

Transglutaminaz Enzimi ve Gıda Endüstrisi Uygulamaları

Nuran ERDEM^{1*} ve Süleyman GÖKMEN²

¹Gıda İşleme Bölümü / Güzelyurt Meslek Yüksekokulu, Aksaray Üniversitesi, Türkiye

²Gıda İşleme Bölümü / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Türkiye

*(nuran.erdem42@gmail.com) Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Transglutaminaz enzimi, proteinlerin fonksiyonel özelliklerini geliştirmek amacı ile kullanılan ve proteinlerde çapraz bağlanmaya neden olan bir transferazdır. Enzimin optimum pH değeri 5.0–8.0 arasında, optimum çalışma sıcaklığı ise 40°C-70°C arasında bulunmaktadır. Transglutaminaz enziminin et, süt, su ürünleri, fırıncılık ürünleri vb. olmak üzere geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Transglutaminaz enzimi, bu gıdaların termal stabilite, jel oluşturma kabiliyeti, su tutma kapasitesi, emülsifikasyon özelliği ve besin değerlerini geliştirebilmektedir. Ayrıca ekonomik değeri düşük olan gıdaların özelliklerinin iyileştirilmesi, ekonomik değerlerinin artırılması ve gıda katkı maddeleri kullanımının azaltılması vb. nedenlerle gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Elde edilmelerinde kullanılan başlıca kaynaklar; hayvanlar, bitkiler ve mikroorganizmalardır. Ekonomik ve kolay elde edilebilmesi nedeniyle, ticari olarak Transglutaminaz üretim kabiliyeti yüksek *Streptovorticillium mobaraense* vb. mikroorganizmalardan elde edilen formu gıda ürünlerinde daha fazla kullanılmaktadır. Et lisin ve glutamin bakımından zengin olup, Transglutaminaz enzimi için iyi bir substrat özelliği taşımaktadır. Et proteinlerinin fonksiyonel özellikleri ve et ürünlerinin tekstürel karakteristikleri üzerinde, Transglutaminaz enziminin önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Transglutaminaz, Çapraz Bağlanma, Enzim, Fonksiyonel Özellik, Protein Modifikasyonu

I. GİRİŞ

Proteinlerin modifikasyonu ve fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılan enzimlerin büyük bir bölümü doğada yaygın bulunan proteazlardır. Bu enzimler haricinde yalnızca birkaç enzimin, protein modifikasyonunda uygun bir etkinliği bulunmaktadır. Çapraz bağlanma gerçekleştirebilen enzimler ise tekstürel modifikasyonu sağlamak üzere daha çok tercih edilmektedir (Kuraishi ve ark., 2001; DeJong ve Koppelman, 2002; Gerrard, 2002).

Enzim çalışmalarındaki gelişmeler ile birlikte proteinlerin fonksiyonel özellikleri ve besin değerlerinin geliştirilmesi amacı ile enzimatik modifikasyonlardan yararlanılması, son yıllarda gıda sanayinin önemli konuları arasında yerini almıştır. Çeşitli özel enzimlerle proteinlerin fonksiyonel özelliklerinde değişiklik yapılabilir. Bu enzimlerden Transglutaminaz

enzimi, peptid zincirleri arasında molekül içi ve moleküller arası çapraz bağ oluşumunu katalize etmekte ve peptidler veya proteinler arasında çapraz bağ oluşturabilmektedir (Kurt ve Zorba, 2004b; Motoki vd., 1987; Motoki, Seguro, 1998; Serdaroglu ve Turp, 2003).

Transglutaminaz enzimi, sistematik adı ile [R-glutaminyl- peptide: amine γ - glutamyltransferase (EC 2.3.2.13)], proteinlere ait fonksiyonel özellikleri geliştirmek amacı ile kullanılabilen ve proteinlerde çapraz bağlanmayı sağlayan bir transferazdır (Öner, 2004). Transglutaminaz, protein ve protein olmayan aminlerin amidasyonundan sorumlu olan geniş bir enzim ailesidir (Demény vd., 2015). Transglutaminaz enzimi tarafından, bir peptid bağında bulunan glutamil kalıntısının tepkimede açıl verici olarak davranan γ -karboksiamid grubuyla, açıl alıcı bir primer amin arasındaki açıl transfer reaksiyonu katalize edilmektedir (Kieliszek ve Błażej, 2017; Santhi

vd., 2017).Enzimin optimum pH değeri 5.0–8.0 arasında, optimum çalışma sıcaklığı ise 40°C-70°C arasında bulunmaktadır (Gaspar ve Góes-Favoni, 2015). Ayrıca mikrobiyal Transglutaminazın optimum aktivite sıcaklığının 50°C olduğu, hatta gıdaların dondurulma sıcaklıklarında bileaktivite gösterebildiği rapor edilmiştir (Motoki ve Seguro, 1998).

18. yüzyılın sonuna kadar, Transglutaminaz enziminin tek ticari üretim tekniği, hayvan dokularından (özellikle Gine domuz karaciğeri) ekstraksiyon yöntemi ile elde edilmesidir. Ancak, kaynakların sınırlı olması, kompleks ayırma ve saflaştırma yöntemleri, enzim maliyetlerinin aşırı yükselmesine neden olmuştur (Zhu ve Tramper, 2018). Transglutaminaz soya fasulyesi, mısır, tütün, elma vb. bitki dokularında da bulunmaktadır (Giosafatto vd., 2018). Bitkisel Transglutaminaz'ın spesifik karakteristiği olan ışığa karşı duyarlılığı nedeniyle fotosentez ve ışıktan korunma işlemleri, bitkisel enzimin ekspresyonunu etkileyebilmektedir. Bu durumun, bitkilerden saf Transglutaminaz elde edilmesi için gerçekleştirilen üretim prosesinde çeşitli zorluklara yol açması nedeniyle bu enzimler ticarileştirilememiş ve uygun olan ticari kaynağın bulunabilmesi amacıyla yoğun araştırmalara ihtiyaç duyulmuştur (Akbari vd., 2021; Aloisi vd., 2016).

Transglutaminazlar, tuz ve fosfat seviyelerinin azaltılması için kullanılabilir. Ayrıca, hidrokolloidler ve hayvansal proteinler ile kombine kullanılarak, et ürünlerinin su tutma kapasitesinin ve tekstürünün geliştirebilmesinde kullanılabilir. Dolayısıyla az yağlı et ürünlerinin üretiminde ortaya çıkan tekstür sorunları, Transglutaminaz enzimi kullanımı ile önemli ölçüde aşılabilmektedir (Pietrasik ve Jarmoluk, 2003).

Transglutaminazların et, tahıl, süt, su ürünleri vb. olmak üzere geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bu gıdaların termal stabiliteyi, jel oluşturma kabiliyetlerini, su tutma kapasitelerini, emülsifikasyon özelliklerini ve besin değerlerini geliştirebilmektedir. Ekonomik değeri düşük olan gıdaların özelliklerini iyileştirerek, ekonomik değerlerini artırabilmektedir. Ayrıca yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesinde önemli bir potansiyele sahiptir (Kurt ve Zorba, 2004b).

Transglutaminaz enzimi; amin birleşmesi, proteinler arasında kovalent bağlar oluşturan, proteinlerin çapraz bağlanmasını sağlayan ve

deamidasyon tepkimeleriyle proteinlerin polimerizasyonunu katalize eden tek uygun enzimdir. Tüketici tercihlerinde büyük öneme sahip pürüzsüz tekstür ve viskoelastik yapı; gıda üretimi esnasında oluşan çapraz bağlar ve kovalent bağların dayanıklılığı ve aralarındaki dengeye bağlı bulunmaktadır. Transglutaminaz, daha sağlam jel yapısı oluşturulması, mekanik dayanımı yüksek gıdalar elde edilmesi, yağ emülsiyonu miktarının azaltılarak istenilen yapı ve pürüzsüz tekstürün elde edilmesi, besin içeriğinin aminoasitler ile zenginleştirilmesi, gıda katkı maddeleri kullanımının azaltılması vb. nedenlerle araştırma ve gıda işleme teknolojisinde kullanılabilir (Yüksel ve Erdem, 2008).

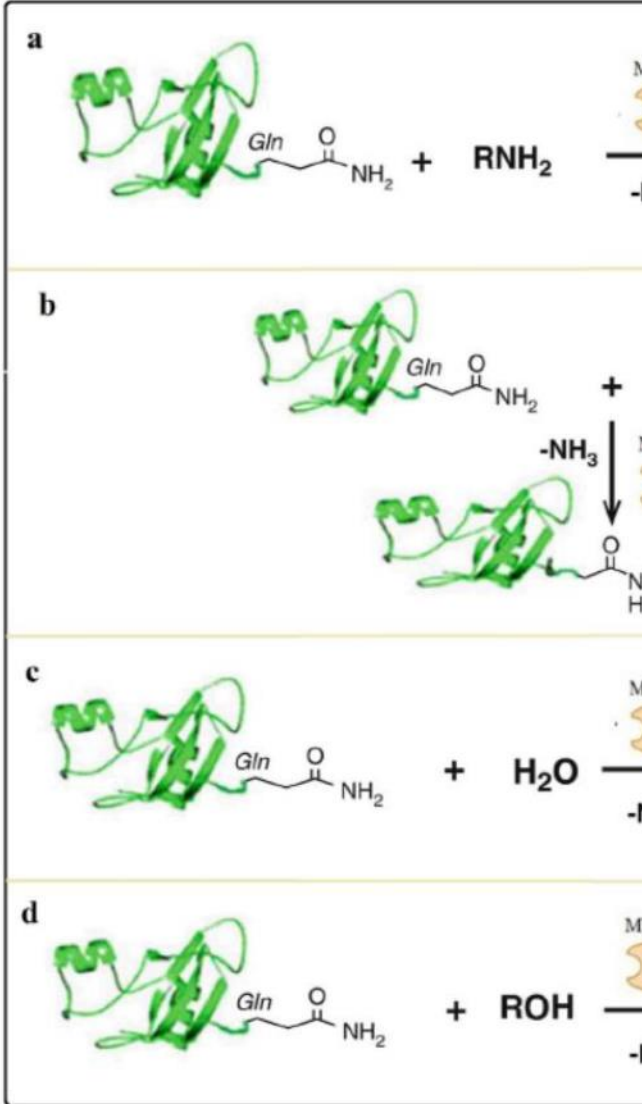
Transglutaminaz tarafından katalizlenen bu tepkimeler, çözünürlük, su tutma, emülsifikasyon ve köpük oluşturma kapasiteleri, viskozite, elastikite ve jel oluşturma gibi proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin modifiye edilmeleri amacıyla kullanılabilir (Martins vd., 2014; Wang vd., 2018).

Transglutaminaz Enzimi ve Özellikleri

Transglutaminaz gıda teknolojisinde ticari kullanıma uygun, proteinler arası kovalent çapraz bağlanmayı katalizleyen tek enzimdir (Sharma ve ark., 2001). Enzimin molekül ağırlığı 38.000 dalton olup, birçok enzime kıyasla daha küçük boyutludur. Geniş bir pH aralığında (4-9) aktivite göstermesi nedeniyle, birçok gıdada kullanılabilir (Ando et al., 1989). İzoelektrik noktada 8.9 civarında bir pH değerine sahiptir. Transglutaminaz enzimi 50°C'de optimum aktivite gösterirken, 70°C sıcaklıkta birkaç dakika içerisinde aktivitesini kaybetmektedir (Jiang ve Yin, 2001; Öner, 2004).

Substrat özgüllüğü bakımından baklagil ve yumurta proteinleri, gluten, aktin, miyosin, fibrin, kazein, α -laktalbumin, β -laktoglobulin vb. birçok gıda proteini mikrobiyal Transglutaminaz ile başarılı bir şekilde çapraz bağlanabilir (Kurth ve Rogers, 1984). Denatüre edilmemiş serum proteinleri doğal olarak, Transglutaminaz için iyi bir substrat özelliği göstermezken, diğer kazein misellerine kıyasla sodyum kazeinat iyi bir substrat özelliği sergilemektedir (Traorè ve Meunier, 1992). Proteinlerde bulunan lizin kalıntılarının ϵ -amino grupları açıl alıcıları şeklinde hareket ettiklerinde, transamidasyon tepkimesi ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, bu iki peptid zinciri birbirine ϵ - (γ

glutamil) lisin (Gln-Lys) bağı ile çapraz bağlanır (Giosafatto vd., 2018). Transglutaminaz enzimi ile katalize edilen tepkimeler Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Transglutaminaz enzimi ile katalize edilen tepkimeler (Akbari vd., 2021):

- (a) Açıl transfer tepkimesi
- (b) Proteinlerin Gln ve Lys kalıntıları arasında çapraz bağlanma tepkimesi
- (c) Su ile deamidasyon
- (d) Alkole deamidasyon

Transglutaminaz Enzim Kaynakları ve Eldesi

Transglutaminazlar birçok hayvan dokusu ve vücut sıvısı, bitki ve mikroorganizmada bulunmakta olup, canlılarda çeşitli biyolojik aktivitelerin gerçekleşmesinde önemli rolleri bulunmaktadır (Chung vd., 1974). Elde edilmelerinde kullanılan başlıca kaynaklar; hayvanlar, bitkiler ve mikroorganizmalardır (Kieliszek ve Misiewicz, 2014; Singh ve Kumar,

2019). Transglutaminazlarda edilme durumlarına göre, hayvan doku ve organlarında yer alan yapısal ve mikrobiyal Transglutaminaz şeklinde ikiye ayrılmaktadır (Serdaroğlu ve Turp, 2003).

Transglutaminaz üretimi amacıyla 3 yöntem kullanılmaktadır (Uran vd., 2013). Transglutaminaz enzimi, hayvan doku ve vücut sıvılarından ekstraksiyonla ve saflaştırılarak elde edilebilmektedir. Ayrıca enzim eldesinde sığır veya domuz kanı da kullanılabilir. Ancak enzimin aktive edilme zorunluluğu bulunmaktadır. Ayrıca meydana gelen kırmızı rengin gıdalarda olumsuz bir etki gösterebilmesi sonucu, ticari üretim amacıyla bu yaklaşımın kullanımı uygun görülmemiştir. Enzim eldesinde kullanılan diğer bir yöntem, *Escherichia coli*, *Bacillus*, maya, *Aspergillus* vb. mikroorganizma genetiklerinin değiştirilmesidir. Ancak bu yöntemde yüksek maliyete sahip olduğu ve gıda mevzuatlarına uygun olmadığı için ticari üretim amacıyla kullanılamamaktadır. Ticari üretim amacıyla kullanılan asıl yöntem mikroorganizmalardan elde edilmesidir. Araştırmalarda; *Streptoverticillium mobaraense* adlı bakterinin Transglutaminaz üretim kabiliyetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Mikroorganizmalardan elde edilen enzim, mikrobiyal Transglutaminaz olarak adlandırılarak, çeşitli gıda ürünleri üretiminde kullanılmak üzere ticari olarak üretilmektedir (Kurt ve Zorba, 2004a; Uran vd., 2013). Ekonomik olması ve kolay üretilmesi nedeniyle, ticari üretiminde mikroorganizmaların yer aldığı formu gıda ürünlerinde daha fazla kullanılmaktadır (Farnsworth vd., 2006).

Mikroorganizmalardan elde edilen mikrobiyal Transglutaminaz ilk olarak, Ando vd. (1989)'nin yaptığı çalışmada *Streptoverticillium mobaraense* kültüründen izole edilerek elde edilmiştir. Mikrobiyal Transglutaminaz enziminin, doku ve bitki Transglutaminaz enzimlerinden ayıran en önemli özelliği, mikrobiyal Transglutaminaz'ın Ca²⁺'den bağımsız aktivite gösterebilmesidir. Miyosin, soya fasulyesi globülinleri, süt kazeini vb. birçok protein Ca²⁺ mevcudiyetinde çökerek, Transglutaminaz'a karşı duyarlılıkları azalabilmektedir. Proteinlerin modifiye edilebilmesi bakımından mikrobiyal Transglutaminaz enzimine ait bu özellik, büyük bir avantaj sağlanmaktadır (Aloisi vd., 2016; Cui, vd., 2007; Kieliszek ve Misiewicz, 2014).

Gıda Sektöründe Transglutaminaz Enzimi Kullanımı

Son yıllarda sağlık sektöründen gıda teknolojisine, kozmetikten deri endüstrisine pek çok alanda Transglutaminaz enziminin protein substratlarını çapraz bağlama özelliğinden faydalanılmaktadır (Mariniello ve Porta, 2005). Substrat özelliklerine göre pek çok gıda proteini, örneğin legume globulinleri, buğday gluteni, yumurta sarısı ve yumurta beyazı proteinleri, aktinler, miyosinler, fibrinler, kazeinler, α -laktoalbumin, β -laktoglobulin ve diğer albüminler mikrobiyal Transglutaminaz enzimiyle çapraz bağlanmaktadır (Nonaka vd., 1992). Transglutaminaz ile gıda teknolojisinde sıcaklıkla jelleşmeyen veya yapısı bozulabilecek protein içeren gıdalar jelleştirilebilmektedir (Motoki ve Seguro, 1998). Enzim tarafından gıdaların tekstürlerinin geliştirilerek, proteinlerdeki lizin çeşitli kimyasal tepkimelerden korunabilmektedir. Lipidler ve/veya lipidlerdeki çözünebilir materyaller enkapsüle edilerek, sıcaklık ve su karşısında stabil filmler oluşmakta ve jelleşme özellikleri iyileştirilmektedir (Kurt ve Zorba, 2004a).

Et Sektöründe Transglutaminaz Enzimi Kullanımı

Çeşitli araştırmalarda süt ve peynir altı suyu proteinleri, soya globülinleri, miyofibriler proteinler, albüminler vb. pek çok gıda proteini mikrobiyal Transglutaminaz'ın substratı olarak kullanılmaktadır. Ancak Transglutaminaz enziminin endüstride başlıca kullanımı yeniden yapılandırılmış et ürünleridir. Transglutaminaz enzimi tarafından çapraz bağlamayla gıda ürünlerine stabilite kazandırıldığı, pişirme kayıplarının azaltıldığı, gıdaların tekstürel özelliklerinin geliştirildiği ve yeniden yapılandırılmış et ürünlerine homojen bir görünüm kazandırıldığı rapor edilmektedir (Gaspar ve Góes-Favoni, 2015).

Yüksek düzeylerde lizin ve glutamin içeren et, Transglutaminaz enzimi için iyi bir substrat özelliği taşımaktadır. Et proteinlerinin fonksiyonel özellikleri ve et ürünlerinin tekstürel özellikleri üzerinde Transglutaminaz enziminin önemli bir etkisi bulunmaktadır (Li vd., 2013). Ayrıca çapraz bağlanmalarla, lizin ve glutamin rezidüleri daha stabil bir yapı kazanmakta ve gıdanın biyolojik değerliliği olumlu yönde etkilenmektedir (Motoki

ve Seguro, 1998; Serdaroğlu ve Turp, 2003; Kurt ve Zorba 2004a; Yüksel ve Erdem, 2007).

Et ve et ürünleri yüksek seviyelerde protein içermektedir. Özellikle et ürünleri tekstürü miyofibriler proteinler tarafından önemli ölçüde etkilemekte olup, miyofibriler proteinlerin büyük bir bölümü myosinler ve aktinler tarafından oluşturulmaktadır. Transglutaminaz enzimi açısından oldukça önemli substratlar olan myosin ve aktin filamentlerinin, Transglutaminaz ilavesi ile polimerleşmesi nedeniyle, jel yapıya sahip et ürünlerindeki jel ağlarının özellikleri geliştirilebilmektedir (Tseng ve Cheng Liu, 2002).

Et teknolojisinde Transglutaminaz enzimi; sosis, salam, pişirilmiş jambon vb. ısı işlem kullanılan et ürünleri prosesinde yaygın bir kullanım alanı bulunmuştur. Ayrıca, meydana gelen modifiye proteinlerin yüksek hidrasyon kabiliyeti nedeniyle Transglutaminaz enzimi, protein içeriği yüksek orta nemli gıdaların üretim proseslerinde de kullanılabilir (Motoki vd., 1984; Serdaroğlu ve Turp, 2003). Et ürünlerinde Na miktarı azaltılarak veya tamamen kaldırılarak, Na yerine yalnızca Transglutaminaz enzimi kullanılması ile et jellerinin yapısı ve bağlanma gücü, olması gereken seviyelere ulaşabilmektedir. Et ürünlerinde tuzun neden olduğu pişirme kayıplarının (%1-2) engellenmesi bakımından da Transglutaminaz enzimi kullanılabilir (Pietrasik ve Li-Chan, 2002).

Mikrobiyal Transglutaminaz; kıyma haline getirilmiş et, balık ve tavuk etleriyle diğer gıda katkılarının ilave edilerek şekil verilen, basınca dirençli kaplar içerisinde paketlenen hamburger, köfte, et, balık topları vb. et ürünleri üretiminde yer almaktadır (Kuraishi vd., 2001). Su ürünleri ve özellikle surimi üretiminde yaygın olarak kullanılan Transglutaminaz enziminin ilavesiyle surimi jelinde elastik bir yapı oluşturulmaktadır (Duangmal ve Taluengphol, 2010; Chanarat ve vd., 2012; Aran, 2012; Herranz vd., 2013; Kaewudom vd., 2013). Mikrobiyal Transglutaminaz'ın muhafaza amacıyla kullanımı ile balık ürünlerinde dokuya dayanıklılık sağlanmaktadır (Aran, 2012; Tokay, 2015).

κ -karragenan, yumurta albümini ve izole edilmiş et kaynaklı olmayan proteinlerin mikrobiyal Transglutaminaz enzimi kullanıldığında ve kullanılmadığında, sığır eti jellerine ait kalite özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre, et kaynaklı olmayan proteinlerin kullanılmasıyla üretilen jel örneklerinde daha düşük sertlik, elastikiyet ve lezzet belirlenmiş ve bağlama özelliklerinin daha zayıf olduğu tespit edilmiştir (Pietrasik ve Li-Chan, 2002).

Başka bir çalışmada, mikrobiyal Transglutaminaz enzimi ve yumurta proteinleriyle üretilen tavuk eti jellerine yüksek basınç (700 MPa) uygulanmıştır. Araştırma sonucuna göre, tüketici beğenisi yüksek, az yağlı ve tuzlu, fosfat içermeyen jellerin elde edilebileceği tespit edilmiştir (Trespacios ve Pla, 2007).

Transglutaminaz'ın, oda sıcaklığında balık etinin sol-jel geçişinde görev alarak ve ϵ -(γ -Gln)Lys'in, Transglutaminaz enzimine bağlı, benzersiz bir balık eti tekstürünün oluştuğu rapor edilmiştir (Yüksel ve Erdem, 2007).

Diğer Gıda Ürünleri Sektöründe Transglutaminaz Enzimi Kullanımı

Transglutaminaz enziminin süt proteinleri, soya fasulyesi globulinleri, buğday gluteni vb. pek çok proteini değiştirebileceği belirtilmiştir (Martins vd., 2014). Transglutaminaz enzimi kullanımı ile süt ürünlerinde jel oluşumu, su tutma kapasitesi emülsiyon oluşumu, protein çözünürlüğü vb. fonksiyonel özellikler geliştirildiği ve en iyi sonucun yoğurta görüldüğü belirtilmiştir (Karahana, 2015; Pietrasik ve Li-Chan, 2002). Süt protein jellerinde stabilite, temelde kovalent olmayan zayıf interaksyonlarla elde edilmektedir. Transglutaminaz enzimiyle proteinler arasında oluşturulan kovalent bağlarla, daha kuvvetli kazein agregasyonu ortaya çıkmakta ve Transglutaminaz ilavesi ile kazeinden, ısıya daha dirençli ve sıkı jellerin üretimi sağlanmaktadır. Bununla birlikte, bu şekilde oluşan jellerde uzun süre depolamanın ardından bile herhangi bir serum ayrılması görülmemektedir (Lorenzen, 2000; Shorsch vd., 2000). Labne üretiminde Transglutaminaz miktarı arttıkça, labne örneklerinde sertlik önemli düzeyde artmıştır. Ayrıca Transglutaminaz enzimi ilave edilen labnelere kıyasla daha kuru, pürüzsüz ve beyaz bir yüzey ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Aloğlu ve Öner, 2013). Transglutaminaz ilave edilerek hazırlanan dondurmalarda, daha az stabilizatör kullanıldığı ve arzu edilen fiziksel ve duyu özelliklere sahip az yağlı dondurma üretimi yapılabileceği tespit edilmiştir (Metwally, 2007). Mikrobiyal Transglutaminaz ilave edilerek üretilen

ayran örneklerinde oluşan çapraz bağlar sayesinde, jel yapının daha fazla sıkılaşığı, daha az serum ayrılması ve viskozitede önemli oranda artış olduğu belirlenmiştir (Şanlı vd., 2011).

Yapılan bir çalışmada Transglutaminaz enzimi, bezelye protein izolatu jel oluşturma kapasitesinde ve jel elastikiyetinde artış oluşturduğu tespit edilmiştir (Sun ve Arntfield, 2011). Diğer bir çalışmada ise, kanola proteinlerinin Transglutaminaz ilave edildiğinde jel oluşturma kapasitesi ve jel kalitesinin iyileştiği tespit edilmiştir (Pinterits ve Arntfields, 2008).

Transglutaminaz enzimi farklı proteinler, süt, et, soya içeren ve unlu mamullerde yapının güçlendirilmesinde ve dayanıklılığın artırılmasında kullanılmaktadır (Kocaman, 2016). Transglutaminaz enziminin, düşük kaliteye sahip unlarla hazırlanan çeşitli tahıl ürünlerinde meydana gelen tekstürel bozuklukların giderilmesi ve ekmek hacminin artırılmasında önemli etkileri bulunmaktadır. Transglutaminaz enziminin düşük oranlarda hamur formülasyonlarına ilave edilmesi ile, hamurların çeşitli özelliklerinde modifikasyonlar sağlanmaktadır. Transglutaminaz enzimi çözünebilir proteinler, disülfid kovalent bağlar ile çözünmeyen yüksek molekül ağırlığı yüksek protein polimerlere dönüşüm gerçekleştirilmektedir (Gerrard vd., 1998; Larre vd., 2000; Basman ve Köksel, 2003; Tseng ve Lai, 2002; Kurt ve Zorba, 2004a).

Transglutaminaz enzimi kullanılarak hazırlanmış soya unu filmlerinde gerilme gücü ve esneklikte artış olduğu belirlenmiştir (Mariniello vd., 2003). Transglutaminaz enzimiyle modifiye edilmiş jelatin ve jelatin+kitosan bazlı filmlerin hidrolize olabilen, kullanımından biyolojik olarak parçalanması nedeniyle doğa dostu ambalajlama materyali şeklinde değerlendirilebildiği bildirilmiştir (Sztuka ve Kolodziejaska, 2008). Transglutaminaz enzimi ilave edilerek üretilen jelatin filmlerin, su buharı geçirgenliğinde azalma olduğu tespit edilmiştir (Chambi ve Grosso, 2006).

Kazeinlerin Transglutaminaz enzimi tarafından çapraz bağlanabilme kapasitesinin, probiyotik bakterilerin mikrokapsülasyonunda kullanılma ihtimali araştırılmıştır. Transglutaminaz enzimiyle çapraz bağlanan kazein matriksi içerisinde, enkapsüle edilen bakterilerin insan midesi asitliği karşısında direncinin arttığı tespit edilmiştir (Heidebach vd., 2009).

Transglutaminaz enzimi ilavesi ile, buğday proteinlerinden albumin, globulin ve glutenin proteinlerinin çapraz bağlanması sağlanmaktadır. Süne zararına uğramış buğdaylarda, gluten kalitesinin düzeltilip hamur nitelikleri üzerinde olumlu etkiler oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır (Erem ve Certel, 2006). Transglutaminaz enzimi, özellikle bileşiminde lizin ve glutamin bulunan, protein miktarı yüksek gıdalarda fiziksel değişikliklere neden olabilmektedir (Hayıt, 2014).

II. SONUÇLAR

Transglutaminaz enziminin ucuz ve kolay tedarik edilebilmesi nedeniyle, dünya gıda endüstrisinde kullanımı artmaktadır. Ülkemizde ise enzimin yeterli yaygınlıkta kullanılmadığı ve çalışmaların laboratuvar aşamasında olduğu gözlenmiştir. Transglutaminaz, birçok gıda proteinleri için iyi bir substrat olarak görev almaktadır. Transglutaminaz enzimi gıda endüstrisinin farklı dallarında farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Ürün özelliklerinin geliştirilmesi için yüksek düzeylerde kullanılan ve sağlık sorunlarına neden olan tuz ve fosfat kullanım düzeylerinin azaltılmasında önemli bir alternatiftir. Kovalent bağlar sayesinde proteinlerin besin değerlerini artırmaktadır. Transglutaminaz ile oluşturulan jeller daha stabil, ısıya daha dirençli, sıkı ve düzgün özelliktedir. Transglutaminaz tarafından katalizlenen tepkimelerle çözünürlük, su tutma, emülsifikasyon ve köpük oluşturma kapasiteleri, viskozite, elastikiyet gibi proteinlerin fonksiyonel özellikleri modifiye edilmektedir. Tüm bunların yanı sıra ekonomik değeri düşük olan gıdaların ekonomik değerlerinin artmasına katkı sağlamaktadır. Çalışmaların farklı gıda dallarında da yapılması, endüstriye aktarılması ve yaygınlaştırılması önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. Akbari, M., Razavi, S.H., Kieliszek, M. (2021). Recent Advances In Microbial Transglutaminase Biosynthesis And Its Application In The Food Industry. *Trends In Food Science & Technology*, 110, 458-469. Doi: 10.1016/J.Tifs.2021.02.036.
2. 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.

3. Aloisi, I., Cai, G., Serafini-Fracassini, D. Duca, S.D. (2016). Transglutaminase As Polyamine Mediator In Plant Growth And Differentiation. *Amino Acids*, 48(10), 2467-2478. <https://doi.org/10.1007/S00726-016-2235-Y>.
4. Ando, H., Adachi, M., Umeda, K., Matsuura, A., Nonaka, M., Uchio, R. (1989). Purification And Characteristics Of A Novel Transglutaminase Derived From Microorganisms. *Agricultural & Biological Chemistry*, 53(10), 2613-2617. <https://doi.org/10.1080/00021369.1989.10869735>
5. Aran, N. 2012. Gıda Biyoteknolojisi (2. Baskı). Nobel Yayın, Ankara, 512 S.
6. Basman, A. & Köksel, H. (2003). Transglutaminaz Enziminin Gıda Endüstrisindeki Bazı Uygulamaları. 3. *Gıda Mühendisliği Kongresi*, Sayfa: 209-399, 2-4 Ekim 2003. Ankara.
7. Chambi, H., Grosso, C. (2006). "Edible Films Produced With Gelatin And Casein Crosslinked With Transglutaminase" *Food Research International*, 39, 458-466.
8. Chanarat, S., Benjakul, S., H-Kittikun, A. (2012). Comparative Study On Protein Cross-Linking And Gel Enhancing Effect Of Microbial Transglutaminase On Surimi From Different Fish. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 92 (4): 844-852.
9. Chung, S.I., Lewis, M.S., Folk, J.E., (1974). Relationships Of The Catalytic Properties Of Human Plasma And Platelet Transglutaminases (Activated Blood Coagulation Factor XIII) To Their Subunit Structures. *Journal Of Biological Chemistry*, 249:940-950.
10. Cui, L., Du, G., Zhang, D., Liu, H., Chen, J. (2007). Purification And Characterization Of Transglutaminase From A Newly Isolated *Streptomyces Hygroscopicus*. *Food Chemistry*, 105(2), 612-618. <https://doi.org/10.1016/J.Foodchem.2007.04.020>.
11. De Jong, G. A. H., Koppelman, S. J. (2002). Transglutaminase Catalyzed Reactions: Impact On Food Applications. *Journal Of Food Science*, 67 (8): 2798-2806.
12. Demény, M. A., Korponay-Szabó, I, Fésüs, L. (2015). Structure Of Transglutaminases: Unique Features Serve Diverse Functions. In: K. Hitomi, S. Kojima And L. Fesus (Editors), *Transglutaminases, Multiple Functional Modifiers And Targets For New Drug Discovery*, Springer, Japan, Pp. 1-42
13. Duangmal, K., Taluengphol, A. (2010). Effect Of Protein Additives, Sodium Ascorbate, And Microbial Transglutaminase On The Texture And Colour Of Red Tilapia Surimi Gel. *International Journal Of Food Science And Technology*, 45 (1): 48-55.
14. Erem F., Certel M., Fırın Ürünlerinde Enzim Uygulanmaları. Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24- 26 Mayıs 2006, Bolu, 2006.
15. Farnsworth, J.P., Li, J., Guo, M.R. (2003). Improved Structure And Consistency Of Probiotic Goat's Milk Yogurt. *Australian Journal Of Dairy Technology*, 58(2), 187.
16. Gaspar, A.L.C. And FAVONI, S.P.G. 2015. Action Of Microbial Transglutaminase(Mtgase) In The

- Modification Of Food Proteins: A Review. *Food Chemistry*, 171: 315-322.
17. Gerrard, J.A., Fayle, S.E., Wilson, A.J., Newberry, M.P., Ross, M. & Kavale, S. (1998). Dough Properties And Crumb Strength Of White Pan Bread As Affected By Microbial Transglutaminase. *Journal Of Food Science*. 63 (3): 472-475.
 18. Gerrard, J. A. (2002). Protein-Protein Crosslinking In Food: Methods, Consequences, Applications. Trends In Food Science & Technology, 13 (12): 391-399.
 19. Giosafatto, C.V.L., Al-Asmar, A., Mariniello, L. (2018). Transglutaminase Protein Substrates Of Food Interest. M. Kuddus (Ed.), *Enzymes In Food Technology: Improvement And Innovation İçinde* (Pp. 293-317). Singapore: Springer Nature Singapore Private Limited.
 20. Hayıt, F., Karabuğday, Transglutaminaz Ve Ekşi Mayanın Dondurulmuş Ekmek Kalitesi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
 21. 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.
 22. Herranz, B., Tocar, C. A., Borderias, A. J., Moreno, H. M. (2013). Effect Of High-Pressure And/Or Microbial Transglutaminase On Physicochemical, Rheological And Microstructural Properties Of Flying Fish Surimi. *Innovative Food Science And Emerging Technologies*, 20: 24-33.
 23. Jiang S. T & Yin L (2001). Application Of Transglutaminase In Seafood And Meatprocessings. *Journal Of The Fisheries Society Of Taiwan*, 28: 151-162.
 24. Kaewudom, P., Benjakul, S., Kijroongrojana, K. (2013). Properties Of Surimi Gelatin Fluenced By Fish Gelatin And Microbial Transglutaminase. *Food Bioscience*, 1: 39-47.
 25. Karahan, L. E. (2015). Mikrobiyal Transglutaminaz Enzimi Ve Süt Ürünlerinde Kullanımı. *Yaşam Bilimleri Dergisi*, 5 (2).
 26. Kieliszek, M. Ve Misiewicz, A. (2014). Microbial Transglutaminase And Its Application In The Food Industry. A Review. *Folia Microbiologica*, 59(3), 241-250. <https://doi.org/10.1007/S12223-013-0287-X>.
 27. Kieliszek, M., Blazejak, S. (2017). Microbial Transglutaminase And Applications In Food Industry. R.C. Ray, C.M. Rosell (Eds.), *Microbial Enzyme Technology In Food Applications İçinde*(Pp. 180-194). CRC Press.
 28. Kocaman, E. (2016). Kazeinomakropeptidin Jelleşmesinde Ph Ve Transglutaminaz Enziminin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 29. Kuraishi, C., Katsutoshi, Y., Susa, Y. (2001). Transglutaminase: Its Utulization In The Food Industry. *Food Reviews International*, 17 (2): 221-246.
 30. Kurt, Ş. & Zorba, Ö. (2004a). Transglutaminaz Ve Proteinlerin Modifikasyonunda Kullanımı. *Gıda*, 29 (5): 357-364.
 31. Kurt,Ş., Zorba, Ö., (2004b). Transglutaminazların Bazı Gıdaların Özellikleri Üzerindeki Etkileri. *Bilimsel Gıda*, 2: S8-11.
 32. Kurth, L. And Rogers, P., J., (1984). Transglutaminase Catalyzed Crosslinking Of Myosin To Soya Protein, Casein Ve Gluten. *J. Food Sci.*, 49, 573-589.
 33. Larre, C., Donery-Papini, S., Popineau, Y., Deshasey, G., Desserne, C. & Lefebure, J. (2000). Biochemical Analysis And Rheological Properties Of Gluten Modified By Transglutaminase. *Cereal Chemistry*, 77 (2): 32-38.
 34. Li, C., Xiong L.Y., Chen, J., (2013). Protein Oxidation At Different Salt Concentrations Affects The Cross-Linking And Gelation Of Pork Myofibrillar Protein Catalyzed By Microbial Transglutaminase. *Journal Of Food Science*, 78, 823-831.
 35. Lorenzen, P.C., (2000). Technofunctional Properties Of Transglutaminase Treated Milkproteins. *Milchwissenschaft*, 55(12), 667-670.
 36. Mariniello, L., Pierro, P., Esposito, C., Sorrentino, A., Masi, P., Porta, R. (2003). "Preparation And Mechanical Properties Of Edible Pectin-Soy Flour Films Obtained In The Absence Or Presence Of Transglutaminase" *Journal Of Biotechnology*, 102, 191-198.
 37. Mariniello, L., Porta, R. (2005). Transglutaminases As Biotechnological Tools. In: K. Mehta, R. Eckert (Editors), *Transglutaminases Family Of Enzymes With Diverse Functions*, Karger, Switzerland, Pp. 174-192.
 38. Martins, I.M., Matos, M., Costa, R., Silva, F., Pascoal, A., Estevinho, L.M., (2014). Transglutaminases: Recent Achievements And New Sources. *Applied Microbiology And Biotechnology*, 98(16), 6957-6964. <https://doi.org/10.1007/S00253-014-5894-1>.
 39. Metwally, A. M. 2007. Effect Of Enzymatic Cross-Linking Of Milk Proteins On Properties Of Ice Cream With Different Composition. *International Journal Of Food Science And Technology*, 42: 939-947.
 40. Motoki, M., Nio, N., Takinami, K., (1987). Functional Properties Of Heterologouspolymer Prepared By Transglutaminase. *Agricultural And Biological Chemistry*, 51: 237-238.
 41. Motoki M., Seguro K. (1998). Transglutaminase And Its Use For Food Processing. *Food Science And Technology*, 9: 204-210.
 42. Öner, Z., 2004. Mikrobiyal Transglutaminazın Özellikleri Ve Gıda Sanayinde Kullanılma Olanakları. *Gıda*, 29(4), 269-272.
 43. Pietrasik, Z. & Li-Chan, E.C.Y. (2002) Binding And Textural Properties Of Beef Gels As Affected By Protein, K-Carrageenan And Microbial Transglutaminase Addition. *Food Research International*, 35 (1): 91-98.
 44. Pietrasik Z., Jarmoluk, A., 2003. Effect Of Sodium Caseinate And K-Carrageenan On Binding And Textural Properties Of Pork Muscle Gels Enhanced By Microbial Transglutaminase Addition. *Food Research International*, 36,285-294 Canada.
 45. Pinterits, A. And Arntfield, S.D. 2008. Improvement Of Canola Protein Gelation Properties Through Enzymatic Modification With Transglutaminase. *LWT - Food Science And Technology*, 41(1): 128-138.
 46. Sharma, R., Lorenzen, P.C., And Qvist, K.B., 2001. Influence Oftransglutaminase Treatment Of Skim Milk On The Formation Of S-(Y- Glutamyl)Lysine And The Susceptibility Of Individual Proteins Towards Crosslinking. *International Dairy Journal*, 11: 785-793.

47. Shorsch C., Carrie H., Clark A.H., Norton, I.T., 2000. Crosslinking Casein Micells Bymicrobial Transglutaminase Conditions For Formation Of Transglutaminase İnducedgels. *International Dairy Journal*, 10, 519-528.
48. Singh, P., Kumar, S. (2019). Microbial Enzyme İn Food Biotechnology. Kuddus M. (Ed.), *Enzymes İn Food Biotechnology İçinde* (4.Bs., Pp. 19–28). Academic Press
49. ŞANLI, T., SEZGİN, E., ŞENEL, E., Ve BENLİ, M. (2011). Geleneksel Yöntemle Ayran Üretiminde Transglutaminaz Kullanımının Ayranın Özellikleri Üzerine Etkileri. *Gıda*, 36 (2): 217-224.
50. Serdaroğlu, M., Turp., G.Y. (2003).Gıda İşlemede Transglutaminaz Kullanımı.Gıda, 28(2): 209- 215.
51. Sun, X.D. And Arntfield, S.D. (2011). Gelation Properties Of Salt-Extracted Pea Protein İsolate İnduced By Heat Treatment: Effect Of Heating And Cooling Rate. *Food Chemistry* 124(3): 1011-1016.
52. Sztuka, K., Kolodziejaska, I. (2008). “Effect Of Transglutaminase And EDC On Biodegradation Of Fish Gelatin And Gelatin-Chitosan Films” *European Food Research And Technology*, 226, 1127-1133.
53. Tokay, F. G. (2015). Transglutaminaz Enzimi İlave Edilerek Kaplanmış Balık Filetolarının Kalitesinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 72 S.
54. 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.
55. Trespalacios, P., Pla, R. (2007). Synergistic Actionof Transglutaminase And High Pressure On Chickenmeat And Egg Gels İn Absence Of Phosphates.*Food Chem*, 104(4): 1718-1727. Doi: 10.1016/J.Foodchem.2007.01.077.
56. Tseng, C.S. & Lai, H.M. (2002). Physicochemical Properties Of Wheat Flour Dough Modified By Microbial Transglutaminase. *Journal Of Food Science*, 67 (2): 750-755.
57. Tseng TF, Cheng Liu MTC (2002). Purification Of Transglutaminase And İts Effects On Myosin Heavy Chain And Actin Of Spent Hens. *Meat Science*, 60: 267-270.
58. Uran, H., Aksu, F., Yılmaz, I. & Durak M.Z. (2013). Transglutaminaz Enziminin Tavuk Köftesinin Kalite Özelliklerine Etkisi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 19 (2): 331-335.
59. Yüksel, Z., Erdem, Y.K. (2007). “Gıda Endüstrisinde Transglutaminaz Uygulamaları: 1. Enzimin Genel Özellikleri” *Gıda*, 32 (6), 287-292.
60. Yüksel, Z., Ve Erdem, Y. K. (2008). Gıda Endüstrisinde Transglutaminaz Uygulamaları:2.Enzimin Gıda Süreçlerinde Kullanım Olanakları. *Gıda*, 33 (3): 143-149.
61. Wang, L., Yu, B., Wang, R., Xie, J. (2018). Biotechnological Routes For Transglutaminase Production: Recent Achievements, Perspectives And Limits. *Trends İn Food Science & Technology*, 81, 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.015>.
62. Zhu, Y. Ve Tramper, J. (2018). Novel Applications For Microbial Transglutaminase Beyond Food Processing. *Trends İn Biotechnology*, 26(10), 559–565. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.06.006>