

## Bitkisel Protein İzolatlarının Fonksiyonel Özellikleri

Merve Yavuz, Beraat Özçelik ✉

Gıda Mühendisliği Bölümü, Kimya Metalürji Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak İstanbul

*Geliş Tarihi (Received): 15.11.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 14.12.2016*

✉ *Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): ozcelik@itu.edu.tr (B. Özçelik)*

☎ 0 212 285 6013 📠 0 212 285 73 33

### ÖZ

Son yıllarda değişen tüketici tercihleri, dini, kültürel veya vejeteryanlık/veganlık gibi kişisel seçimler, hayvansal kaynaklı ürünlere olan güvenin azalması ve de daha düşük maliyetli, sürdürülebilir üretiminin olmasından dolayı bitkisel proteinler büyük önem kazanmıştır. Hâlihazırda, gıda formülasyonlarında ve işlenmesinde bazı bitkisel proteinlerin fonksiyonel özelliklerinden faydalanılmaya başlanmış ve son yıllarda bitkisel proteinler üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar artmıştır. Literatüre göre bitkisel proteinler, bazı fonksiyonel özellikler açısından ticari olarak sıklıkla kullanılan peynir altı suyu izolatu ve/veya soya proteini izolatına güçlü bir alternatif oluşturmaktadır. Bitkisel protein izolatları üretiminde oldukça geniş bir yelpazede kaynak çeşitliliği mevcuttur. Üründe istenen bir fonksiyonel özelliği sağlamak için kullanılacak bitkisel kaynak ve bununla beraber uygulanacak ekstraksiyon yöntemi veya diğer işlemler farklılık gösterebilir. Bu açıdan bitkisel proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin incelendiği çalışma bulgularının bir araya getirilmesi ve beraber incelenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada tahıl, baklagil ve yağlı tohum ürün gruplarına ait çeşitli kaynaklardan elde edilen protein izolatlarının bazı fonksiyonel özellikleri incelenmiş; etkili faktörler ve bu özellikleri geliştirmek için kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur. İncelenen fonksiyonel özellikler çözünürlük, emülsifikasyon, köpük bağlama ve jelleşme özellikleridir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitkisel proteinler, Fonksiyonel özellikler, Tahıllar, Baklagiller, Yağlı tohumlar

### Functional Properties of Plant Protein Isolates

#### ABSTRACT

In recent years, plant proteins have gained a great importance because of changes in consumer preferences, religious, cultural and individual choices, reduced confidence to animal-derived products and cost-efficient and sustainable production potential. Currently, it has begun to get benefit of plant proteins in food formulations and processing, and scientific studies on plant proteins have increased considerably in recent years. According to the literature, some of the functional properties of plant proteins are comparable to those of commercially available whey protein isolate and/or soy protein isolate. There is a wide plant source diversity in the production of plant protein isolates. The plant source may be various based on the desired functional property. In this study, functional properties of protein isolates from some sources of cereals, leguminous and oil seeds are reviewed. Factors influencing functional properties and methods to develop these properties are presented. Functional properties include solubility, emulsification, foaming and gelling properties.

**Keywords:** Plant proteins, Functional properties, Cereals, Legumes, Oil seed

## GİRİŞ

Gün geçtikçe artan dünya nüfusu ve protein yönünden zengin beslenmeye olan eğilim gıda endüstrisinde hayvansal olmayan protein kaynaklarına yönelimi arttırmıştır. Son yıllarda işlenmiş et ürünlerinde dolgu maddesi olarak veya proteince zenginleştirilmiş içeceklerde kullanılabilir protein üretimi için üretim metotları geliştirilmektedir. Yeni metotların geliştirilmesi sırasında ürünlerin besin değerinin, duysal ve fonksiyonel özelliklerinin korunması önem taşımaktadır. Protein izolatları yağsız unlardan uygun ekstraksiyon/çöktürme yöntemiyle üretilir ve son üründe protein konsantrasyonu %90'dan büyüktür. Bitkisel protein izolataı üretimi için literatürde şimdiye dek kullanılan yöntemler; alkali ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme, asit ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme, suyla ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme, tuz ekstraksiyonu/misel çöktürme ve ultrafiltrasyondur [1].

Proteinlerin fonksiyonel özellikleri; üretim, depolama, hazırlama ve tüketim sırasında gıdalarda bulunan proteinlerin davranışlarını etkileyen fiziksel ve kimyasal özellikler olarak tanımlanır [2]. Proteinlerin taşıdığı fonksiyonel özellikleri etkileyen faktörler; aminoasit kompozisyonları, protein yapısı ve şekli (yüzey hidrofobikliği, hidrofobik/hidrofilik oranı gibi), ekstraksiyon ve kurutma gibi işlemlerde kullanılan yöntemler ve parametrelerdir [3]. Farklı protein izolatlarının gösterdiği fonksiyonel özellikler değişkenlik göstermekle beraber; protein izolatının elde edilme yöntemi veya uygulanan diğer işlemler de izolatın fonksiyonel özelliği üzerine etki etmektedir. Son yıllarda oldukça önem kazanan bitkisel proteinlerle ilgili yapılan çalışmaların farklı özellikleri açısından üstünlüklerinin karşılaştırıldığı ve uygulanan çeşitli işlem ve kullanılan farklı parametrelerin etkisinin beraber görülebildiği çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada; tahıllar, baklagiller ve yağlı tohumlar olmak üzere üç farklı ürün grubuna ait protein kaynaklarından elde edilen izolatların çözünürlük, emülsifikasyon, köpüklenme ve jelleşme bazı fonksiyonel özelliklerine değinilmiştir. Çalışmanın amacı, bahsedilen ürün gruplarına ait protein kaynaklarının yukarıda belirtilen özellikleriyle ilgili olarak bazı literatür çalışmalarının bulguları baz alınarak bir derleme sunmaktır. Protein izolatlarının fonksiyonel özellikleri, farklı protein kaynaklarının ilgili fonksiyonel özellik açısından karşılaştırılması, etkili faktörler ve fonksiyonel özelliği geliştirmek için kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur.

## ÇÖZÜNÜRLÜK

Proteinlerin fonksiyonel özellikler taşıyabilmesinin başlıca koşulu çözünebilir olmalarıdır. İçeceklerde, köpüklerde, emülsiyonlarda proteinin fonksiyonel özelliğini sergileyebilmesi için çözünür olması gerekir. Bitkisel proteinler farklı çözünürlük ve molekül ağırlığına sahip albümin, globülin, prolamin ve glutelinler gibi farklı protein fraksiyonlarından meydana gelir. Proteinler izoelektrik noktada en düşük çözünürlüğü gösterirler. Her bir protein fraksiyonunun kendine has izoelektrik

noktası vardır, bu değerler fraksiyon çeşidine ve yapısına göre pH 4-9 aralığında değişir [4]. Proteinlerin izoelektrik noktaları da yapılarında bulunan bu fraksiyonların bulunma oranlarına göre çeşitlilik gösterir. Aşağıda; farklı çalışmalarda bitkisel proteinlerin çözünürlüğünü artırmak için; enzimle muamele, kimyasal reaksiyonlar, tuz, bir polisakkaritle kompleks oluşturma ve farklı izolasyon ekstraksiyon ve kurutma metotlarının etkisinin araştırıldığı çalışmalardan örnekler verilmiştir. Tablo 1'de çeşitli bitkisel kaynaklardan elde edilen protein izolatlarının çözünürlükleri, çözünürlüğü geliştirmek için kullanılan metot ve parametreleri ile çözünürlüğün ölçüldüğü pH değeri verilmiştir.

Bitkisel proteinlerin çözünürlüğünü artırmak için uygulanan yöntemlerden biri enzimlerle muameledir. Buğday proteini olan glutenin izolatları alkolde çözünür fakat suda çok düşük çözünürlüğe sahiptir. Agyare ve ark. [5] bu amaçla kimotripsin enzimiyle buğday glutenini hidrolize etmiş ve sonrasında hidrolizataı transglutaminaz enzimi ile muamele etmiştir. Elde edilen ürünün çözünürlüğü farklı işlem koşulları için 3-29 kat aralığında artmıştır. Shih ve Daigle [6] şurup üretiminde kullanılan esmer pirinçten açığa çıkan yan ürünü, sırasıyla a-amilaz, glukoamilaz, selüloz ve ksilanaz enzimleri ile muamele etmişler ve çözünürlüğün iyileştirildiğini rapor etmişlerdir. Scilingo ve ark. [7] amarant proteinlerini, papain ve kukurbita enzimleri ile hidroliz etmiş ve sonrasında ısı işlem uygulamışlardır. Isı işlem çözünürlüğün düşmesine neden olmuştur. Bir başka çalışmada, keten tohumunda, tripsinin proteolize uğraması ile pH 7 ve üstü değerlerde çözünürlük seviyesinin %85'e kadar artış gösterdiği bulunmuştur. pH 6'dan düşük değerlerde hidroliz derecesi arttıkça protein çözünürlüğü artmıştır [8]. Kanola proteinleri üzerinde yapılan bir diğer çalışmada, izolatlar alkalaz enzimi ile hidroliz edilmiş ve geniş bir pH aralığında yüksek çözünürlük (pH 2'de %70, pH 5'te %90, pH>6'da %100) kazandırılmıştır [9].

Çözünürlüğü artırmak için kullanılan bir diğer yöntem kimyasal reaksiyonlardır. İşlem görmemiş keten tohumunda çözünürlüğü artırmak için süksinilasyon ve asetilasyon gibi açılasyon metotlarından faydalanılmıştır. pH 6 ve üstü değerlerde açılasyon ile, işlem görmemiş protein izolatına göre çözünürlük seviyesinin arttığı görülmüştür. Asidik pH'ta ise (pH 2-3) süksinilasyon çözünürlüğü artırırken, asetilasyon düşürmüştür. Süksinilasyon ile negatif yüklü süksinat grupları yapıya katılarak elektrostatik çekimlerin arttığı, buna bağlı olarak da çözünürlüğün arttığı belirtilmiştir. Yine aynı şekilde, düşük derecede asetilasyon ile yapıya elektrostatik grupların katılımıyla çözünürlük artmıştır. Fakat bununla birlikte yüksek asetilasyon derecesinde açıl gruplar sebebiyle hidrofobik karakter arttığından su-protein etkileşimleri azalarak çözünürlük düşmüştür [14]. Protein izolatları son ürün haline gelen dek öğütme, ekstraksiyon, kurutma gibi işlemlerden geçer. Paredes-Lopez ve ark. [15]'in yaptığı bir çalışmada; misel çöktürme ve izoelektrik çöktürme teknikleriyle elde ettikleri iki farklı nohut proteini izolatının çözünürlüklerini pH 7'de sırasıyla %72.5 ve %60.4 olarak bulmuşlardır. Bununla beraber, bu değer ticari soya proteini izolatının

çözünürlüğünden (%21.2) oldukça yüksektir. Ekstraksiyon metodu dışında protein izolatu elde edilirken maruz kalınan sıcaklık da çözünürlüğü etkiler. Karaca ve ark. [16] izolasyon işlemi sırasında ekstraksiyon ve kurutma adımlarının protein yüzey hidrofobikliğini yükselttiğini ve protein ve/veya peptitler arasında hidrofobik etkileşimlerin arttığını belirtmişlerdir. Yüksek çözünürlük elde etmek için kurutma metodunu da doğru seçmek gerekmektedir. Mercimek proteininde püskürtmeli kurutmayla elde edilen izolatların çözünürlüğü vakum kurutmayla elde edilenlere göre

daha düşük bulunmuştur [11]. Yin ve ark. [8] kenevir tohumu proteinin çözünürlüğüne ısının etkisini araştırmışlar ve olumsuz etki saptamışlardır. Isıl işlem çözünmeyen protein kümelerin oluşumuna neden olmuş ve dolayısıyla tüm pH değerlerinde kenevir tohumu proteini çözünürlüğü düşmüştür. Isının olumsuz etkisini bertaraf etmek amaçlı, Wang ve ark. [17] pirinç proteini izolatlarında alkaliyle muamele sonrası eşzamanlı dondurma-öğütme uygulamış ve çözünürlüğü 42 kat artırmışlardır.

Tablo 1. Çeşitli bitkisel proteinlerin çözünürlükleri

Ürün	Çözünürlük (%)	Çözünürlüğü Arttırmak İçin Kullanılan İşlem	İşlem Parametreleri	pH	Kaynak
Pirinç kepeği izolatu	82	Fitaz ve ksilanaz enzimleri ile modifikasyon	-	10	[10]
Amarant	78	Papain enzimi ile hidrolizasyon	Hidroliz derecesi: 8.2		[7]
	74	Papain enzimi ile hidrolizasyon - Isıl işlem	Hidroliz derecesi: 8.2 Isıl işlem : 90°C 10 dakika		
	73	Kukurbita enzimiyle hidrolizasyon	Hidroliz derecesi: 3.3		
	46	Kukurbita enzimiyle hidrolizasyon - Isıl işlem	Hidroliz derecesi: 8.2 Isıl işlem: 90°C 10 dakika		
Mercimek	81	Pürkürtmeli kurutma	Giriş sıcaklığı: 85°C, Çıkış sıcaklığı: 180°C, Akış hızı: 6.5 mL/dakika		[11]
	78	Dondurmalı kurutma	24 saat, 18°C		
	50	Vakum kurutma	60°C, 85 kPa, 48 saat		
Kenevir tohumu	85	Tripsinin proteolizi	Hidroliz derecesi: 2.3 – 4.5 - 6.7	>7	[8]
Kanola	70	Alkalaz enzimi ile hidrolizasyon	Hidroliz derecesi: 60	2	[12]
	90			5	
	100			>6	
Kinoa	77	Ekstraksiyon sırasında pH 9'da çözündürme	-		[13]
	30	Ekstraksiyon sırasında pH 11'da çözündürme	-	>5	

Bir polisakkarit ile kompleks oluşturma çözünürlüğü arttırmak için kullanılan bir diğer yöntemdir. Braudo ve ark. [18] yaptıkları bir çalışmada bakla legümin proteini ve hidrolize legümin ile kitosan arasındaki etkileşimin çözünürlüğü artırdığını gözlemlemişlerdir. Tuz ilavesi çözünürlüğe etki eden bir diğer işlemidir. Tuz düşük konsantrasyonda iyonların su moleküllerine bağlanması ile çözünürlüğü artırır. Mercimek proteinlerinde, tuz konsantrasyonu 0.15 mM üstünde çözünürlükte düşüş meydana gelmiştir [19].

## EMÜLSİFİKASYON

Proteinler yağ damlacıkları etrafında bir film oluşturarak emülsifikasyon sağlarlar. Böylece topaklaşma, sedimentasyon gibi faz ayrımı olaylarını engellerler. Emülsifikasyon aktivitesi ve emülsifikasyon kararlılığı proteinlerin emülsiyeye etme özelliklerini incelerken

kullanılan iki parametredir. Emülsiyon aktivitesi, birim proteinde emülsiyeye olan yağ miktarını ölçerken, emülsiyon kararlılığı ise tanımlı bir zaman aralığı boyunca emülsiyonunun yapısını bozacak değişikliklere karşı dayanıklılıktır [1]. Aşağıda tahıl, baklagil ve yağlı tohum ürün gruplarına ait protein kaynaklarından elde edilen izolatların emülsifikasyon kapasiteleri üzerinde bir karşılaştırma ve emülsifikasyon kapasitesini geliştirmek için başvurulan bazı yöntemler verilmiştir.

Karaca ve ark. [16] yaptıkları bir çalışmada izoelektrik çöktürme ile üretilen mercimek proteini izolatının nohut protein izolatına göre daha iyi, soya proteini izolatına eşdeğer emülsifiye edici kapasiteye ve kararlılık indisine sahip olduğunu saptamışlardır. Pirinç kepeği proteinlerinin ise emülsiyonlaştırma özelliklerinin kazeinle karşılaştırılabilir olduğu belirtilmiştir [20]. Aydemir ve Yemenicioğlu [21] nohut proteininin

emülsiyon oluşturma kapasitesini peynir altı suyu proteini ve soya proteiniyle eşdeğer bulmuştur. Bezelye proteini izolatının pH 7'de soya protein izolatından daha yüksek emülsifikasyon kapasitesine sahip olduğu görülmüştür [22]. Wu ve ark. [23] yağsız yulaf unundan elde ettikleri protein izolatının soya proteini izolatu ile benzer derecede emülsiyon oluşturma kapasitesine sahip olduğunu bununla beraber emülsiyon stabilitesinin daha zayıf olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşın, Mohamed ve ark. [24] yağsız yulaf unundaki proteinin yüksek emülsifikasyon kapasitesine sahip olduğunu bildirmiş, Heywood ve ark. [25] ise yağsız yulaf ununda soya ununa göre iki kat daha yüksek emülsiyon aktivite indeksi elde etmiştir. Literatürden farklı bulguların elde edilmesi, konsantrasyon, maruz kalınan işlemler ve safsızlık derecesi gibi faktörlerden kaynaklı olabilir. Salata soslarının gıda modeli olarak kullanıldığı bir çalışmada globulin içeriği yüksek olan bir acı bakla çeşidine ait protein izolatının çok iyi bir emülsiyon stabilize edici ajan olduğu anlaşılmıştır [26]. Bu özelliğin altında, emülsiyon damlacık jel yapısı içinde damlacıklar arası etkileşimi kuvvetlendiren globulin kümelerinin köprü etkisinin olduğu belirtilmiştir. Kanola proteinleri, emülsifikasyon kapasitesi özelliklerinin incelendiği bir diğer bitkisel proteindir. Çalışmalar sonucunda kanola proteininin globulin fraksiyonlarının (krusiferin) albümin fraksiyonuna (napin) göre daha yüksek emülsiyon kapasitesi ve emülsiyon stabilitesi gösterdiği bulunmuştur [27]. Napin proteinindeki S-S bağlarının hidrofilik yapısı yağ-su arayüzeyinde etki göstermemesinin muhtemel sebebi olarak açıklanmıştır [14].

Enzimatik modifikasyon emülsifikasyon kapasitesini artırmak için kullanılan bir yöntemdir. Hidrolize buğday proteinleri yüksek seviyede emülsifiye edici özelliğe sahiptir ve ürün formülasyon maliyetini düşürmek için birçok uygulamada kazeinat yerine kullanılmaktadır. [28]. Aluko ve Monu [29] kinoa protein konsantrasyonuna göre protein hidrolizatının daha düşük emülsiyon aktivite indeksine, daha yüksek emülsiyon kararlılığına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Düşük derecede bir hidroliz ile amarant proteinleri daha iyi emülsiyon oluşturma özellikleri sergilemiştir [30]. Enzimatik modifikasyon bezelye proteinleri üzerinde de denenmiş ve asit proteazların emülsifikasyon kapasitesini artırdığı görülmüştür. [31]. Kanola protein izolatında alkalaz enzimi kullanılarak düşük derecede bir hidroliz (%3.1) ile emülsiyon kapasitesi %50, emülsiyon stabilitesi %65 olarak belirlenmiştir [9].

Kimyasal reaksiyonlar çözünürlük üzerinde olduğu gibi emülsifikasyon kapasitesi üzerinde de etkilidir. Yin ve ark. [32] açılasyon metodu ile keten tohumu proteini izolatında emülsiyon aktivite indeksinin yükseldiğini gözlemişlerdir. Açılasyon ile elektrostatik grupların sayısının arttığı ve kıvrımlı zincir yapısının açıldığı öne sürülmüştür. Açılan protein yapısı sonucu açığa çıkan hidrofobik grupların yağ damlacıkları ile daha etkili bir şekilde etkileşime geçerek emülsiyon aktivitesini arttırdığı varsayılmıştır.

Ma ve ark. [33] farklı izolasyon metotları ile elde edilmiş çeşitli protein izolatları üzerinde bir çalışma yapmış, alkaliyle muamele edilerek elde edilen yulaf proteini izolatının, pH 7'de, asitle çöktürülerek ekstrakte edilen bakla proteinine göre %30 daha yüksek emülsiyon aktivite indeksine ve yüksek seviyede emülsiyon stabilitesine sahip olduğunu bulmuştur. Makri ve ark. [34] ultrafiltrasyon ve izoelektrik çöktürme metotlarıyla bezelye, bakla ve acı bakla protein izolatları elde etmiş ve bu izolatlarla stabilize ettikleri emülsiyonların damlacık büyüklüğü dağılımının benzerlik taşıdığını görmüşlerdir. Bununla beraber izolatların raf ömrü boyunca daha düşük stabilizeye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Keten tohumunda ısıtma işleminin emülsifikasyon kapasitesine etkisi incelenmiş ve artış sağladığı saptanmıştır. Isıtma işlemi hidrofobik kısımlar açığa çıkar, yağ damlacıkları ile protein etkileşimi artar ve emülsifikasyon kapasitesi yükselir. Fakat protein kümeleri içeren protein hidrolizatlarında ısıtma işlemi tersi etki yapar, protein hidrolizatları düşük yüzey aktivitesine sahip olduklarından, yağ damlacıkları birleşir ve emülsiyon yapısı bozulur. [8].

Tuz eklemek proteinin yapısını değiştirdiğinden emülsiyonların stabilitesini olumsuz etkilerken, ksantam gam kullanımı ile protein emilimi artırmış ve emülsiyon kararlılığı yükselmiştir. [35]. Krusiferince zengin kanola proteini izolatlarında guar gam veya k-karagenan gibi hidrokolloidler kullanılarak emülsifiye edici özellikler geliştirilebilir [36].

## KÖPÜK BAĞLAMA KAPASİTESİ

Köpük, sıvı veya katıdan meydana gelen bir sürekli fazın havayı (gaz fazını) çevrelemesi ile oluşan yapıdır. Köpük oluşurken proteinler, hava kabarcıkları ve sıvı faz ara yüzeyinde yerleşir. Bu ara-yüzeyde protein fraksiyonları birbiri üzerine katlanır ve apolar kısımları hava yüzeyinde kalacak şekilde yönelir. Proteinlerin hava kabarcığı yüzeyine tutunmasıyla kısmi denatüre olmuş proteinler bir tabaka oluşturur ve hava kabarcıklarını enkapsüle eder, böylece hava kabarcıklarının bir araya gelmesi engellenir ve köpük yapısı korunur. Proteinlerin köpük oluşturma özellikleri incelenirken köpüğün kabarması, köpük kapasitesi ve köpüğün stabilitesi en fazla kullanılan parametrelerdir. Aşağıda farklı bitkisel proteinlerin köpük bağlama kapasiteleri karşılaştırılmış ve geliştirmek için uygulanan yöntemlere yer verilmiştir.

Wang ve ark. [10] bir çalışmalarında pirinç kepeği proteinlerinin köpük bağlama kapasitesi stabilitesinin yumurta albümini kadar yüksek olduğunu göstermiştir. Alkaliyle muamele edilerek ekstrakte edilen yulaf proteini izolatu pH 7'de acı bakla proteini izolatu ile benzer köpük bağlama kapasitesi ve iki kat yüksek köpük tutma kararlılığı göstermiştir. [24]. Makri ve ark. [34] çeşitli protein izolatlarını fonksiyonel özellikleri yönünden karşılaştırmışlar ve en yüksek bezelye proteininin, ardından bakla proteininin ve en düşük acı bakla proteininin köpük bağlama kapasitesine sahip olduğunu görmüşlerdir. Bezelye proteini izolatının pH 7'de soya protein izolatu ile karşılaştırıldığında da iyi bir

köpük bağlayıcı ajan olduğu görülmüştür. [22]. Nohut proteininin köpük bağlama kapasitesi ise peynir altı suyu proteini ve soya proteiniyle eşdeğer bulunmuştur [15]. Yağlı tohumlardan kanola proteininde albümin yapısında olan 2S proteinleri hava-su ara yüzeyini iyi stabilize ettiğinden köpük bağlama kapasitesinin iyi olduğu belirtilmiştir [37]. Wanasundara ve McIntosh [38] da yaptıkları bir çalışmada, napin (albümin yapısında 2S kanola proteini fraksiyonu) izolatinin (%0.5-5 k/h) pH 3-10 aralığında %100'den daha fazla köpük oluşturma kapasitesine sahip olduğu, 30 dakika boyunca %90 oranında kararlılığını koruduğu görülmüştür. Sonuçlar peynir altı suyu proteini izolatinin gösterdiği köpük bağlama kapasitesi ile eşdeğer bulunmuştur.

Köpük bağlama özelliklerini artırmak amaçlı, Drago ve González [39] düşük derecede bir hidrolizasyon uygulamışlar ve buğday proteininde yüksek köpük bağlama özelliği saptamışlardır. Amarant proteinleri de düşük derecede hidroliz edilmiş ve daha iyi köpük bağlama ve emülsiyon oluşturma özellikleri sergilediği görülmüştür [30]. Keten tohumu proteininde enzimatik uygulama ve ısıtma işlemin etkisi incelenmiş ve köpük bağlama kapasitesinin tripsin hidrolizi ile düşerken, ısıtma işlemi arttığı görülmüştür. Hidroliz sonrası aminoasit zincirlerinin kısalmasıyla ara-yüzey zar geriliminin azalacağı ve köpük oluşumunu zayıflatabileceği öne sürülmüştür [8]. Farklı bulgular, protein izolatinin kaynağı ve enzimatik modifikasyon sırasındaki hidroliz derecelerinin farklılığından kaynaklanabilir.

Makri ve ark. [34] acı bakla, nohut ve bakla protein izolatları üzerinde farklı ekstraksiyon metodlarının köpüklenmeye etkisini inceledikleri bir çalışmalarında ultrafiltrasyonla elde edilen izolatların izoelektrik çöktürmeyle elde edilenlere göre daha yüksek hacimli ve daha kararlı köpük oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı çalışmada; tuz eklenmesi köpük bağlama kapasitesini artırırken, ksantan gam hem köpük bağlama kapasitesini hem de kararlılığı artırmıştır.

## JELLEŞME

Protein jelleşmesi, puding, jöle, birçok tatlı ve et formülasyonlarında istenen, gıdaların hazırlanmasında önem taşıyan bir olaydır. Birçok farklı bitkisel protein jelleşme özellikleri ve etkili faktörler açısından incelenmiştir. Aşağıda tahıl, baklagil ve yağlı tohum ürün gruplarına ait protein kaynaklarından elde edilen izolatların jelleşme kapasiteleri üzerinde bir karşılaştırma ve jelleşme kapasitesini geliştirmek veya daha güçlü jeller oluşturmak için başvurulan bazı yöntemler verilmiştir.

Bazı baklagil örnekleri üzerinde yapılan çalışmalar jelleşmenin ticari protein izolatu kaynağı olan soyaya göre daha zayıf jeller oluşturduğu görülmüştür. Bezelye proteinlerinin <math>\leq 15-20</math> (k/h) konsantrasyonda oluşturduğu jellerin soya proteini izolatu ile oluşturulan jellere göre zayıf ve elastikiyetlerinin düşük olduğu görülmüştür [40]. Mercimek proteini izolatu soya proteini izolatu göre daha zayıf yapıda jeller oluşturmuştur, bunu sebebi ısıtma sırasında mercimek proteininde

düşük sayıda disülfid değişimi meydana gelmesi olarak açıklanmıştır [41]. Amarant proteinleri ise 11S globülince zengin olduğundan iyi jelleşme özellikleri gösterir [42]. Acı bakla protein izolatuyla oluşturulan jel yapısının bezelye, bakla ve acı bakla örnekleri arasında en yüksek kırılma gücü gösterdiği belirtilmiştir. Kongliten gama proteini diğer baklagillerde nadiren bulunan, acı baklaya özgü, sülfür-çeren bir proteindir; kırılma jel yapısının bu özel proteinden gelebileceği öne sürülmüştür [34]. Kanola proteinlerinde jel oluşturma özelliği yapılarında bulunan fenolik bileşenlerden etkilenir ve dolayısıyla yüksek değildir [43]. Kanola proteinlerindeki krusiferin güçlü jel yapısı oluştururken; napin, krusiferine göre yüksek sıcaklıklar gerektirir ve yoğun bir şekilde sineresise uğrayan güçsüz yapıda jellerin oluşumuna neden olur [44].

Protein yapısından gelen jelleşme özellikleri ile jel oluşumu için kullanılacak parametreler uyumlu olmalıdır. Yulaf proteininin alkali pH'te (pH 10) veya 90-100°C'de ısıtma işlemi sırasında proteoliz ve denatürasyona bağlı olarak kararlı yapıda jel oluşturduğu belirtilmiştir [45]. Avanza ve ark. [42] farklı sıcaklık ve protein konsantrasyonlarında jelleşme özelliklerini incelemişler ve ısıtılmış çözeltilerde konsantrasyon arttıkça elastikliğin dolayısıyla jel özelliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Bu davranış denatüre olan globülinlerin protein molekülleri arasında disülfid bağları ile stabilize olması ve proteinlerin kümeleşmesi ile jel oluşumu olarak açıklanmıştır. Bir diğer çalışmada, yüksek basınç uygulaması (400 MPa) düşük konsantrasyonlarda (100°C'de %7-%11) kanola proteinli güçlü jellerin oluşumunu sağlamıştır [46].

Enzimle muamele jelleşme özelliğini de geliştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Sun ve Arntfield [40] bezelye proteini izolatinin jel yapısının transglutaminaz enzimi ile geliştirildiğini göstermiştir. Pinterits ve Arntfield [47] kanola proteinleri üzerinde transglutaminaz etkisini araştırmışlar ve bu enzim kullanılarak çapraz bağlama ile krusiferin yönünden zengin kanola proteininin jel oluşturma özelliklerinin iyileştiğini bulmuşlardır.

Bezelye proteini izolatu tuz ilavesi ile daha güçlü jeller meydana getirmiştir, bunu sebebi muhtemelen tuz ilavesiyle artış gösteren hidrojen bağlarıdır. Amarant proteinleri üzerinde yapılan bir çalışmada primer yapıdaki 11S globülin yapısına metionin aminoasidi eklenmiş ve modifiye protein fonksiyonel özellikleri açısından incelenmiştir. Modifiye amarant işlem görmemiş nazaran daha yüksek hidrofobik özellik göstermiş ve çok güçlü jel yapısı oluşumunu sağlamıştır [48].

## SONUÇ

Protein yönünden dengesiz beslenme özellikle Afrika ülkeleri ve Hindistan olmak üzere gelişmekte olan bir dünyada büyük bir problem arz etmektedir. Bununla beraber küresel ısınma ve endüstri/tarım uygulamalarının çevreye olan etkisi yükselen bir kamuoyu bilinci oluşturmaktadır. Bu sebeplerden gıda üreticileri her kaynağın alternatifinin arayışına gitmeye

başlamışlardır. Bu eğilim, gıda endüstrisinde, gıdalara çeşitli fonksiyonel özellikler kazandırmak için kullanılan hayvansal, süt veya soya kaynaklı protein izolatlarının diğer bitkisel proteinlerle yer değiştirmeye başlamasını sağlamıştır. Farklı kaynaklardan, farklı metotlarla elde edilen bitkisel proteinler; çözünürlük, emülsifikasyon, köpük bağlama, jelleşme gibi fonksiyonel özellikler açısından birçok çalışmaya göre ticari izolatlarla eşdeğer durumdadır. Bununla beraber, incelenen çalışmalarda, enzimatik modifikasyon, kimyasal reaksiyonlar, polisakkaritle kompleks oluşumu, düşük konsantrasyonda tuz, ekstraksiyon/izolasyon parametrelerinin optimizasyonu, basınç uygulaması gibi yöntemlerle bitkisel proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin geliştirildiğine dair birçok bulgu rapor edilmiştir. Gelecekteki süreçte yüksek miktarda endüstriyel protein izolatu üretiminde bitkisel kaynaklardan faydalanabilmek için verim, maliyet, çevresel etki gibi çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Boye, J., Zare, F., Pletch, A., 2010. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International* 43(2): 414-431.
- [2] Kinsella, J., 1982. Relationship between structure and functional properties of food proteins. *Food proteins* 1: 51-103.
- [3] Tulbek, M.C., Lam, R.S.H., Wang, Y., Asavajaru, P., Lam, A., 2017. Chapter 9 - Pea: A Sustainable Vegetable Protein Crop A2 - Nadathur, Sudarshan R, In Sustainable Protein Sources, Edited by J.P.D. Wanasundara, L. Scanlin, Academic Press, San Diego, 145p.
- [4] Hoogenkamp, H., Kumagai, H., Wanasundara, J.P.D., 2017. Rice Protein and Rice Protein Products, In Sustainable Protein Sources, Edited by H. Hoogenkamp, H. Kumagai, J.P.D. Wanasundara, Academic Press, San Diego, 47p.
- [5] Agyare, K.K., Xiong, Y.L., Addo, K., 2008. Influence of salt and pH on the solubility and structural characteristics of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate. *Food Chemistry* 107(3): 1131-1137.
- [6] Shih, F.F., Daigle, K.W., 2000. Preparation and characterization of rice protein isolates. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 77(8): 885-889.
- [7] Scilingo, A.A., Ortiz, S.E.M., Martínez, E.N., Añón, M.A.C., 2002. Amaranth protein isolates modified by hydrolytic and thermal treatments. Relationship between structure and solubility. *Food Research International* 35(9): 855-862.
- [8] Yin, S.W., Tang, C.H., Cao, J.S., Hu, E.K., Wen, Q.B., Yang, X.Q., 2008. Effects of limited enzymatic hydrolysis with trypsin on the functional properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolate. *Food Chemistry* 106(3): 1004-1013.
- [9] Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., Clemente, A., Pedroche, J., Millán, F., 2000. Partially hydrolyzed rapeseed protein isolates with improved functional properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 77(4): 447-450.
- [10] Wang, M., Hettiarachchy, N.S., Qi, M., Burks, W., Siebenmorgen, T., 1999. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(2): 411-416.
- [11] Joshi, M., Adhikari, B., Aldred, P., Panozzo, J.F., Kasapis, S., Barrow, C.J., 2012. Interfacial and emulsifying properties of lentil protein isolate. *Food Chemistry* 134(3): 1343-1353.
- [12] Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., Clemente, A., Pedroche, J., Bautista, J., Millan, F., 1999. Production and characterization of an extensive rapeseed protein hydrolysate. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 76(7): 819-823.
- [13] Abugoch, L.E., Romero, N., Tapia, C.A., Silva, J., Rivera, M., 2008. Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(12): 4745-4750.
- [14] Wanasundara, J.P., McIntosh, T.C., Perera, S.P., Withana-Gamage, T.S., Mitra, P., 2016. Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *OCL* 23(4): D407.
- [15] Paredes-Lopez, O., Ordorica-Falomir, C., Olivares-Vazquez, M.R., 1991. Chickpea protein isolates: Physicochemical, functional and nutritional characterization. *Journal of Food Science* 56(3): 726-729.
- [16] Karaca, A.C., Nickerson, M.T., Low, N.H., 2011. Lentil and Chickpea Protein-Stabilized Emulsions: Optimization of Emulsion Formulation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(24): 13203-13211.
- [17] Wang, T., Zhang, H., Wang, L., Wang, R., Chen, Z., 2015. Mechanistic insights into solubilization of rice protein isolates by freeze-milling combined with alkali pretreatment. *Food Chemistry* 178: 82-88.
- [18] Braudo, E., Plashchina, I., Schwenke, K., 2001. Plant protein interactions with polysaccharides and their influence on legume protein functionality A Review. *Food/Nahrung* 45(6): 382-384.
- [19] Suliman, M.A., El Tinay, A.H., El Khalifa, A.E.O., Babiker, E.E., El Khalil, E.A.I., 2006. Solubility as influenced by pH and NaCl concentration and functional properties of lentil proteins isolate. *Pakistan Journal of Nutrition* 5(6): 589-593.
- [20] Fabian, C., Ju, Y.H., 2011. A review on rice bran protein: Its properties and extraction methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(9): 816-827.
- [21] Aydemir, L.Y., Yemenicioğlu, A., 2013. Potential of Turkish Kabuli type chickpea and green and red lentil cultivars as source of soy and animal origin functional protein alternatives. *LWT - Food Science and Technology* 50(2): 686-694.
- [22] Bildstein, M., Lohmann, M., Hennigs, C., Krause, A., Hiltz, H., 2008. An enzyme-based extraction process for the purification and enrichment of vegetable proteins to be applied in bakery

- products. *European Food Research and Technology* 228(2): 177-186.
- [23] Wu, Y.V., Sexson, K.R., Cluskey, J.E., Inglett, G.E., 1977. Protein isolate from high-protein oats: Preparation, composition and properties. *Journal of Food Science* 42(5): 1383-1386.
- [24] Mohamed, A., Biresaw, G., Xu, J., Hojilla-Evangelista, M.P., Rayas-Duarte, P., 2009. Oats protein isolate: Thermal, rheological, surface and functional properties. *Food Research International* 42(1): 107-114.
- [25] Heywood, A., Myers, D., Bailey, T., Johnson, L., 2002. Functional properties of low-fat soy flour produced by an extrusion-expelling system. *Journal of the American Oil Chemists Society* 79(12): 1249-1253.
- [26] Papalamprou, E., Doxastakis, G., Kiosseoglou, V., 2006. Model salad dressing emulsion stability as affected by the type of the lupin seed protein isolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(12): 1932-1937.
- [27] Cheung, L., Wanasundara, J., Nickerson, M.T., 2015. Effect of pH and NaCl on the emulsifying properties of a napin protein isolate. *Food Biophysics* 10(1): 30-38.
- [28] Linarès, E., Larré, C., Lemeste, M., Popineau, Y., 2000. Emulsifying and foaming properties of gluten hydrolysates with an increasing degree of hydrolysis: role of soluble and insoluble fractions. *Cereal Chemistry Journal* 77(4): 414-420.
- [29] Aluko, R.E., Monu, E., 2003. Functional and bioactive properties of quinoa seed protein hydrolysates. *Journal of Food Science* 68(4): 1254-1258.
- [30] Rodríguez Patino, J.M., Rodríguez Niño, M.R., Carrera Sánchez, C., 2007. Physico-chemical properties of surfactant and protein films. *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 12(4-5): 187-195.
- [31] Periago, M.J., Vidal, M.L., Ros, G., Rincón, F., Martínez, C., López, G., Rodrigo, J., Martínez, I., 1998. Influence of enzymatic treatment on the nutritional and functional properties of pea flour. *Food Chemistry* 63(1): 71-78.
- [32] Yin, S.W., Tang, C.H., Wen, Q.B., Yang, X.Q., 2009. Functional and structural properties and in vitro digestibility of acylated hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates. *International Journal of Food Science & Technology* 44(12): 2653-2661.
- [33] Ma, C.Y., Harwalkar, V.R., Paquet, A., 1990. Physicochemical properties of alkali-treated oat globulin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38(8): 1707-1711.
- [34] Makri, E., Papalamprou, E., Doxastakis, G., 2005. Study of functional properties of seed storage proteins from indigenous European legume crops (lupin, pea, broad bean) in admixture with polysaccharides. *Food Hydrocolloids* 19(3): 583-594.
- [35] Drakos, A., Doxastakis, G., Kiosseoglou, V., 2007. Functional effects of lupin proteins in comminuted meat and emulsion gels. *Food Chemistry* 100(2): 650-655.
- [36] Uruakpa, F.O., Arntfield, S.D., 2006. Surface hydrophobicity of commercial canola proteins mixed with kappa-carrageenan or guar gum. *Food Chemistry* 95(2): 255-263.
- [37] Krause, J.P., 2002. Comparison of the effect of acylation and phosphorylation on surface pressure, surface potential and foaming properties of protein isolates from rapeseed (*Brassica napus*). *Industrial Crops and Products* 15(3): 221-228.
- [38] Wanasundara, J.P., McIntosh, T.C., 2013. Process of aqueous protein extraction from *Brassicaceae* oilseeds. US Patent US8557963 B2.
- [39] Drago, S.R., González, R.J., 2000. Foaming properties of enzymatically hydrolysed wheat gluten. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 1(4): 269-273.
- [40] Sun, X.D., Arntfield, S.D., 2011. Gelation properties of salt-extracted pea protein isolate induced by heat treatment: Effect of heating and cooling rate. *Food Chemistry* 124(3): 1011-1016.
- [41] Berghout, J.A.M., Boom, R.M., van der Goot, A.J., 2015. Understanding the differences in gelling properties between lupin protein isolate and soy protein isolate. *Food Hydrocolloids* 43: 465-472.
- [42] Avanza, M.V., Puppo, M.C., Anon, M.C., 2005. Structural characterization of amaranth protein gels. *Journal of Food Science* 70(3): 223-229.
- [43] Rubino, M.I., Arntfield, S.D., Nadon, C.A., Bernatsky, A., 1996. Phenolic protein interactions in relation to the gelation properties of canola protein. *Food Research International* 29(7): 653-659.
- [44] Schwenke, K.D., Dahme, A., Wolter, T.H., 1998. Heat-induced Gelation of Rapeseed Proteins: Implication of Electrostatic Effects, In *Plant Proteins from European Crops: Food and Non-Food Applications*, Edited by J. Guéguen, Y. Popineau, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 126p.
- [45] Ma, C.Y., Rout, M.K., Phillips, D.L., 2003. Study of thermal aggregation and gelation of oat globulin by raman spectroscopy. *Spectroscopy* 17(2-3): 417-428.
- [46] He, R., He, H.Y., Chao, D., Ju, X., Aluko, R., 2014. Effects of high pressure and heat treatments on physicochemical and gelation properties of rapeseed protein isolate. *Food and Bioprocess Technology* 7(5): 1344-1353.
- [47] Pinterits, A., Arntfield, S.D., 2008. Improvement of canola protein gelation properties through enzymatic modification with transglutaminase. *LWT - Food Science and Technology* 41(1): 128-138.
- [48] Carrasco-Peña, L., Osuna-Castro, J.A., De León-Rodríguez, A., Maruyama, N., Toro-Vazquez, J.F., Morales-Rueda, J.A., Barba De La Rosa, A.P., 2013. Modification of solubility and heat-induced gelation of Amaranth 11S Globulin by protein engineering. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(14): 3509-3516.