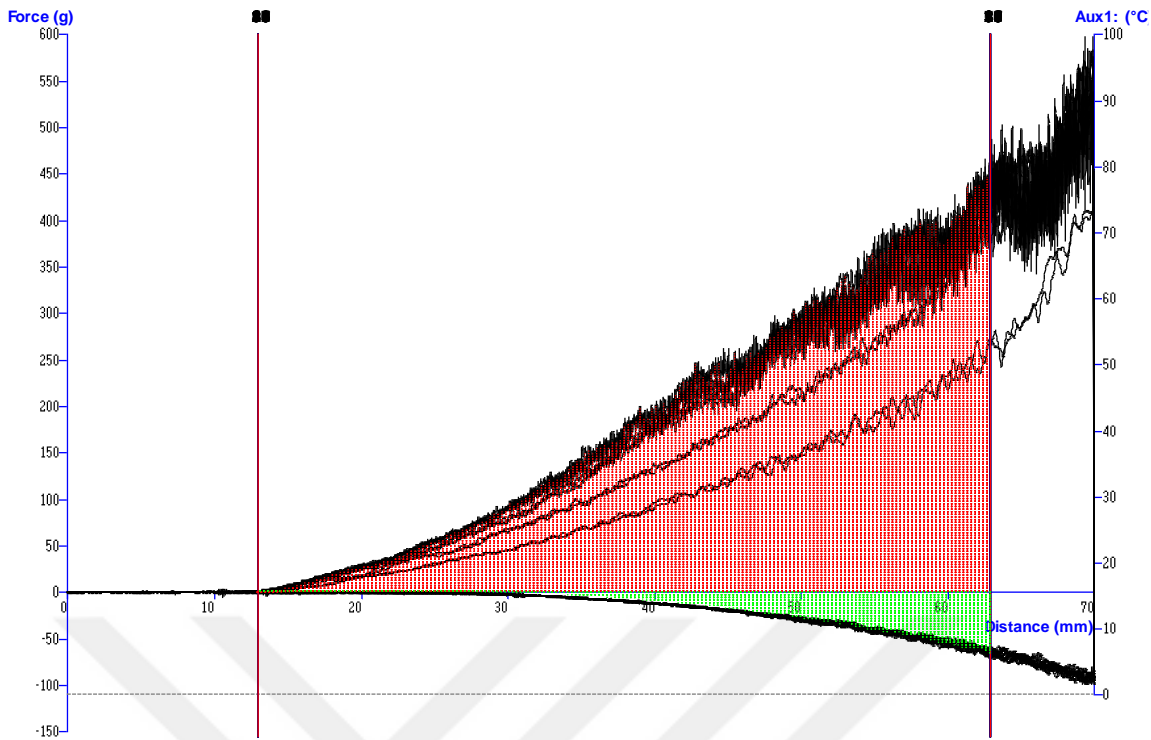
en yüksek değere sahip olduğu ve enzim miktarındaki artışla doğru orantılı olarak toz örneklerindeki toplam renk farkının azaldığı görülmektedir.

4.2. Süt Tozlarının Toz Akış Özelliklerinde Meydana Gelen Değişim

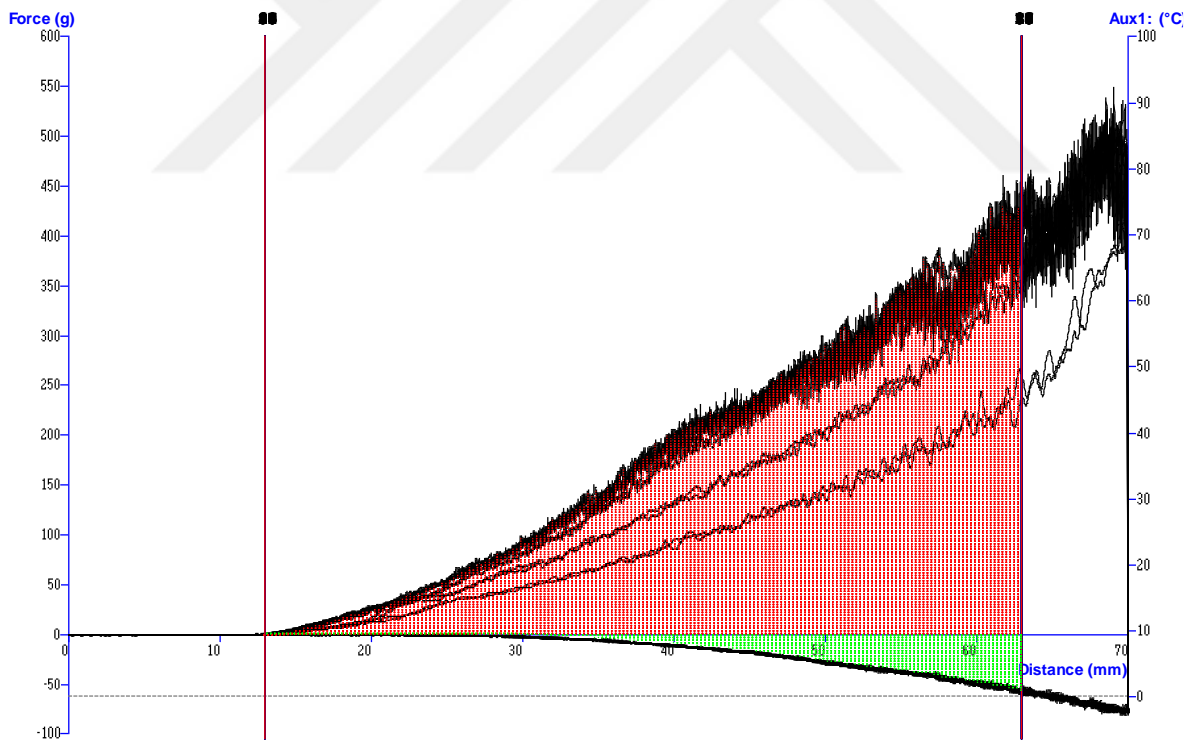
Süt tozlarının hıza bağlı toz akış özelliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.2’de verilmiştir. Hıza bağlı toz akış özellikleri analizi, uygulanan farklı hızlarda kontrollü akışta bir toz numunesinin direncini ölçmektedir. Bu analizde, artan hızlarda toz akış özelliklerini belirlemek için 10, 20, 50 ve 100 mm/s kontrollü akış hızı uygulanmıştır. Bu hızlar, tozların taşınması ve işlenmesi sırasında oluşabilecek çeşitli durumların simülasyonunun sonucudur. Hıza bağlı toz özellikleri analizinde, kuvvet-konum grafiklerinin üstündeki pozitif alan sıkıştırma eğrilerini göstermektedir ve her devirdeki iki döngü boyunca ortalaması alınıp test edilen hızların her birinde sıkıştırma katsayısını vermektedir. Çizelge 4.2’de yer alan sıkıştırma katsayısı verilerine bakılarak her örnek için hız arttıkça sıkıştırma katsayısının arttığı görülmüştür. Hız arttıkça sıkıştırma katsayısındaki artış, akmaya karşı direncin arttığını göstermektedir. Tüm örnekler için en yüksek sıkıştırma katsayısı 10 mm/s hızda kaydedilmiştir. Bu sonuçlardan hareketle daha yüksek sıkıştırma katsayısı değerleri, silindir içerisinde bulunan bıçağın toz partikülleri içindeki hareketi için gereken kuvvetin büyüklüğünü gösterir. Çizelge 4.2’de yer alan bilgilere göre 10 mm/s ve 20 mm/s hızda en yüksek sıkıştırma katsayısı TG Kontrol örneğine aitken en düşük sıkıştırma katsayısı TG35 örneğine aittir.

Çizelge 4.2. Süt tozlarının hıza bağlı toz akış özellikleri

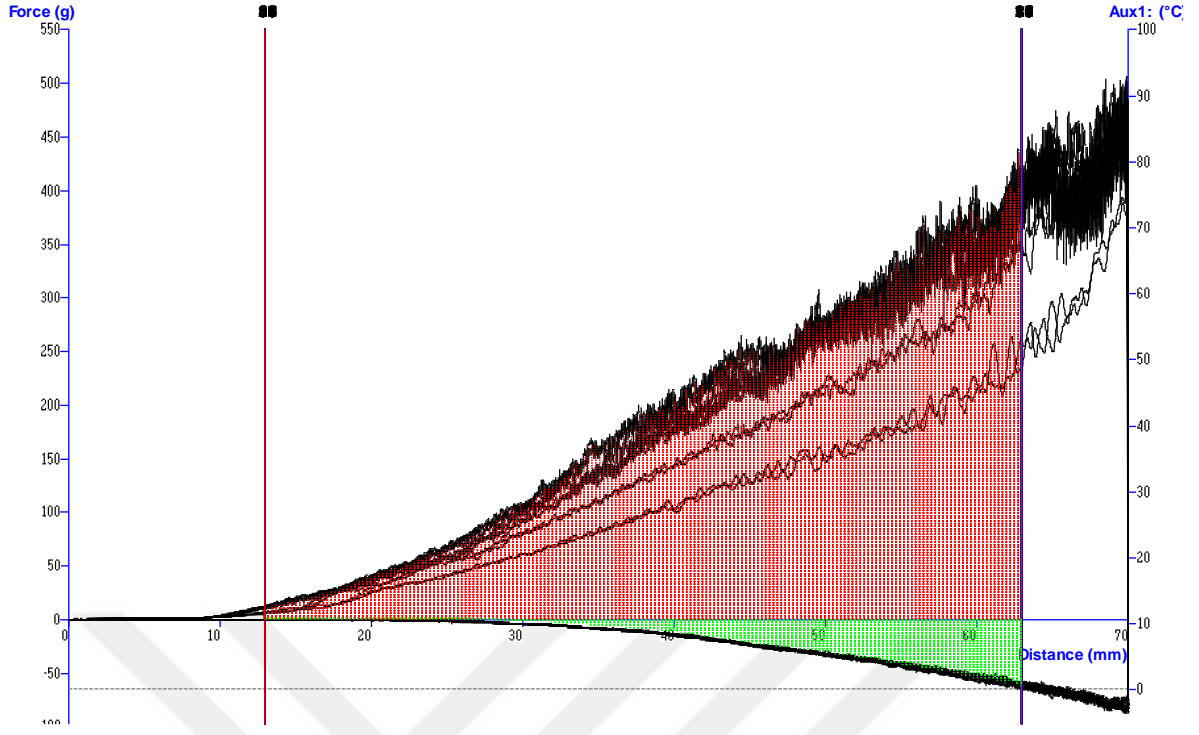
Örnek	Sıkıştırma katsayısı 10mm/s (g.mm)	Sıkıştırma katsayısı 20mm/s (g.mm)	Sıkıştırma katsayısı 50mm/s (g.mm)	Sıkıştırma katsayısı 100mm/s (g.mm)	Akış stabilitesi	Kohezyon katsayısı 50mm/s (g.mm)
TG Kontrol	8661.77	8662.29	6981.93	4835.60	1.04	-873.56
TG 20	8628.19	8517.28	6694.16	4652.73	1.02	-820.46
TG 30	8650.40	8589.46	7074.23	5182.78	1.05	-927.87
TG 35	7783.44	7698.85	6332.90	4726.45	1.00	-587.32



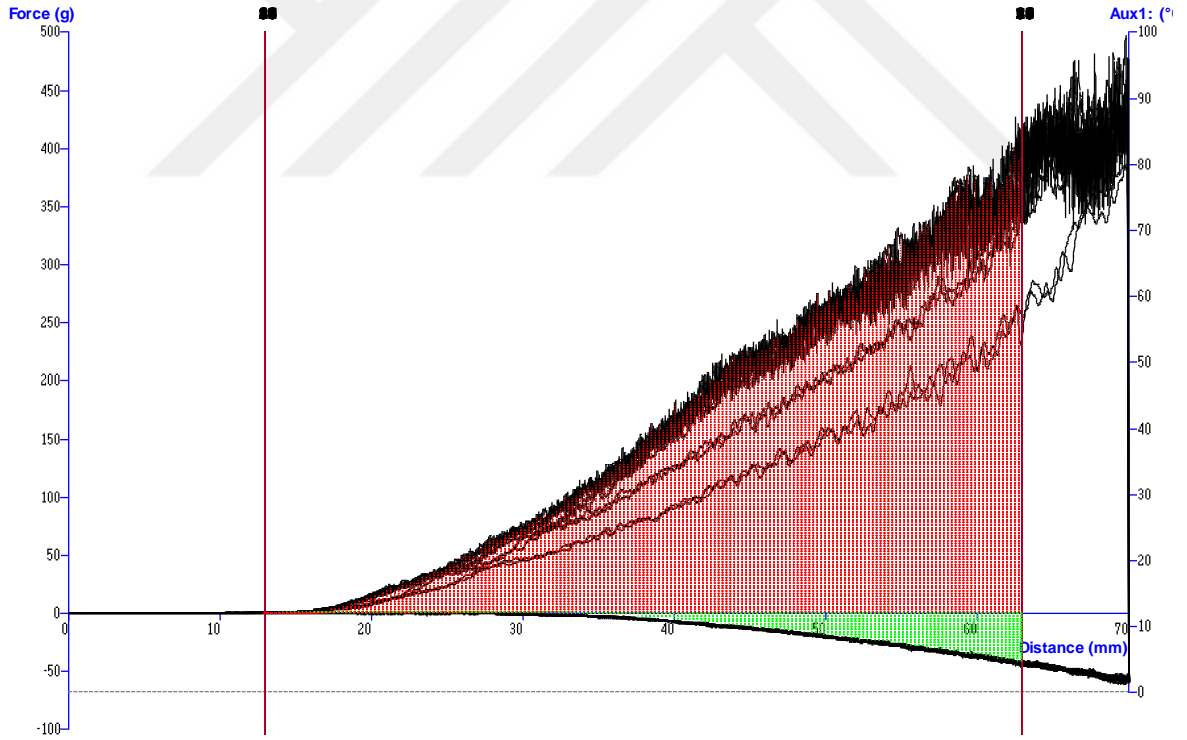
TG Kontrol



TG 20



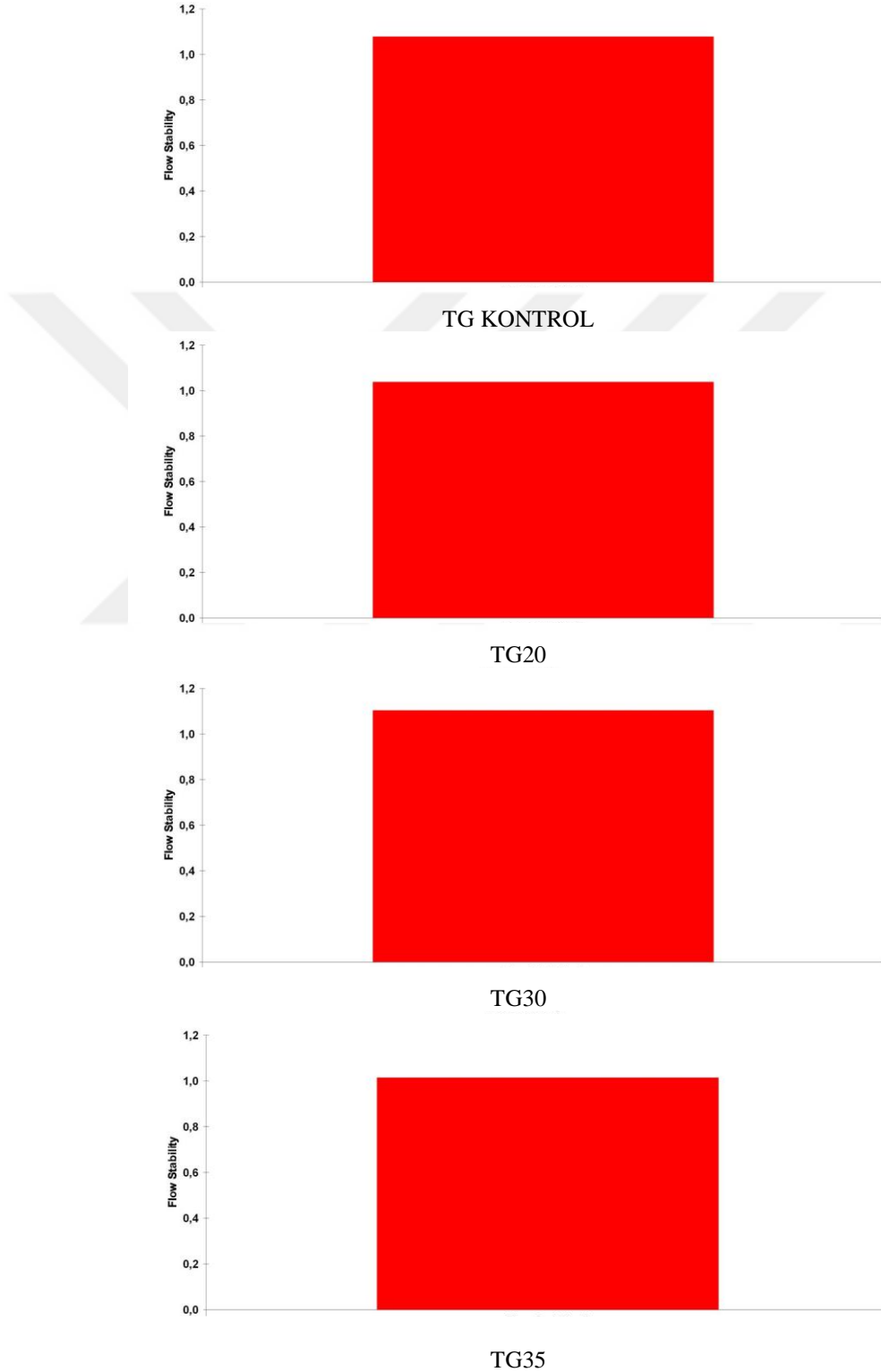
TG30



TG35

Şekil 4.1. Süt tozlarının akış davranışları

Akış stabilitesi, tozun akış direnci hakkında önemli bilgi vermektedir. Akış stabilitesi değeri 1.00'e yakınsa, test sırasında toz önemli ölçüde değişmemiştir. 1.00'e yakın bir akış stabilitesi ve artan bir sıkıştırma katsayısı, tozun yüksek akış hızlarında akmaya daha dirençli olduğunu göstermektedir. Akış stabilitesi, 1.00'den küçük veya daha büyük olması durumunda, test sırasında tozun değişikliğe uğradığını göstermektedir.



Şekil 4.2. Süt tozlarının akış stabiliteleeri

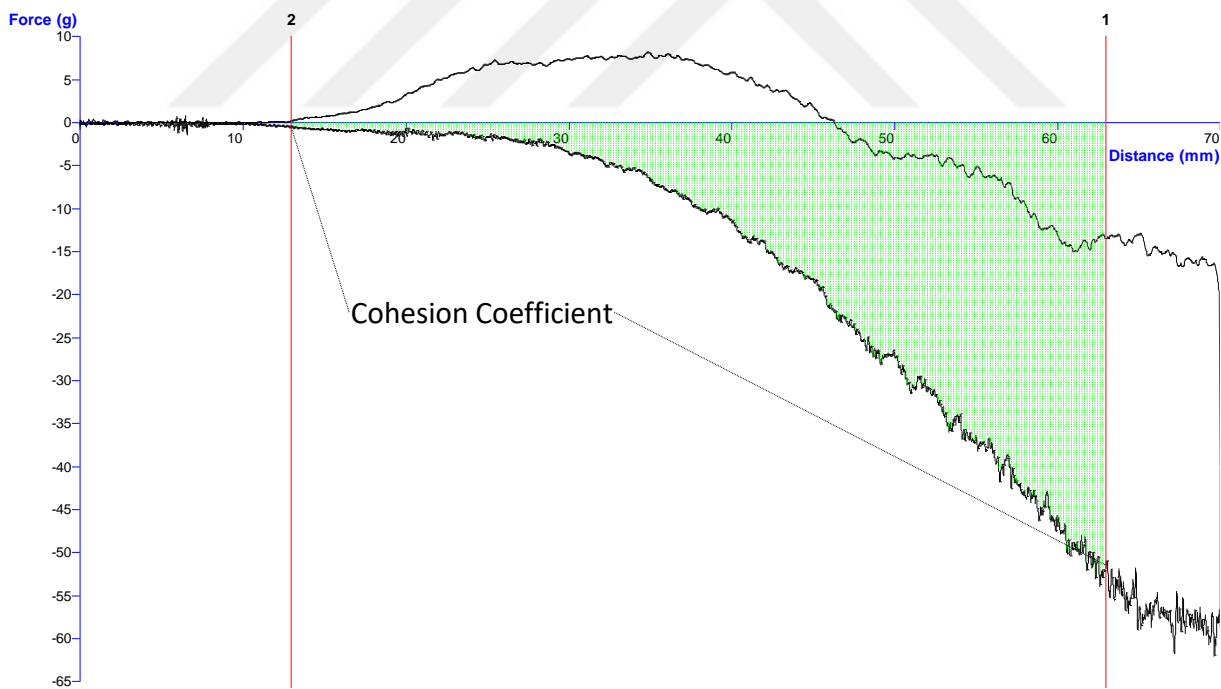
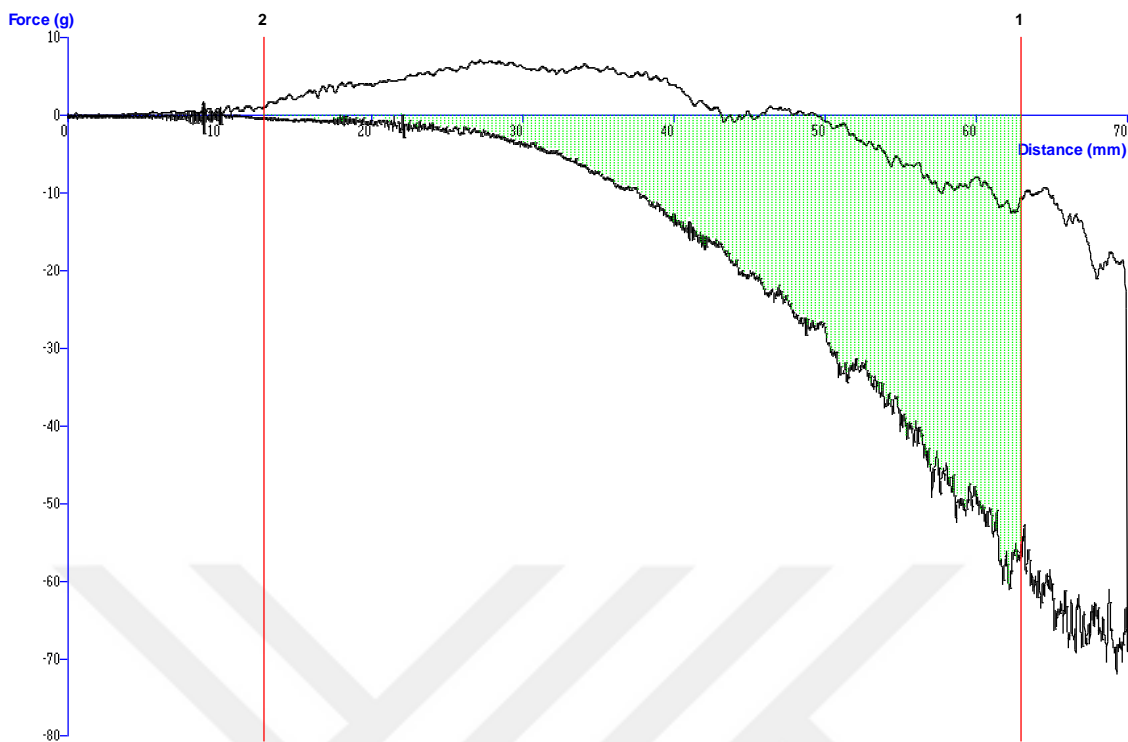
Çizelge 4.2’de yer alan akış stabilitesi verilerine bakıldığında TG35 için değerin 1 olduğu görülmüş olup örneğin akış direncinin test sırasında değişime uğramadığı tespit edilmiştir. Diğer örnekler için akış stabilite değerleri 1.04, 1.02 ve 1.05 olarak kaydedilmiş olup bu değerler 1’e oldukça yakındır.

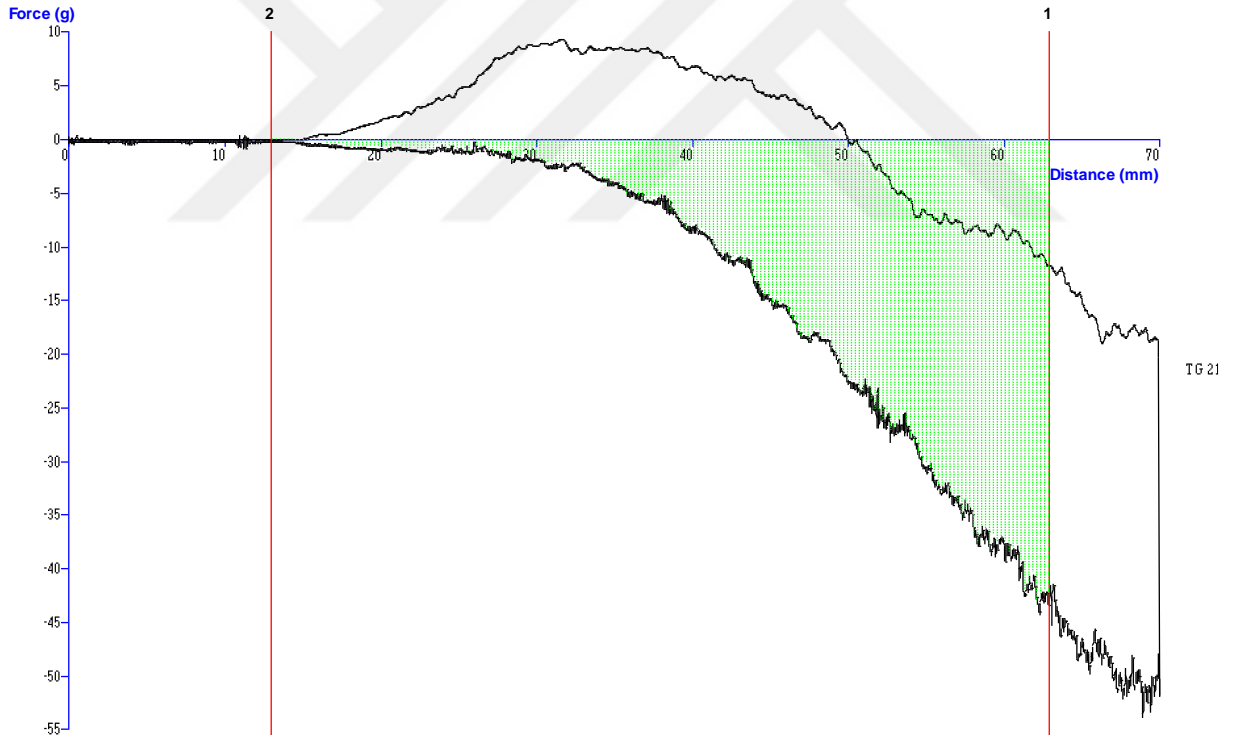
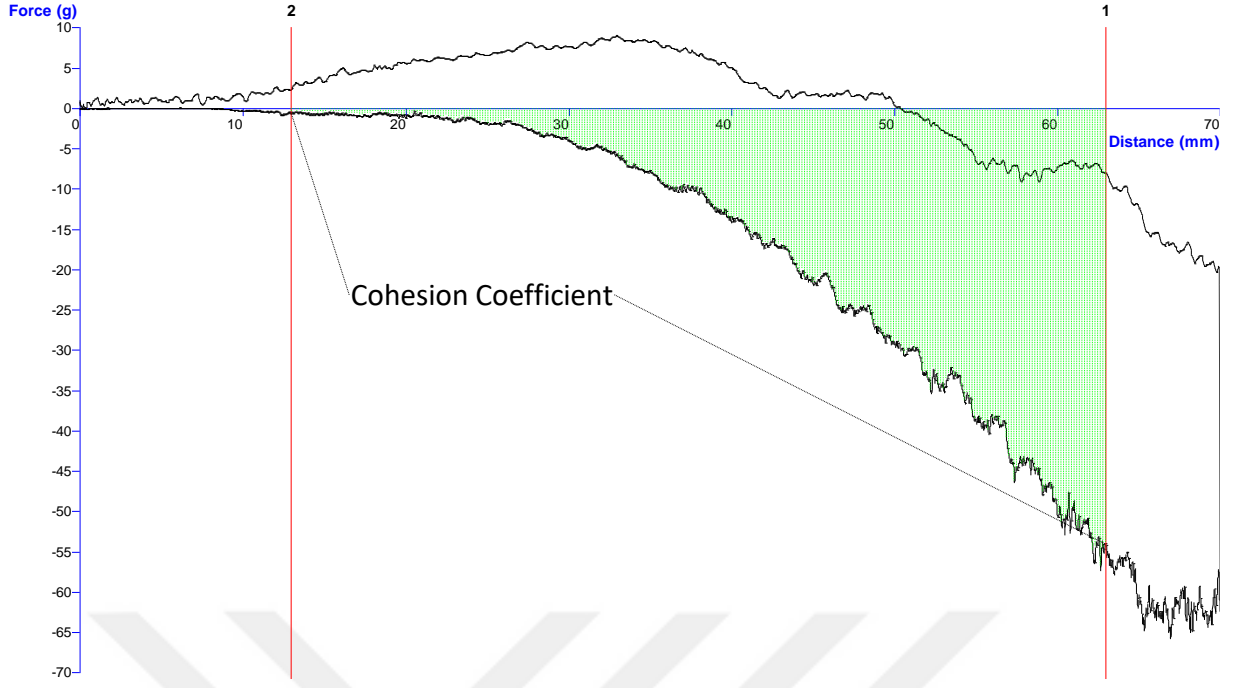
Kohezyon, toz partiküllerinin birbirine yapışması ve aglomere (daha büyük partikül kümeleri oluşumu) olmasıdır. Kohezyon, süt tozlarının toz akışkanlığını doğrudan etkilemektedir ve toz akış davranışı süt tozlarının en önemli özelliklerinden biridir. Bir süt tozu kohezivleştğinde, süt endüstrisinde taşıma ve nakliye sırasında bazı problemler ortaya çıkabilmektedir. Süt tozlarının kohezyon özelliklerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Kuvvet/mesafe grafiğinin altındaki negatif alandan yararlanılarak hesaplanan kohezyon katsayısı verisindeki artış süt tozlarında kohezifliğin arttığını göstermektedir. Çizelge 4.3’de yer alan verilere bakılarak en yüksek kohezyon katsayısının TG Kontrol örneğine ait olduğu görülürken en düşük kohezyon katsayısının TG35 örneğine ait olduğu saptanmıştır. Kohezyon katsayısının örnek ağırlığına bölünmesiyle hesaplanan kohezyon indeksi verisi, örnek ağırlığının etkisinin ortadan kaldırılması sebebiyle toz ürünlerin kalite kontrollerinde önemli bir parametre olmuştur. Çizelge 4.3’de yer alan kohezyon indeksi verileri dikkate alındığında en düşük değer TG35 için 8.66 olarak tespit edilmiş olup serbest akış özelliği göstermektedir. TG Kontrol, TG20 ve TG30 için kohezyon indeksleri sırasıyla 11.40, 11.06, 11.47 olarak hesaplanmıştır ve bu toz örnekleri kolay akış davranışı sergilemiştir.

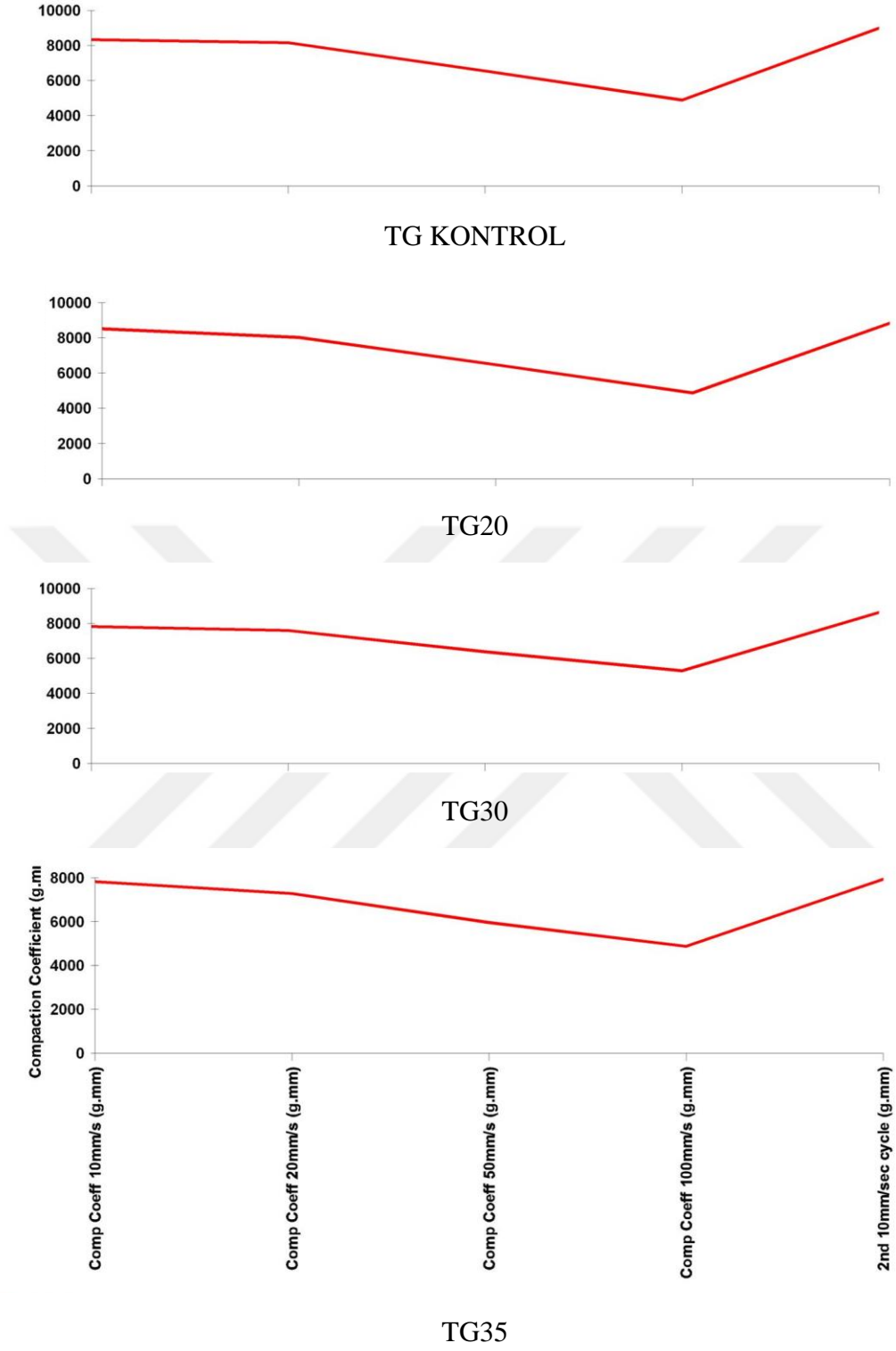
Çizelge 4.3. Süt tozlarının kohezyon özellikleri

Örnek	Kohezyon katsayısı (g.mm)	Kohezyon indeksi	Kohezyon indeksi 10mm/s	Kohezyon indeksi 20mm/s	Kohezyon indeksi 50mm/s	Kohezyon indeksi 100mm/s
TG kontrol	-868.901	11.40	13.04	12.755	12.020	12.134
TG 20	-810.773	11.06	11.02	11.067	11.395	11.413
TG 30	-851.928	11.47	10.61	11.226	12.194	12.586
TG 35	-633.688	8.66	8.33	8.238	8.237	8.359





Şekil 4.3. Süt tozlarının kohezyon analizi için kuvvet konum grafikleri



Şekil 4.4. Süt tozlarının dört hızda kohezyon değişimleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Kazeinler TG enzimi için önemli substratlar olup, kolay bir şekilde interaksiyon oluşturabilmektedirler. Diğer önemli süt proteinleri olan peyniraltı suyu proteinleri için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Peyniraltı suyu proteinleri TG enzimleri için zayıf substratlar olup, ancak çeşitli muamelelerle aktif hale getirilebilmektedirler. Dolayısıyla süte TG ilavesi kazeinler arasında çapraz bağ oluştururken, peyniraltı suyu proteinlerini etkilememektedir. Bu çalışmada farklı oranlarda transglutaminaz enzimi içeren süt tozu numuneleri püskürterek kurutma yöntemiyle üretilecek ve üretilen tozlarda teknolojik özelliklerdeki değişimler belirlenmiştir.

Farklı oranlarda transglutaminaz enzimi ilave edilerek üretilen süt tozlarının nem (m/m) değerleri önemli farklılıklar göstermiştir. Kontrol örneğinin nem miktarı 2.35 olarak kaydedilirken sırasıyla TG35, TG30 ve TG20 için sonuçlar 2.23, 1.79 ve 1.53 olarak belirlenmiştir.

En düşük pH değerinin 6.64 ile TG30 örneğine ait olduğunu ve diğer örneklerin pH değerleri sırasıyla kontrol örneği için 6.67, TG20 örneği için 6.65 ve son olarak TG35 için 6.68 olarak tespit edilmiştir. Enzim miktarındaki azalma asitlikte artışa sebep olmuştur.

TG Kontrol örneği için protein değeri 34.80 olarak tespit edilirken sırasıyla enzim ilavesinin artmasıyla örneklerin protein değerlerinde küçük bir miktar artış tespit edilmiştir. TG Kontrol örneğinin kül miktarı 7.32 tespit edilirken enzim miktarındaki artışa bağlı olarak sırasıyla örnekleri kül miktarı 8.62, 8.89 ve 8.85 olarak kaydedilmiştir.

Süt tozlarının yabancı yanık madde diskleri kontrol örneği için A olarak belirlenirken TG20 ve TG 30 için B, TG35 için ise C olarak tespit edilmiştir.

Span değeri kontrol örneğinde 1.441 olarak tespit edilirken TG20 için 1.053, TG 30 için 1.218 ve TG35 için 1.149 olarak belirlenmiştir. TG20 örneğinin span değerinin diğer örneklerden düşük olması sebebiyle daha iyi akış gösterdiği tespit edilmiştir. TG Kontrol örneği için üniformite değeri 0.471 iken enzim miktarı arttıkça bu değerde azalma görülmüştür. Kontrol örneği, enzim ilaveli tozlarla kıyaslandığında medyan değerden daha fazla uzaklaşmıştır.

TG Kontrol örneğinin spesifik yüzey alanı 0.159 olarak görülmektedir. Farklı oranlarda enzim ilave edilerek üretilen süt tozu örneklerinin spesifik yüzey alanlarının kontrol örneğiyle kıyaslandığında daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Enzim ilaveli sütlerden üretilen süt tozlarının kontrol örneğine kıyasla daha düşük yüzey ağırlıklı ortalama değerine sahip oldukları görülmektedir.

D[4.3] değerı TG Kontrol rneği için 50.432 olarak tespit edilirken diğer örnekler için sırasıyla 40.224, 44.301, 46.342 olarak tespit edilmiş olup enzim ilavesine bağlı olarak toz partiküllerinin hacim ağırlıklı ortalamasının düştüğü grlmştir. En düşük d(0.1) değerinin TG30 ve en yüksek d(0.1) değerinin TG35 için tespit edildiği görülmektedir. TG Kontrol rneği 43.333 ile en yüksek d(0.5) değerine sahip olurken en düşük değere TG30 sahiptir.

L değerleri kıyaslandığında büyük bir değişimin yaşanmadığı görülmektedir. Kıısaca enzim ilavesi tozların parlaklığında büyük etki meydana getirmemiştir. En yüksek a-değerine TG Kontrol rneği sahipken en düşük değer TG35 rneği için tespit edilmiştir. En yüksek b-değerine TG30 rneği sahipken en düşük değer TG35 rneği için tespit edilmiştir.

Hız arttıka sıkıştırma katsayısındaki artış, akmaya karşı direncin arttığını göstermektedir. Tüm rnekler için en yüksek sıkıştırma katsayısı 10 mm/s hızda kaydedilmiştir. 10 mm/s ve 20 mm/s hızda en yüksek sıkıştırma katsayısı TG Kontrol örneğine aitken en düşük sıkıştırma katsayısı TG35 örneğine aittir.

Akış stabilitesi verilerine bakıldığında TG35 için değerın 1 olduğu görülmüş olup örneğin akış direncinin test sırasında değişime uğramadığı tespit edilmiştir. En yüksek kohezyon katsayısının TG Kontrol örneğine ait olduğu görülürken en düşük kohezyon katsayısının TG35 örneğine ait olduğu saptanmıştır. TG Kontrol, TG20 ve TG30 için kohezyon indeksleri sırasıyla 11.40, 11.06, 11.47 olarak hesaplanmıştır ve bu toz örnekleri kolay akış davranışı sergilemiştir.

5.2. neriler

Süt tozu üretiminin temel amacı, sıvı sütün kalitesinde önemli bir değişiklik olmadan uzun süre depolanabilmesini sağlamaktır. Sütü uzunca bir süre dayanıklı hale getirmede uygulanan yöntemler başlıca; sterilizasyon, koyulaştırma ve kurutmadır. Bunun dışında tuz, şeker vb. katkı maddeleri ile de bir süre için süt ve ürünlerini sıvı veya konsantre halde muhafaza etmek mümkündür. Süt pek çok nedenlerle kısa sürede bozulan bir gıdadır, dolayısıyla onun daha sonra tktilebilmesi için korunması gerekir. Günümüzde ise en önemli koruma yöntemlerinden biri kurutmadır. Bunun için kullanılan modern kurutma teknikleri vasıtasıyla kurutmanın avantajı, sütün besin değerinde herhangi bir kayıp olmaksızın toz haline dönüştürülmesidir. Transglutaminazın farklı aşamalarda ilave edilerek farklı bileşimdeki toz ürünlerde denenmesi önerilmektedir.

6.KAYNAKLAR

- Aaltonen, T., Huumonen, I., & Myllärinen, P.(2014). Controlled transglutaminase treatment in Edam cheese-making. *International Dairy Journal*, 38(2), 179–182.
- Aboumahmoud,R. and Savello,P. 1990. Crosslinking of whey protein by transglutaminase. *Journal of Dairy Research*, 73: 256-263.
- Aloğlu, H. Ş., & Öner, Z.(2013). The effect of treating goat's milk with transglutaminase on chemical, structural, and sensory properties of labneh.*Small Ruminant Research*, 109(1), 31-37.
- Ando, H., Adachi, M, Umeda, K., Matsuura, A., Nonaka, M., Uchio, R., Tanaka, H., Motoki, M., 1989. Purification and Characteristics of a Novel Transglutaminase Derived From Microorganisms. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53, 2613–2617.
- Ando, H., Adachi, M., Umeda, K., Matsuura, A., Nonaka, M., Uchio, R., Tanaka, H., Motoki, M., 1989, Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms, *Agricultural and Biological Chemistry*, 53, 2613-617.
- Bercovici, D., Gaertner, H.F., and Pugsilver, A.J., 1995. Transglutaminase-catalyzed incorporation of lysine oligomers into casein. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 35: 301-304.
- Bönisch, M. P., Heidebach, T. C. and Kulozik, U. 2008. Influence of transglutaminase protein cross-linking on the rennet coagulation of casein. *Food Hydrocolloids*, 22: 288-297.
- Cozzolino, A., Di Piero, P., Mariniello, L., Sorrentino, A., Masi, P. and Porta, R. 2003. Incorporation of whey proteins into cheese curd by using transglutaminase. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 38: 289-295.
- Dickinson, E., 1997. Enzymatic crosslinking as a tool for food colloid rheology control and interfacial stabilization. *Trends in Food Science and Technology*, 8: 334-339.
- Faergemand, M., Sorensen, M., Jorgensen, U., Budolfsen, G., Qvist, K.B., 1999a. Transglutaminase: Effect on Instrumental and Sensory Texture of Set Style Yoghurt. *Milchwissenschaft*, 54(10), 563-566.
- Faergemand, M., Murray, B.S., Dickinson, E., Qvist, K.B., 1999b. Cross-Linking of Adsorbed Casein Films with Transglutaminase. *International Dairy Journal*, 9, 343–346.
- Faergemand, M., Sorensen, M.V., Jorgensen, U., Budolfsen, G and Qvist, K.B. 1999. Transglutaminase: effect on instrumental and sensory texture of set style yoghurt. *Milchwissenschaft*, 54 (10): 563-566.
- FDA-Food and Drug Administration. Numerical listing of GRAS notices.

- Filkova, I., Huang, L.X. and Mujumdar, A.S., 2006, Industrial Spray Drying Systems, 215-256, Handbook of Industrial Drying, A.S.Mujumdar (Ed.), 3rd Edition, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Folk, J.E. and Finlayson, J.S., 1977, The ϵ -(ϵ -glutamyl)lysine crosslink and the catalytic role of transglutaminase, *Adv. Protein Chem.*, 31, 1-133
- Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M. and McSweeney, P.L.H., 2000, Fundamentals of Cheese Science, Chapter 19: 452-483, Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland.
- Guinee, T.P. and Kilcawley, K.N., 2004, Cheese as an Ingredient, Volume 2: 395-428, Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, P.F.Fox, P.L.H.McSweeney, T.M.Cogan and T.P.Guinee (Eds.), 3rd Edition, Elsevier Academic Press, London, UK.
- Guinee, T.P., 2011, Cheese: Cheese as a Food Ingredient, Volume 1: 822-832, Encyclopedia of Dairy Sciences, J.W.Fuquay, P.F.Fox and P.L.H.McSweeney (Eds.), 2nd Edition, Elsevier Academic Press, London, UK.
- Heidebach, T., Forst, P. and Kulozik, U. 2009. Transglutaminase-induced caseinate gelation for the microencapsulation of probiotic cells. *International Dairy Journal*, 19(2): 77-84.
- Hornyak, T.J., Bishop, P.D. and Shafer, J.A., 1989, ϵ -Thrombincatalyzed activation of human platelet factor XIIIa : Relationship between proteolysis and factor XIIIa activity, *Biochemistry*, 28, 7329-7332.
- Imm, J.Y. and Lee, C.M. 2000. Gelation ve water binding properties of transglutaminase-treated skim milk powder. *Food Chemistry ve Toxicology*, 65, 2, 200-205.
- Köksel H., Sivri D., Ng P.K.W., Steffe J.F., 2001, Effects of transglutaminase enzyme on fundamental rheological properties of sound and bug- damaged wheat flour doughs, *Cereal Chemistry*, 78, 26-30.
- Kuraishi, C., Yamazaki, K. and Susa, Y., 2001. Transglutaminase:Itsutilization in the Food Industry, *Food Reviews International*, 17(2);221-246.
- Lorenzen, P.C., Neve, H. and Mautner Schlimme, E. 2002. Effect of enzymatic cross- linking of milk proteins on functional properties of set-style yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 55,3 152-157.
- Lorenzen, P.C., Schlimme, E., 1998. Properties and Potential Fields of Application of Transglutaminase Preparations in Dairying. *International Dairy Federation*, 332, 47-53.
- Lorenzen, P.Chr., 2000. Techno-functional properties of transglutaminase-treated milk proteins. *Milchwissenschaft*, 55(12): 667-670.
- Lorenzen, P.Chr., and Schlimme, E., 1998. Protepties and potential fields of application of transglutaminase preparations in dairying. *Bulletin of the IDF*, 332: 47-53.

- Motoki, M. and Seguro, K., 1998, Transglutaminase and its use for food processing, *Trends in Food Science & Technology*, 9, 204–210.
- Neve, H., Lorenzen, P. C., Mautner, A., Schlimme, E. and Heller, K. J., 2001. Effect of Transglutaminase Treatment on the Production of Set Skim Milk Yoghurt: Microbial Aspects. *Kielermilchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 53 (4);347-361.
- O’Sullivan, M. M., Kelly, A. L. and Fox, P. F. 2002. Influence of transglutaminase on some physico-chemical properties of milk. *Journal of Dairy Research*, 69: 433-442.
- O’Sullivan, M.M., Kelly, A.L., Fox, P.F., 2002 a, Effect of transglutaminase on the heat stability of milk: a possible mechanism, *Journal of Dairy Science*, 85, 1-7.
- O’Sullivan, M.M., Lorenzen, P. C., O’Connell, J.E., Kelly, A.L., Schlimme, E, Fox, P.F., 2001, Short Communication: Influence of transglutaminase on the heat stability of milk, *Journal of Dairy Science*, 84, 1331-1334.
- O’Sullivan, M.M., Lorenzen, P.Chr., O’Connell, J.E., Kelly, A.L., Schlimme, E. and Fox, P.F., 2001. Influence of transglutaminase on the heat stability of milk. *Journal of Dairy Science*, 84: 1331-1334.
- Okos, M.R., Campanella, O., Narsimhan, G., Singh, R.K. and Weitnauer, A.C., 2007, Food Dehydration, 603-745, *Handbook of Food Engineering*, D.R.Heldman and D.B.Lund (Eds.), 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Öner, Z. 2004. Mikrobiyal transglutaminazın özellikleri ve gıda sanayinde kullanılmaları. *Gıda* [ISSN: 1300-3070], Cilt: 29, No: 4, Sf: 269-272, 2004.40,38.
- Özer, B., Kırmacı H.A., Öztekin, S., Hayaloğlu, A., Atamer, M., 2007. Incorporation of Microbial Transglutaminase Into Non-Fat Yoghurt Production. *International Dairy Journal*, 17, 199–207.
- Özrenk, E., 2006. The Use of Transglutaminase in Dairy Products. *International Journal of Dairy Technology*, 59, 1–7.
- Pisecky, K., 2005, Spray drying in the cheese industry, *International Dairy Journal*, 15: 531-536.
- Rossa, N.R., Burin, V.M., Bordignon-Luiz, M.T., 2012. Effect of Microbial Transglutaminase on Functional and Rheological Properties of Ice Cream with Different Fat Contents. *LWT-Food Science and Technology*, 48, 224-230
- Schorch, C., Carrie, H. and Norton, I.T. 2000. Cross-linking casein micelles by a microbial transglutaminase: influence of cross-links in acid-induced gelation. *International Dairy Journal*, 10: 529-539.

- Schuck, P., 2011a, Milk Powder: Types and Manufacture, Volume 2: 108-116, Encyclopedia of Dairy Sciences, J.W.Fuquay, P.F.Fox and P.L.H.McSweeney (Eds.), 2nd Edition, Elsevier Academic Press, London, UK.
- Seguro, K., Kumazawa, Y., Ohtsuka, T., Toiguchi, S., Motoki, M., 1995, Microbial transglutaminase and ϵ -(ϵ -Glutamyl)Lysine crosslink effects on elastic properties of Kamaboko gel, *J. Food Sci.*, 60, 305-311.
- Sharmar., Lorenzen, P.C., and Qvist, K.B., 2001. Influence of Transglutaminase treatment of skim milk on the formation of s-(γ - glutamyl)lysine and the susceptibility of individual proteins towards crosslinking. *International Dairy Journal*, 11: 785-793.
- Şanlı, T., Sezgin, E., Deveci, O., Şenel, E. and Benli, M., 2011a. Effect of Using Transglutaminase on Physical, Chemical and Sensory Properties of Set-Type Yoghurt. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1477-1481.,
- Şanlı, T., Sezgin, E., Şenel, E., & Benli, M.(2011). Geleneksel Yöntemle Ayran Üretiminde Transglutaminaz Kullanımının Ayranın Özellikleri Üzerine Etkileri. *Gıda Dergisi*, 36(4).
- Thomas, M.E.C., Scher, J., Desobry-Banon, S. and Desobry, S., 2004, Milk powders ageing: Effect on physical and functional properties, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(5): 297-322.
- Traorè, F. and Meunier, J.C. 1992. Crosslinking activity of placental F XIIIa on whey proteins and casein *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 40: 399-402.
- Trespacios, P., & Pla, R. (2007). Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. *Food Chemistry*, 100(1), 264-272.
- Türk Gıda Kodeksi - Koyulaştırılmış Süt ve Süttozu Tebliği, 12.04.2005 tarih ve 25784 Sayılı Resmi Gazete, Tebliğ Nu.: 2005/18
- Üçüncü, M., 2000. Gıdaların Ambalajlanması, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir 689 s.
- Vacha, F., Novik, I., Spicka, J., & Podola, M.(2006). Determination of the effect of microbial transglutaminase on technological properties of common carp (*Cyprinus carpio* L.) meat. *Czech Journal of Animal Science*, 51(12), 535.
- Wilson, S.A., 1992, Modified milk proteins via enzymatic crosslinking, Hamilton, Sep. 11, in Proc. of Meat Industry Research Institutes of New Zealand, Mirinz, 247-277.
- Yıldırım, M., Yıldırım, Z., ve Avşar, Y.K., 2000. Süt Endüstrisinde Transglutaminase Enziminden Yararlanma Olanakları, VI. Sütçülük Sempozyumu, 10-11 Mayıs, Tekirdag, 472-479

- Yokoyama K., Ohtsuka T., Kuraishi C., Ono K., Kita Y., Arakawa T., Ejima D., 2003, Gelation of food protein induced by recombinant microbial Transglutaminase, *Journal of Food Science*, 68,48-51.
- Yokoyama, K., Nio, N. and Kikuchi, Y. (2004). Properties and applications of microbial transglutaminase. *Applied Microbiology and Biotechnology* 64, 447–454.
- Yule, H., *The Book of Ser Marco Polo, the Venetian*, Scribner, New York, 1903.
- Yüksel, Z., & Erdem, Y. K. (2009). Modification Of Bovine Milk ProteinSystem By Transglutaminase. *GIDA/TheJournal of FOOD*,34(6).
- Yüksel, Z., Erdem, Y.K., 2007. Gıda Endüstrisinde Transglutaminaz Uygulamaları:1.Enzimin Genel Özellikleri. *Gıda*, 32 (6), 287-292.
- Yüksel, Z., Erdem, Y.K., 2010. The Influence of Transglutaminase Treatment onFunctional Properties of Set Yoghurt. *International Journal of DairyTechnology*, 63(1), 86-97.
- Zhu, Y., Rinzema, A., Tramper, J., Bol, J., 1995, Microbial transglutaminase: A review of its production and application in food processing, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 44, 277–282.
- <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/fcn/fcnNavigation.cfm?filter=transglutaminase&sortColumn=&rpt=grasListing> Accessed 25.03.10.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Betül ER
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA – 06.04.1991
Telefon : 05530121952
e-mail : betul.er@tarim.gov.tr

EĞİTİM

	Bitirme Yılı
Lise : Selçuklu Dolapoğlu Anadolu Lisesi , Konya	2009
Üniversite : Hacettepe Üniversitesi, Ankara	2014
Yüksek Lisans : Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya	2018

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR