



Gıda Uygulamalarında Köpük Stabilitesinin Mikrojel Kullanımı ile Arttırılması: Alternatif Bir Kaynak Olarak Nohut Haşlama Suyunun Değerlendirilmesi

Program Kodu:3501

Proje No:220O027

**Proje Yürütücüsü:
Dr. Öğr. Üyesi NİHAT YAVUZ**

Bursiyer(ler)

SELÇUK OK

HUDAYAR BEGLİYEV

İLKCAN İŞLEYİCİ

TEMMUZ 2023

ANKARA



ÖNSÖZ

Tübitak 3501 programı kapsamında desteklenen 220O027 numaralı ve “Gıda Uygulamalarında Köpük Stabilitesinin Mikrojel Kullanımı ile Arttırılması: Alternatif Bir Kaynak Olarak Nohut Haşlama Suyunun Değerlendirilmesi” başlıklı proje kapsamında atık bir ürün olan bitkisel kaynaklı nohut haşlama suyundan püskürtmeli kurutma ile toz ürün elde edilmiştir. Daha sonrasında uygulanan işlemler ile toz üründen mikrojel yapıları elde edilmiş ve gıda köpük uygulamalarındaki etkileri belirlenmiştir. Proje kapsamında yapılan araştırmalar ile Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü bünyesinde Temel İşlemler konusunda uzmanlaşacak şekilde araştırma grubu faaliyetlerine başlayabilmiştir. Projede görev alan iki adet yüksek lisans bursiyeri akademik çalışmalarına başlayabilmiştir. Proje ekibi adına verdiği destekten dolayı Tübitak’a teşekkür ederiz.



İÇİNDEKİLER

TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ	iii
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	11
3.1 Nohut Haşlama Suyu Elde Edilmesi.....	11
3.1.1 Verim analizi	11
3.2.1 Viskozite analizi	11
3.1.3 Suda çözünür kuru madde analizi	12
3.2 Nohut Haşlama Suyu Tozu Elde Edilmesi	12
3.2.1 Nem analizi	12
3.2.2 Protein Analizi	12
3.2.3 Saponin Analizi	12
3.3 NHST Kullanılarak Jel Elde Edilmesi	13
3.3.1 Jel oluşturan en düşük konsantrasyon değeri	13
3.3.2 NHST süspansiyonlarının yüksek basınçlı homojenizasyon ile işlenmesi	13
3.3 NHST Kullanarak Mikrojel Süspansiyonları Elde Edilmesi ve Köpük Oluşturulması	13
3.3.1 Yukarıdan aşağıya (YA) yöntemi ile mikrojel süspansiyonlarının oluşturulması.....	13
3.3.2 Aşağıdan yukarıya (AY) yöntemi ile mikrojel süspansiyonlarının oluşturulması.....	13
3.3.3 Mikrojel Süspansiyonlarından Köpük Elde Edilmesi.....	14
3.3.4 Mikrojel üretim yönteminin ve karıştırma zamanının köpük özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi.....	15
3.4 Çeşitli Gıda Örneklerinden NHST Kullanarak Köpük Yapıda Ürün Oluşturulması.....	15
3.5 İstatiksel Analizler.....	16
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	17
4.1 Nohut Haşlama Suyu Elde Edilmesi.....	17
4.2 Nohut Haşlama Suyu Tozu Elde Edilmesi.....	19
4.3 NHST Kullanılarak Jel Elde Edilmesi.....	21
4.4 Çeşitli Gıda Örneklerinden NHST Kullanarak Köpük Yapıda Ürün Oluşturulması.....	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	41



TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ

Tablo 1. NHS örneklerinin akışkan tipinin belirlenmesi için yapılan regresyon analizi sonuçları	19
Tablo 2. Cevap-yüzey yönteminde istenilen hedefe ulaşma (desirability) fonksiyonu için Minitab ayarları	19
Tablo 3. Optimizasyon hesaplamalarına göre belirlenen püskürtmeli kurutucu değişkenleri ve tahmini cevap değerleri	20
Tablo 4. Depolama modülü için çift-yönlü Anova analizi sonuçları ve özeti	23
Tablo 5. Kayıp modülü için çift-yönlü Anova analizi sonuçları ve özeti	23
Tablo 6. Homojenizasyon Basıncı ve Geçiş Sayısının Jel Örneklerinin Reolojik Özellikleri Üzerine Etkisi	23
Tablo 7. Homojenizasyon Basıncı ve Geçiş Sayısının %20 (a/h) Konsantrasyon Değerindeki Örneklerin Viskozite Değerleri	27
Tablo 8. Mikrojel nem oranları	28
Tablo 9. Yukarıdan aşağıya yöntemi ile üretilen mikrojellerin parçacık boyutu ölçüm sonuçları	29
Tablo 10. Aşağıdan yukarıya yöntemi ile üretilen mikrojellerin parçacık boyutu ölçüm sonuçları	29
Tablo 11. Yukarıdan aşağıya yöntemi ile üretilen mikrojellerin köpük analizi sonuçları	30
Tablo 12. Aşağıdan yukarıya yöntemi ile üretilen mikrojellerin köpük analizi sonuçları	30
Tablo 13. Mikrojel varlığının ve köpürtme süresinin köpük özellikleri üzerine etkileri	32
Tablo 14. Ultrasonik banyo uygulamasının mikrojellerin köpük özellikleri üzerine etkileri	33
Tablo 15. Ultrasonik banyo uygulaması sonrası mikrojel parçacık boyutları	34
Tablo 16. Köpürme bileşenlerinin yüzey gerilim değerleri	35
Tablo 17. Karamel sosu örnekleri için akışkan modelleri	38
Tablo 18. Elma püresi örnekleri için akışkan modelleri	38
Tablo 19. Karamel örneklerinden elde edilen köpüklerin hava kabarcık boyutu ölçümleri	39
Tablo 20. Elma örneklerinden elde edilen köpüklerin hava kabarcık boyutu ölçümleri	39
Tablo 21. Karamel örneklerinden elde edilen köpüklerin analiz sonuçları	39
Tablo 22. Elma örneklerinden elde edilen köpüklerin analiz sonuçları	39
Tablo 23. Karamel örneklerinden elde edilen köpüklerin duyu analizi sonuçları	40
Tablo 24. Elma örneklerinden elde edilen köpüklerin duyu analizi sonuçları	40
Şekil 1. NHS örneklerinin viskozite değerlerinin kayma oranı ile değişimi	18

Şekil 2. a) Isıtma ve soğutma öncesi NHST süspansiyonları (soldan sağa sırasıyla konsantrasyon değerleri %10, 15, 20, 25, 30), b) Isıtma ve soğutma sonrası NHST süspansiyonları.....	22
Şekil 3. a) Homojenize edilmemiş ve b) 120 MPa – 2 geçiş sayısı ile homojenize edilmiş örneklerden elde edilen jellere uygulanan gerinim taraması.....	25
Şekil 4. a) Homojenize edilmemiş ve b) 120 MPa – 2 geçiş sayısı ile homojenize edilmiş örneklerden elde edilen jellere uygulanan frekans taraması.....	26
Şekil 5. Ultrasonik banyo işlemi sonrası mikrojel parçacık boyut dağılımları.....	34
Şekil 6. a) NHST, b) YA ve c) AY mikrojeklerinin elektron mikroskobu ile elde edilmiş görüntüleri.....	36
Şekil 7. a) YA (1000x büyütme) ve b) AY (2000x büyütme) mikrojeklerinin ultrasonik banyo uygulamasından sonra elektron mikroskobu ile elde edilmiş görüntüleri.....	37



ÖZET

Çalışmalar sonunda nohut haşlama suyundan en yüksek ürün verimi, protein ve saponin içeriği ile en düşük nem içeren toz ürün elde edilebilmesi için optimum püskürtmeli kurutucu değişkenleri öncelikli olarak belirlenmiştir. Hava giriş sıcaklığının 170°C, besleme hızının 4 mL/dk ve hava giriş hızının 92 m³/sa olduğu durumda elde edilen toz ürünler %20 (a/h) konsantrasyon değerinde jel oluşturmaya başlayabilmektedir. 120 MPa ve 3 geçiş olarak uygulanan yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi ile en düşük jel oluşturan konsantrasyon değerindeki nohut haşlama suyu tozu içeren örneklerden güçlü jel yapısı elde edilebilmektedir. Bu yapıdaki jellere yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarı olmak üzere iki farklı yöntem uygulanarak mikrojel yapıları elde edilebilmektedir. %5 (a/h) oranındaki örneklerin planet tipi karıştırıcı ile en yüksek hızda köpürtme ile hacim artışı ve hava oranı yüksek köpükler oluşturulabilmektedir. Yukarıdan aşağıya yöntemi ile elde edilen mikrojellerin aşağıdan yukarı yöntemi ile elde edilenlere göre artan köpürtme süresi ile daha iyi köpük stabilitesi sağladığı ancak ultrasonik banyo uygulaması olmadan mikrojel yapıda olmayan toz ürünlere göre daha düşük köpük stabilitesine neden olduğu ortaya konmuştur. İki üretim yöntemi ile elde edilen mikrojellerden hazırlanan örnekler köpürtme öncesi ultrasonik banyoda bekletildiğinde ise köpük stabilitesinin arttığı belirlenmiştir. Bu sayede hangi koşullar altında mikrojel kullanımının avantaj sağlayabileceği hakkında bilgiler elde edilmiştir.



ABSTRACT

The optimal spray drying variables were primarily determined to obtain powder products from chickpea cooking water with the highest product yield, protein and saponin content, and the lowest moisture content. When the air inlet temperature was 170°C, the feed rate was 4 mL/min, and the air flow rate was 92 m³/h, the obtained powder products started to form gels at a concentration of 20% (w/w). By applying high-pressure homogenization at 120 MPa and 3 passes, strong gel structures can be obtained from samples containing chickpea boiling water powder at the lowest gel-forming concentration. Microgel structures can be obtained from these gel structures using two different methods: top-down and bottom-up approaches. Samples at a 5% (w/w) ratio can generate foams with increased volume and high air ratios through high-speed whipping using a planetary mixer. It has been observed that microgels obtained by the top-down method provide better foam stability with increasing whipping time compared to those obtained by the bottom-up method, but they exhibit lower foam stability compared to non-microgel powder products without ultrasonic bath application. It has been determined that the foam stability increases when samples prepared from microgels obtained by both production methods are kept in an ultrasonic bath for 30 min before whipping. This provides information about the advantageous conditions for the use of microgels.



1. GİRİŞ

Köpük yapıda gıda ürünlerin elde edilmesinde geleneksel yapıda bileşenlerin kullanılması yaygın olmakla beraber çeşitli atıkların değerlendirilmesi de giderek artan sayıda çalışmaya konu olmaktadır. Bu yapıdaki bileşenler arasında nohut haşlama suyu çoğunlukla sıvı halde kullanılmaktadır. Bu proje önerisi ile nohut haşlama suyunun püskürtmeli kurutucu ile işlenerek raf ömrü uzun, depolama/saklama açısından az yer kaplayan, sıvı haldeki örneklerine göre olumsuz kalite değişimlerinden daha az etkilenen toz halde bir ürün elde edilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca nohut haşlama suyu tozu kullanılarak elde edilecek süspansiyonların jel özellikleri de belirlenmiştir.

Gıdalardan elde edilen köpük yapıları ile alakalı çalışmaların önemli bir kısmının köpük stabilitesini arttırmak üzere olduğu görülmektedir. Pickering stabilitesi sağlanması açısından çeşitli kaynaklardan mikrojel elde edilmesi üzerine araştırmalar giderek artmaktadır. Ancak mikrojel elde edilmesinde genellikle saf halde proteinler (çoğunlukla hayvansal kaynaklı) ve protein-polisakkarit karışımları kullanılmaktadır. Nohut haşlama suyu yapısı ise hem protein hem de lif yapıda karbonhidratlar içermektedir. Köpük oluşumu açısından önemli etkisi bulunan saponin de doğal olarak nohut haşlama suyu içerisinde yer almaktadır. Köpük ve jel yapısı oluşturan birçok bileşeni yapısında bulunduran nohut haşlama suyundan elde edilen toz ürünlerin kullanılması ile mikrojel üretimi ilk defa gerçekleştirilmiştir. Elde edilen mikrojellerin hangi koşullar altında mikrojel yapıda olmayan hallerine göre avantaj sağladığı ve farklı yapıdaki gıda örneklerinden nasıl köpük elde edilebildiği de yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Köpük yapıdaki gıdalar, gıda sanayisi içerisinde çeşitli alanlarda kendilerine yer bulmaktadır. Hazırlanan köpük yapılarının değişen tüketici ihtiyaçlarını karşılaması ve modern uygulamalarda kullanılması son yıllarda artan sayıda çalışmaya konu olmaktadır. Bu çalışmalar, köpük yapılarının geleneksel ürünler dışında kullanımı; köpük oluşumunu sağlayacak alternatif kaynakların araştırılması, elde edilen köpük yapısının yüksek stabiliteye sahip olmasını sağlayacak uygulamalar üzerine yoğunlaşmaktadır.

Köpük yapıda gıdalar gaz fazı olarak havanın sıvı bir faz içerisine karıştırılmasıyla elde edilen çok fazlı yapılardır. Köpük yapısı ile homojen bir görünüş, tat ve aromanın homojen dağılımı, yumuşak bir tekstür ile kolay sürülebilirlik avantajları sağlanabilmektedir (Torres vd., 2013). Yapı içerisinde kabarcıklar halinde bulunan hava sayesinde Newtonumsu olmayan veya viskoelastik davranışlar gözlemlenebilmektedir. Özellikle viskoelastik davranış ile köpük yapıdaki gıdalara katı gibi şekil verilebilmektedir (Ellis ve Lazidis, 2018). Yaygın olarak tüketilen birçok gıda (ekmek, dondurma, bira, beze vb.) köpük yapıdadır veya içerisinde köpük bulunmaktadır. Alternatif gıdaların geliştirilmesi ile farklı tüketici ihtiyaçlarının karşılanması için et, sebze ve meyve pürelerinden de köpük yapıda gıdalar oluşturulmaktadır (Campbell ve Mougeot, 1999). Yeni ürün olarak geliştirilen gıdaların tüketiciler tarafından kabul edilmesinde aroma ve tekstür önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda moleküler gastronomi olarak adlandırılan ve şefler tarafından sıklıkla kullanılan yöntem ile çeşitli gıdalardan köpük yapılar elde edilmektedir. Bu gıdaların tüketilmesi sırasında ağız içerisinde aroma yayılımının daha hızlı ve homojen bir şekilde olmasının yanısıra şekil/boyut ve renkleri de daha kolay ayarlanabilmektedir (Mishan, 2019). Köpük yapıda gıdaların kullanımı ile çözüm aranan diğer iki konu ise diyet gıdaların hazırlanması ve çiğnemesi/yutması kolay gıdaların oluşturulmasıdır. Osterholt vd. (2007) ve Peters vd. (2015) hava kabarcıklarının gıda yapısına eklenmesiyle düşük kalorili ve doyumluk hissini arttıran gıdaların geliştirilebileceğini göstermiştir. Sert, yapışkan ve birbirlerinden farklı tekstüre sahip bileşenlerden oluşan gıdalar, ileri yaş veya çeşitli hastalıklardan dolayı çiğneme ve yutkunma zorluğu çeken hastalar tarafından tüketilirken problemler oluşturmaktadır. Bu nedenle doğru beslenememe ve gıda tüketimi sırasında boğulma riskleri ortaya çıkabilmektedir. de Villiers vd. (2018), Wada vd. (2018) ve Rusu vd. (2020) yaptıkları çalışmalarda köpük yapıda oluşturulan gıdaların homojen yapısı, kolay çiğnenebilirliği ve aroma özellikleri ile çiğneme ve yutkunma zorluğu çeken hastalara avantaj sağladığını göstermişlerdir. Köpük oluşturulmasının hem ev hem hastane/bakım evi gibi yerlerde kolayca oluşturulabilmesi de ayrı avantaj sağlamaktadır. Köpük yapısındaki alternatif ürünler hakkında tüketici tercihlerinin belirlenmesi ve farklı özelliklere sahip köpük yapılarının geliştirilebilmesi için araştırmalara devam edilmektedir.

Köpük oluşumunun sağlanabilmesi için yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır. Bu maddeler olmadan oluşacak hava kabarcıkları kısa süre içerisinde kaybolacak ve köpük yapısı bozulacaktır. Gıda sanayinde kullanılan yüzey aktif maddeler genel olarak düşük moleküler ağırlıklı yüzey aktif maddeler ve polimerler olarak iki gruba ayrılabilir. Lesitin, polysorbat, mono ve digliseritler ile sukroz esterleri düşük molekül ağırlıklı yüzey aktif maddelere örnek verilebilir. Proteinler ise yaygın olarak köpük oluşturma amaçlı gıdalara eklenebilmektedir. Düşük molekül ağırlıklı yüzey aktif maddeler, küçük boyutlarına ve hızlı bir şekilde hava-su ara yüzeyine yerleşebildikleri için köpük oluşumunu proteinlere göre daha kolay sağlayabilir. Ancak bu maddeler pH ve tuz konsantrasyonundan önemli ölçüde etkilendiklerinden gıdalarda kullanımları kısıtlı olabilmektedir. Proteinlerin pH, sıcaklık ve tuz konsantrasyonu gibi çevresel etkilerden göreceli olarak daha az etkilenmeleri ve hava-su ara yüzeyine daha güçlü bir şekilde bağlanmaları köpük oluşturma için kullanılmalarında sayılabilecek bazı avantajlarındandır. Ayrıca proteinlerin gıdaların yapısında doğal olarak yer almaları ile tüketiciler tarafından kabul görmelerinin daha kolay olması ("temiz etiket" olarak da adlandırılacak yaklaşıma da uygun olmaları) ise bir başka olumlu özellik olarak görülmektedir. Yaygın olarak köpük oluşturma amaçlı kullanılan proteinler ise peynir altı suyu, kazein, laktoferrin, yumurta akı proteinlerinin yanında daha az olmakla birlikte soya, bezelye, mercimek, patates ve baklagil proteinleridir (Ellis ve Lazidis, 2018).

Proteinlerin köpürme gibi fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi için ısı işlem, yüksek basınç uygulaması, enzimatik ve enzimatik olmayan hidroliz yöntemleri uygulanmaktadır. Temelde proteinlerin moleküler ağırlıklarındaki azalma ve normalde yapı içerisinde gömülü olan hidrofobik aminoasitlerin açığa çıkması ile köpük özelliklerinin arttığı belirtilmektedir (Murray, 2007). Toz haldeki peynir altı suyu ve yumurta akı proteinlerini farklı sıcaklıktaki sıcak hava içerisinde değişen sürelerde bekletmek (Audebert vd., 2019; Van der Plancken vd., 2007) veya protein süspansiyonlarına ısı işlem uygulanması ile (Bernard vd., 2008; Nicorescu vd., 2010; Oboroceanu vd., 2014) proteinlerin hem köpürme kapasiteleri hem de köpük stabilitesi arttırılmıştır. Peynir altı suyu proteini izolatlarına uygulanan statik yüksek basınç işleminin (150-450 MPa arası ve değişen sürelerde) köpürme özellikleri üzerindeki etkisi protein konsantrasyonuna ve pH değerine göre değişmektedir. Artan konsantrasyon ve izoelektrik noktaya yakın pH değerlerinde köpürme özellikleri azalmıştır (İbanoğlu ve Karataş, 2000). Saf β -lactoglobulin proteininden oluşan süspansiyonlara 800 MPa değerine kadar statik yüksek basınç uygulaması köpürme özelliklerinde değişime neden olmamıştır. β -lactoglobulin ve dekstran karışımında ise yüksek basınç ile köpürme kapasitesi artarken köpük stabilitesinde düşüş gözlemlenmiştir (İbanoğlu, 2001). Yüksek basınçlı homojenizasyon uygulaması ile peyniraltı suyu proteini (Oboroceanu vd., 2014) ve sığır serum albumini (Maresca vd., 2017)

kullanılarak elde edilen köpüklerin stabilitesi, basınç ve geçiş sayısı değerlerine bağlı olarak arttırılabileceği gösterilmiştir. Hayvansal kaynaklardan elde edilen bu iki temel proteinin benzer koşullardaki köpürme özellikleri ise Berry vd. (2009) ve Yang vd. (2009) tarafından detaylı şekilde çalışılmıştır. Bitkisel kaynaklardan elde edilecek proteinlerin, düşük allerjen özellikte olmaları ile sürdürülebilir bir şekilde ucuz maliyetle yüksek kapasitede üretilebilmeleri hayvansal kaynaklı proteinler karşısında önemli avantajlar sağlamaktadır ve son yıllarda dikkat çeken bir araştırma konusu olarak görülmektedir. Bitkisel proteinlerin fonksiyonel özellikleri incelenerek hayvansal proteinler de uygulandığı gibi çeşitli işlemler ile fonksiyonel özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır (Buhl vd., 2019). Boye vd. (2010), bezelye ve mercimek protein konsantrasyonlarının nohut protein konsantrasyonuna göre daha yüksek köpük stabilitesi sağladığı (sadece köpük oluşumundan sonraki ilk 5 dakika içerisindeki hacim değişimi ölçülmüştür), köpük hacminin ise nohut proteinleri için diğerlerinden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Chao ve Aluko (2018) bezelye proteini süspansiyonlarına farklı sıcaklıklarda ısıtma işlemi uygulayarak fonksiyonel özelliklerdeki değişimleri ölçmüşlerdir. Uygulanan ısıtma işlemlerinin bezelye proteinlerinin köpük oluşturma özelliklerini arttırmadığını ve konsantrasyona bağlı olarak pH 5,0 ve 7,0 arasında köpük stabilitesinin arttığını bildirmektedir. Bezelye proteinlerine uygulanan yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin asidik pH değerlerinde köpürme kapasitesi ve köpük stabilitesi üzerinde bir etkisinin olmadığını ancak, nötr pH değerinde köpürme kapasitesi artarken köpük stabilitesinin azaldığı gözlemlenmiştir (Djemaoune vd., 2019). Yang vd. (2018) yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin protein agregasyonunu ve yapısını değiştirerek fonksiyonel özellikleri etkilediğini ortaya koymuştur. Bakla proteinlerinden hazırlanan süspansiyonlara yüksek basınçlı homojenizasyon uygulanması ile köpük oluşturma kapasitelerinin arttığını belirtirken köpük stabilitesinde ise bir değişim olmadığını ölçmüşlerdir. Shao vd. (2016), soya proteinlerinin üçüncül yapıları nedeniyle sınırlı olan köpük oluşturma kapasitelerini ısıtma işlemi uygulayarak arttırmayı denemişlerdir. Isıtma işlemi ile köpük oluşturma kapasitesi %9-350 arasında artarken köpük stabilitesinin farklı kaynaklardan elde edilen soya proteinlerinde çok az veya hiç artmazken bazılarında ise azaldığı belirlenmiştir. Mune ve Sogi (2016) farklı kurutma yöntemlerinin börülce ve bambara fasulyesi olarak adlandırılacak Afrika'ya özgü bir bitkiden elde edilecek proteinlerin fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. Dondurarak kurutma ile elde edilen proteinlerin vakum kurutma ve kabin kurutma işlemlerinden elde edilen proteinlere göre daha yüksek köpük stabilitesine sahip olduğunu bulmuşlardır. Aydemir ve Yemencioğlu (2013), Türkiye'de yetiştirilen Kabuli türündeki nohutlardan elde ettikleri proteinlerin soya, yumurta akı ve peynir altı suyu proteinlerine göre daha az köpük oluşturma kapasitesine sahip olmalarına rağmen daha yüksek köpük stabilitesine sahip olduklarını bildirmektedir. Tontul vd. (2018) farklı kurutma yöntemlerinden elde edilen nohut proteinlerinin köpürme özelliklerini

karşılaştırmış ve dondurarak kurutulmuş protein izolatlarının pH 2, 8 ve 10 değerlerinde benzer köpük stabilitesine sahip olduğunu belirtmektedir.

Proteinler dışında bitkilerden elde edilen saponinler de önemli ölçüde köpük oluşturma özelliklerine sahiptirler. Amfifilik yapıda olan saponinler, ısıya karşı dayanıklı ve glikozidik bileşenler içermektedir. Yapılarında bulunan aglycone hidrofobik iken şeker zincirleri ise hidrofildir (Shi vd., 2004). Saponinlerin gıdalarda kullanımı, sahip oldukları acı tattan ve bazı toplumlarda besin değeri olmayan bir bileşen olarak görülmesinden dolayı kısıtlı olabilmektedir. Ancak son yıllarda doğal bileşenlerin gıda formülasyonlarında kullanılmasına yönelik artan ihtiyaçtan dolayı saponin kaynaklarının araştırılarak farklı bitkilerden saponin elde edilmesi yönünde çalışmalar artmaktadır. Yaygın olarak soya, quillaja, çay, yuka bitkisinden elde edilen saponinler yurtdışında kullanılmaktadır. Özellikle alkol içermeyen içeceklerde 250 ppm değerine kadar saponin kullanımı görülebilmektedir. Ülkemizde ise geleneksel ürünlerden olan bazı lokum, helva ve kerebiç gibi tatlıların üretiminde saponin içeriği olarak zengin çöven ekstraktı kullanılmaktadır. Özdikicierler (2010) yaptığı çalışmada çöven ekstraktından püskürtmeli kurutucu ile çöven tozu elde etmiştir. Helva ve lokum üretiminde toz halde çöven kullanımı ile köpük hacminde bir azalma olmadığını ve ürün kalitesinin olumsuz şekilde etkilenmediğini göstermişlerdir. Benzer şekilde, Çam (2010), çalışmasında çöven ekstraktından püskürtmeli kurutucu ile toz ürün elde etmiştir. Çöven tozu kullanılarak elde edilen helvaların (duyusal analiz sonuçlarına göre) çöven ekstraktı kullanılan ürünlerden daha yüksek beğeniye sahip olduğunu bildirmiştir.

Baklagillerin haşlanmasında kullanılan suyun içerisinde değişen miktarlarda karbonhidrat, protein, saponin ve lif bulunabilmektedir. Haşlama sırasında baklagillerden suya geçen bu bileşenler sayesinde baklagil haşlama suyunun önemli fonksiyonel özelliklere sahip olduğu bildirilmektedir. Protein ve saponin köpük oluşumunun sağlanmasında etkili iken liflerin jel oluşumunda etkili olabileceği belirtilmektedir. Beze yapımında nohut ve bezelyeden elde edilen haşlama sularının kullanılması, duyusal analiz testlerine göre yumurta akına benzer değerler elde edilmesini sağlamıştır (Damian vd., 2018, Stantiall vd., 2018). Alsalman vd. (2020) nohut haşlama koşullarının elde edilecek haşlama suyunun kalitesini etkilediğini ortaya koymuştur. Fonksiyonel ve bileşen özellikleri açısından ideal haşlama koşullarını 1.5:3.5 nohut:su oranı ve 60 dk basınçlı pişirme olarak bildirmektedir. Nohut haşlama suyunun önemli ölçüde alerjen özelliği bulunan yumurta akı yerine gıda hazırlamada kullanılabileceği düşünülmektedir. Meurer vd. (2020) nohut haşlama suyuna ultrases uygulaması ile fonksiyonel özelliklerdeki değişimleri incelemiştir. Haşlama suyunun viskozitesinde, köpürme kapasitesinde ve stabilitesinde en yüksek ultrases gücünde artış gözlemlenmiştir. Ultrases uygulanan haşlama suyundan yapılan bezelerin tekstür ve renk özelliklerinin, ultrases uygulanmamış örneklerden hazırlanan bezelerden daha iyi olduğu da gösterilmiştir. Buhl vd. (2019) nohut haşlama

suyunun kuru madde oranını yaklaşık %7-8 olarak bildirmektedir. Kuru maddenin ise çoğunlukla şeker ve liflerden oluşan karbohidratlardan ve albumin proteinlerinden oluştuğunu belirlemişlerdir. Nohut haşlama suyunda bulunan proteinlerin isoelektrik noktasının (4.6) nohut protein izolatlarının isoelektrik noktasına (4.5) yakın olduğu ölçülmüştür. Nohut haşlama suyundan hazırlanan köpüklerin pH 4.5 değerinde stabilitelelerini 1 saat kadar koruyabildiğini gözlemlenmiştir. Nohut haşlama suyundan elde edilen köpüklerin yapısında yumurta akı proteinlerinden hazırlanan köpüklere göre daha fazla su bulunduğunu ancak köpük stabiliteleleri arasında bir fark olmadığını göstermiştir. Özellikle nohut kullanılarak elde edilen haşlama suyu, aquafaba olarak adlandırılmaktadır. Ticari olarak vegan market için mayonez ve tereyağı üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Bazı ünlü Amerikan restoranlarının tariflerinde yer bulmasının yanında toz haline getirilerek satışı ise yine Vör Inc. adında bir Amerikan firması tarafından başlatılmıştır. Türkiye'nin de en önemli üreticileri arasında bulunduğu nohut, doğrudan yemeklik olarak tüketilmesinin yanında konserve, haşlanmış ürünler, dondurulmuş gıdalar, humus gibi ürünlere işlenmekte veya diğer catering firmalarınca kullanılmaktadır. Bu üretim aşamalarında nohutlar haşlanmakta ancak açığa çıkan haşlama suyu herhangi bir şekilde değerlendirilmemektedir. Normalde atık olarak görülen nohut haşlama suyunun değerlendirilmesi önemli ekonomik kazançlar ve gıda uygulamaları için alternatif çözümler üretilmesini sağlama potansiyeline sahiptir (Mustafa ve Reaney, 2020). Nohut haşlama suyunun mikroorganizma gelişimine açık ve kolay bozulabilir bir yapıda olduğu ve nötr değerine yakın pH seviyesi göz önüne alındığında, çeşitli yöntemlerle kurutularak toz haline getirilmesi ve raf ömrünün uzatılması önemlidir. Bu şekilde, nohut haşlama suyu daha taşınabilir hale gelir ve depolama alanında daha az yer kaplar. Aslan & Ertaş (2021), köpük kurutma yöntemini optimize ederek nohut haşlama suyu tozu elde etmişlerdir. Bu optimizasyon sürecinde, kurutmaya yardımcı maddeler olarak karboksimetilselüloz, sodyum aljinat ve polydekstrozun oranları belirlenmiştir. He vd. (2021) ise, 150°C giriş sıcaklığıyla yapılan püskürtmeli kurutma yönteminin diğer yöntemlere göre daha kolay çözünebilirlik ve emülsiyon özelliklerine sahip örnek sağladığını belirlemişlerdir. Silva vd. (2022) ise, 150°C'de yapılan püskürtmeli kurutma yönteminin dondurarak kurutma yöntemine kıyasla daha yüksek kuru madde içeriğine sahip toz ürün sağladığını göstermişlerdir. Ayrıca, 60 mL/saat besleme hızında yapılan püskürtmeli kurutma yönteminin operasyonel kriterler açısından tercih edilebileceği belirtilmiştir.

Çoğu gıda ürünü, köpük yapısını eğer kurutma, pişirme ve dondurma gibi bir işlem uygulanmadysa dakikalar içinde kaybetmektedir (Campbell ve Mougeot, 1999). Köpük yapıdaki gıdaların stabilitesi 3 farklı nedenle azalmaktadır. Yerçekiminin de etkisi ile hava kabarcıkları arasından sıvı fazın sızması ile köpük yapısı bozulabilmektedir. Hava kabarcıklarını çevreleyen film yapısının bozulması ve hava kabarcıklarının birbirleri ile

birleşerek boyutlarının artması nedeniyle yapıdaki havanın kaybı ikinci bir bozulma nedenidir. Küçük boyutlu hava kabarcıklarından büyük boyutlu hava kabarcıklarına difüzyon ile havanın transferi sonucu hava kabarcık sayısının azalması ve yine yapıdaki havanın zamanla kaybı ile köpük yapısı üçüncü bir nedenle de bozulabilmektedir (Ellis ve Lazidis, 2018). Dickinson (2017) köpük stabilitesinin arttırılabilmesi için hava kabarcıklarının etrafında sıkı ve elastik bir yapı oluşturulması gerektiğini belirtmektedir. Bu yapı ile köpük stabilitesini azaltan etkilerin önüne geçilebilmekte veya bu etkilerde azalma sağlanarak köpük yapısı daha uzun süre korunabilmektedir. Gıda üretiminde kullanılan çoğu yüzey aktif maddenin ise yeterli sıklıkta ve elastikiyette bir yapı sağlayamadığı bilinmektedir. Köpük oluşumunda ayrıca hidrokollidlerin kullanılması ile sıvı fazın viskozitesinin arttırılarak köpük stabilitesinde iyileşmeler sağlanabilmektedir (Erçelebi ve İbanoğlu, 2008; Liszka-Skoczylas vd., 2014; Azizpour vd., 2017). Ancak bu durumda yeni bileşenlerin doğru şekilde işlenmesi ve ürün formülasyonundaki değerinin dikkatli bir şekilde ayarlanabilmesi için fazladan çalışmalar gereklidir. Biyolojik kaynaklardan elde edilebilecek katı parçacıkların ise köpük yapımında kullanılması ile hava kabarcıkları etrafında sıkı bir film yapısı oluşturmalarının yanında hava kabarcıkları arasında kalan sıvı fazın sızmasını da yavaşlatabildikleri/engelleyebildikleri ortaya konmuştur. Bu şekilde oluşturulan köpüklerde, emülsiyonlarda olduğu gibi Pickering stabilitesi sağlanabilmektedir.

Pickering stabilitesini sağlayabilecek farklı özelliklerde katı parçacıklar temelde 3 farklı yolla elde edilebilirler. Birinci yolda doğal olarak katı bir halde ve mikro boyutta bulunan parçacıklar, buldukları yapıdan santrifüj veya filtrasyon ile ayrılabilirler. Yukarıdan aşağıya olarak adlandırılabilen ikinci yolda ise homojenizasyon gibi mekanik işlemlerle büyük boyutlu yapılar küçük parçalara ayrılırlar. Moleküler boyutların bir araya getirilerek daha büyük yapıların oluşturulması ise aşağıdan yukarıya olarak bilinen üçüncü yöntemi oluşturmaktadır. Çeşitli hidrokolloidlerden ve proteinlerden aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya yöntemleri ile mikrojeller elde edilerek köpük stabilitesini arttırmada kullanılabilirler. Mikrojuellerin boyutları ile ilgili literatürde net bir fikir birliği bulunmamaktadır. Stokes (2012), 100 µm altındaki parçacıkların mikrojel olarak adlandırılabilceğini ve 0.1 µm altındaki parçacıkların ise nanojel kapsamına gireceğini belirtirken Schmitt vd. (2010) ise 0.1-1 µm arasında olan parçacıkların mikrojel olarak sınıflandırılabilceğini ifade etmektedir. Üretilecek mikrojuellerin sahip olması gereken boyut değerlerini ayarlarken köpük oluşumu için kullanılacak gıdaların duyuşal özelliklerini nasıl etkiledikleri de göz önüne alınmalıdır. Gıda ürünlerindeki katı parçacıkların tüketiciler tarafından duyuşal olarak algılanmaları hem ürün yapısına hem de katı parçacık boyutu ve sertliğine bağlıdır. Dondurma, tereyağı gibi ürünlerde 22-55 µm arasındaki yumuşak parçacıklar tüketiciler tarafından fark edilebilirken bu boyut sert parçacıklar için 10 µm olarak verilmektedir (Burey vd., 2008). Singer ve Dunn (1990) ise 3

μm 'den küçük protein parçacıklarının süspansiyon içerisinde duyuşal olarak algılanmadıklarını belirtmektedir. Yoğurt, peynir ve emülsiyon yapıdaki diğer süt ürünlerinde, peynir altı suyu proteininden elde edilen ve $5 \mu\text{m}$ 'den küçük boyutlara sahip parçacıkların kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu boyuttaki parçacıkların kullanılmasının yanında ürün yapısındaki diğer bileşenler ile nasıl etkileşime girdikleri de duyuşal özellikleri değiştirmektedir (Ipsen, 2017). Farjami ve Madadlou (2017)'ye göre mikrojel üretim yöntemleri, mikrojel üretiminde kullanılan bileşenlerin gıdalara eklenmesini olumsuz etkileyecek değişikliklere neden olmamalı ve mikrojel içerecek gıda ürünlerinin tadında, görünüşünde ve tekstüründe istenmeyen değişimlere sebep vermemelidir. Ayrıca mikrojel üretim yöntemlerinin laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe aktarılmasının da göreceli olarak kolay olması da gereklidir. Mikrojel oluşumu, büyük hacimlerde hazırlanan bir jelin küçük parçalara bölünmesi (yukarıdan aşağıya) şeklinde yapılabileceği gibi önce mikro boyutta parçacık elde edilip daha sonra jelleşme sağlanması (aşağıdan yukarıya) ile de yapılabilir (Burey vd., 2008). Lam vd. (2014) düzgün şekilli olmayan parçacıkların küresel parçacıklara göre daha yüksek köpük stabilitesi sağladığını bildirmektedir. Bu özelliklerin, parçacıkların hava-su ara yüzeyine bağlanmalarının dışında sıvı kısmın yapıdan sızmasını engellemesi açısından da önemli olduğu vurgulanmaktadır. Jel oluşumundan sonra küçük parçalara ayırma işlemi farklı boyutlarda ve düzensiz şekillerde mikrojel oluşumu sağlamaktadır. Özellikle protein süspansiyonlarına önce ısıtma sonrasında soğutma uygulanırken yüksek hızda karıştırma ile bütün hacimde jel oluşumunun engellenerek mikrojel oluşumunun sağlanabileceği bilinmektedir. Mikrojel üretim yöntemlerinde mikrojellerin boyutu ve şekli, jel sertliği ile parçalama şekline bağlıdır (Wolf vd., 2001a; Wolf vd., 2001b). Hidrokolloid ve nişastalardan mikrojel oluşturulması ile bu bileşenlerin olumsuz duyuşal özelliklerinde azalma sağlandığı ortaya konmuştur (Shewan ve Stokes, 2013).

Biyolojik kaynaklardan elde edilecek bileşenler ile mikrojel üretimi ucuz ve kolay ulaşılabilir olmalarından dolayı ilgi çekmektedir. Schmitt vd. (2010), %4 oranında peynir altı suyu protein izolatı süspansiyonunu plakalı ısı değiştiricilerde ısıtıp soğutarak ve bu sıradaki türbülanslı akış ile mikrojel oluşumu sağlamıştır. Mikrofiltrasyon ile konsantre edilen süspansiyonlar püskürtmeli kurutucu ile kurutulmuşlardır. Kuru mikrojellerin rehidrasyonu sonrasında kurutma öncesi mikrojeller ile aynı boyutta ($0,12-0,30 \mu\text{m}$ arasında), şekilde ve çözünürlükte olması için yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi gerektiğini belirtmektedirler. Benzer bir yöntem ile üretilip yine püskürtmeli kurutucu ile elde edilen peynir altı suyu protein mikrojelleri ise rehidrasyon sonrası kurutma öncesi boyutlarına herhangi bir işleme gerek kalmadan dönmüşlerdir (Toro-Sierra vd., 2013). Lazidis vd. (2016), boyutları 10 ve $150 \mu\text{m}$ arasında değişen peynir altı suyu proteini mikrojellerini ısıtma ve soğutma sırasında karıştırma işlemi uygulayarak üretmişlerdir. Mikrojel kullanılarak elde edilen köpükler mikrojel içermeyen

köpüklerden daha yüksek stabilite göstermişlerdir. Ayrıca köpük özellikleri jel oluşumu sırasındaki pH değerinin yanında köpük oluşumu sırasındaki pH değerine de bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Matsumiya ve Murray (2016) soya proteininden elde edilen jellerin su içerisinde parçalanması yöntemi ile mikrojel üretimini gerçekleştirmiştir. Mikrojellerin genel olarak hava-su arayüzeyine bağlanma hızları düşük olduğu için yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin uygulanması ile ideal köpürme özelliklerine sahip mikrojeller elde edilmiştir. Mikrojel varlığı ile üretilen köpüklerin stabilitesi mikrojel içermeyen köpüklere göre arttırılmıştır. Yumurta akı proteinlerinden mikrojel elde edilmesi için öncelikle jel küçük parçalara bölünmüş, su eklenerek hazırlanan jel parçası-su süspansiyonuna yüksek hızlı karıştırma işlemi uygulanmış ve yüksek basınçlı homojenizasyon uygulaması ile 0,36 µm ortalama boyutuna sahip mikrojeller oluşturulmuştur (Li vd., 2020). Bu mikrojellerin kullanılması ile elde edilen köpüklerin Pickering stabilitesine sahip oldukları ancak köpük hacminin yumurta akı proteinlerinden elde edilen köpük hacminden daha az olduğu ölçülmüştür. Saf proteinlerden elde edilen mikrojeller dışında protein-polisakkarit karışımlarından da mikro boyutta parçacıklar elde edilebilmektedir. Protein ve selüloz, nişasta gibi polimer karışımlarından elde edilen kompleks yapıdaki parçacıkların yüksek köpük stabilitesi sağladığı bilinmektedir (Narsimhan ve Xiang, 2018). Oduse vd. (2017), peynir altı suyu proteini konsantresi ve pektin karışımlarından oluşturdukları mikro boyuttaki parçacıklar ile köpük stabilitesini arttırmışlardır. Isıtma-soğutma hızı, karışım oranları ve karıştırma sırası ile farklı boyut ve şekillerde parçacıklar elde edilmiştir. Dickinson ve Izgi (1996), dekstran ile 3 farklı protein (sığır serum albumini, lizozim ve β-kazein) arasında Maillard reaksiyonu sonucunda oluşan kompleks yapıların köpük özelliklerini incelemiştir. Lizozim-dekstan kompleksi oluşumu ile köpük özellikleri gelişirken tam tersi bir etki β-kazein varlığında gözlemlenmiştir. Sığır serum albumi-dekstaran kompleksi ise köpük özelliklerinde önemli bir değişime neden olmamıştır. Daha yüksek moleküler ağırlıklı dekstran ve protein-polisakkarit kompleksi oluşturmada optimum ısıl işlem koşulları sağlanması ile köpük özelliklerinin geliştirilebileceği gösterilmiştir. Protein dışında jel oluşumu sağlayabilen ve yine bitkisel kaynaklardan elde edilebilecek bileşenler de Pickering stabilitesi sağlaması açısından değerlendirilebilir. Yapısında %20-26 protein, %60-66 karbonhidrat, %1-2 lif, %6-9 su ve %2-3 kül bulunan nohut ununun %10-14 arası konsantrasyonda jel oluşturmaya başladığı bildirilmektedir (Kaur ve Singh, 2005). %3 konsantrasyon değerinde nohut unu süspansiyonlarından (mikrojel içermemektedir) oluşturulan köpüklerin 120 dakika sonunda başlangıç hacimlerinin %90'ını koruduğu gözlemlenmiştir. Mikrojel üretilmesinde kullanılacak olan bitkisel kaynakların jel oluşturma özellikleri uygulanacak bazı işlemlerle geliştirilebilmektedir. Bader vd. (2011) yüksek basınçlı homojenizasyon uygulaması ile baklagil proteinlerinin jel oluşturma özelliklerinin ve oluşan jellerin sertliğinin arttığı sonucuna

ulaşmıştır. Ronkart vd. (2010) ise farklı konsantrasyon oranlarında jel oluşturamayan inülin çözeltilerinin yüksek basınçlı homojenizasyon işleminden sonra jel oluşturabildiklerini göstermiştir. Yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi sırasında sıcaklık kontrolünün sağlanması, jel sertliğini azaltan sıcaklık artışını önlediği de belirtilmektedir. Katı parçacık kullanılarak elde edilen köpüklerin Pickering stabilitesi ile yapılarını uzun süre koruyabileceği bilinmektedir. Süre konusunda dikkat çeken iki örnekten birisi Guan ve Zhong (2019) tarafından sodyum kazeinat ile kaplanan montmorillonit parçacıkları kullanılarak üretilen ve hacmini 14 gün boyunca koruyabilen köpük yapısıdır. Diğer örnek ise Ma vd. (2019) tarafından nanolif şeklindeki glcyrrhizic asitten oluşan parçacıkları kullanarak dayanıklı, sıcaklığa karşı duyarlı ve istenilen şeklin verilebileceği yapıdaki köpüktür. %4 oranından fazla glisirizik içeren köpüklerin yapılarını oda sıcaklığında 6 ay boyunca koruyabildikleri bildirilmiştir.

Laporte vd. (2014) gıdalardan oluşturulan köpüklerin çoğunlukla sıvı köpük yapısında (%80 oranından daha az hava içeren) olduğunu ve küçük hava kabarcık boyutu ile yüksek hava oranının köpük stabilitesini arttırdığını bildirmektedir. Endüstriyel ölçeklerde köpük oluşturma işleminde, köpük hacmini ve hava kabarcık boyutunu önemli olarak etkileyen işlem değişkenleri karıştırma şekli, karıştırma hızı ve süresidir (Campbell ve Mougeot, 1999). Planet tipi karıştırıcılar (karıştırıcı başlığı hem kendi eksenini etrafında hem de karıştırma kabı içerisinde belirli bir ekseninde dönmektedir) köpük oluşturmada hem ev hem sanayi ölçeğinde yaygın olarak kullanılan ekipmanlardandır. Planet tipi karıştırıcılar ile köpük oluşumu sırasında köpük hacmi önce artmakta daha sonra ise sabit kalmaktadır. Bu sırada ortamdan sıvı faza hava eklenirken aynı oranda ortama geri hava kaybı gerçekleşmektedir (Delaplace vd., 2012). Politova vd. (2018) ise planet tipi karıştırıcılarda köpük oluşumunun 3 ayrı aşamada tamamlandığını bildirmektedir. Birinci aşamada köpük hacmi yavaş bir şekilde artmaktadır ve bu aşamada kayma oranı ile sıvı hacmi etkilidir. İkinci aşamada hızlı bir şekilde hacim artışı gerçekleşir ve kayma oranının yanında köpürtülen sıvının yüzey gerilim değeri önemlidir. Üçüncü aşamada köpük hacmi değişmemektedir. Bu aşama, özellikle viskozitesi yüksek sıvıların köpürtülmesi sırasında gözlemlenebilir. Planet tipi karıştırıcıların yapıya hava eklenmesinde ve oluşan hava kabarcıklarının boyutunu küçültmeye yarayacak etkili oranlarda kayma oranına sahip olması ile özellikle viskozitesi yüksek sıvıların köpürtülmesi için uygundur. Köpük oluşumu sırasında uzayan karıştırma zamanı sonucu hava kabarcık boyutu daha geniş bir aralığa sahip olmaktadır. 80 μm 'den küçük hava kabarcıkları çıplak göz ile fark edilmezken hava kabarcık boyutunun düşürülmesi tekstür, aroma ve diğer fiziksel özelliklerin olumlu şekilde geliştirilmesi adına önemlidir (Zuniga ve Aguilera, 2008). Jakubczyk ve Niranjana (2006) krema kullanarak oluşturulan köpük yapısının homojen boyut dağılımına sahip küçük hava kabarcıkları içerdiğinde daha stabil olduğunu ve tüketiciler tarafından daha çok kabul edildiğini bildirmektedir. En yüksek köpük hacmine ulaşıldığında köpük stabilitesinin de en yüksek

değere ulaştığını belirtirken karıştırma zamanının 9 dakikadan 12 dakikaya çıkması ile köpük hacminin azaldığını ve hava kabarcıklarının birleşmesi sonucu boyutlarının arttığını ölçmüşlerdir. Kek hamurunun planet tipi karıştırıcı ile köpürtülmesi sırasında hacim ilk birkaç dakika içerisinde hızlıca artmakta ve daha sonra az miktarda bir düşüş ile sabit kalmaktadır. Sabit kalan köpük hacmindeki hava oranının %40-45 arasında olduğu ve yüzey aktif madde eklenmediği durumlarda köpürme işleminin yeterli olmadığı bildirilmektedir. Köpük oluşumunun başlangıcında çapları yaklaşık 5 µm arasında olan çok sayıda hava kabarcığının olduğu, ilerleyen karıştırma zamanı ile hava kabarcık boyutunun büyüdüğü ve sayılarının azaldığı gözlemlenmiştir (Chesterton vd., 2013). Torres vd. (2013) Newtonumsu olmayan guar gam çözeltileri ve Newtonumsu bal çözeltilerinden planet tipi karıştırıcı kullanarak köpük oluşturmuştur. Benzer hava oranı içeriklerinde, Newtonumsu olmayan guar gam çözeltilerinden hazırlanan köpüklerin hava kabarcık boyutları Newtonumsu bal örneklerindeki hava kabarcık boyutunun yaklaşık 2-3 katı olarak ölçülmüştür. Newtonumsu olmayan guar gam örneğine yüzey aktif madde eklendiğinde hava oranı ile hava kabarcık boyutu da artmıştır. Artan karıştırma hızı ile köpük hacmi artarken karıştırma süresi ile köpük hacmi belirli bir değere kadar artıp daha sonra sabit kalmaktadır. En yüksek karıştırma hızında 10 dk karıştırma süresi sonunda Newtonumsu olmayan ve Newtonumsu akışkanlardan benzer hava oranına sahip köpükler elde edilmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Nohut Haşlama Suyu Elde Edilmesi:

Nohut haşlama suyu (NHS) elde edilmesinde Tarım Kredi Kooperatif Birliği tarafından yetiştirilip satışa sunulan Anadolu marka nohutlar kullanılmıştır. NHS üretimi ise Stantiall vd. (2018) çalışmasına göre yapılmıştır. Nohutlar 1:3.3 (nohut:su) oranında 25°C'deki suda 16 saat boyunca ısıtıldıktan sonra fazla su süzülmüş ve 1:1.75 (nohut:su) oranında su ile karıştırılarak 90 dakika boyunca kaynar suda pişirilmiştir. Pişme işleminden sonra süzgeç yardımı ile nohutlar ayrılmış ve NHS elde edilmiştir. NHS özelliklerinin belirlenebilmesi için aşağıdaki analizler yapılmıştır:

3.1.1 Verim analizi: Stantiall vd. (2018) çalışmasına benzer şekilde nohutlardan ne kadar NHS elde edildiğini ifade etmek için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\text{Verim (\%)} = (\text{NHS miktarı (g)} / \text{Islatma öncesi nohut miktarı (g)}) * 100$$

3.1.2 Viskozite analizi: Davis ve Foegeding (2004) ile Villay vd. (2012) çalışmalarından uyarlanarak NHS için viskozite analizi yapılmıştır. Brookfield DV-II Pro marka viskozimetresi ile 1.35 ve 24.5 1/s arasındaki kayma oranı değerlerinde kayma gerilmesi değerleri ölçülmüştür.

3.1.3 Suda çözünür kuru madde analizi: Dijital refraktometre ile NHS içerisindeki suda kuru madde miktarı ölçülmüştür (Cemeroğlu, 2010).

3.2 Nohut Haşlama Suyu Tozu Elde Edilmesi:

NHS üretimi yapıldıktan sonra püskürtmeli kurutma işlemi ile optimum şekilde nohut haşlama suyu tozu (NHST) elde edilmesi hedeflenmiştir. Optimizasyon için cevap-yüzey yöntemi kullanılmış olup Özdikicierler (2010) çalışmasına benzer şekilde istenilen hedefe ulaşma (desirability) fonksiyonu ile ideal kurutma değişkenleri belirlenmiştir. Kurutma değişkenleri olarak hava giriş sıcaklığı (130, 150 ve 170 °C), ürün besleme hızı (4, 6 ve 8 mL/dk) ve hava giriş hızı (80, 90 ve 100 m³/saat) seçilmiştir. Her deneyde, kurutma öncesi 750 mL NHS oda sıcaklığına getirilmiş ve laboratuvar ölçekli püskürtmeli kurutucu ile (LU-222, Labultima, Hindistan) kurutma işlemine tabi tutulmuştur. 0.7 mm çapındaki püskürtücüde yapılan püskürtme işleminde basınç 1.40 kg/cm² olarak ayarlanmıştır. Optimizasyon için kullanılan cevaplar ürün verimi, nem, protein ve saponin içerikleri olarak belirlenmiştir. Elde edilen toz ürünler toplanarak ürün verimliliği aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\text{Ürün Verimliliği (\%)} = \frac{\text{Kurutma sonunda elde edilen toz miktarı (g)}}{\text{Kurutulan örnekteki kuru madde miktarı (g)}} * 100$$

Toz ürünler hava almayacak şekilde cam kavanozlara konarak +4°C'de sıcaklıkta sonraki kullanımlara kadar saklanmıştır.

3.2.1 Nem analizi: NHS ve NHST için başlangıç ağırlıkları ölçülen örneklerin (2-3 g numune miktarı kullanılacaktır) 105 ± 2°C'deki etüvde (MMM Ecocell 111) sabit tartıma gelene kadar bekletilmesiyle gravimetrik olarak nem analizi Stantiall vd. (2018) çalışmasında olduğu gibi AACC 44-15A (AACC, 2000) yöntemi ile yapılmıştır.

3.2.2 Protein Analizi: Örneklerin protein miktarı Aydemir ve Yemenicioğlu (2013) çalışmasından uyarlanarak yapılmıştır. Toplam nitrojen miktarını belirlemek için Kjeldahl yöntemi kullanılarak (Büchi K-350 distilasyon ünitesi ile) 6.25 çevirme faktörü ile toplam protein miktarı g protein/g NHST olarak hesaplanmıştır.

3.2.3 Saponin Analizi: Çam (2010) çalışmasında kullanılan yöntem ile saponin analizi yapılmıştır. Bu yöntemde Soxhlet cihazında petrol eteri ile yağı uzaklaştırılan örnekler %80 ethanol ile karıştırılarak geri soğutucu altında kaynatılarak 1 saat ekstrakte edilmiştir. Rotary evaporatörde konsantre edilen çözelti soğutulduktan sonra aseton damlatılarak saponin çöktürülmüştür. Darası alınmış filtre kağıdından çözeltinin süzülmesinin ardından filtre kağıtları desikatörde kurutulmuştur. Kurutma sonrası ağırlığı ölçülen filtre kağıtları ile yüzde olarak saponin miktarı belirlenmiştir.

3.3 NHST Kullanılarak Jel Elde Edilmesi:

3.3.1 Jel oluşturan en düşük konsantrasyon değeri: Aydemir ve Yemenicioğlu (2013) çalışmasından uyarlanan yöntem ile jel oluşturan en düşük NHST konsantrasyonu belirlenmiştir. NHST'nin saf suda çözdürülmesi ile %10, 15, 20, 25 ve 30 (a:h) oranlarında elde edilecek süspansiyonlar test tüplerine konarak kaynar suda 1 saat boyunca ısıtılıp buzlu su yardımı ile 4°C sıcaklığa kadar soğutulmuşlardır. 4°C'de 1 gece bekletilen örneklerin jel oluşturup oluşturmadıkları tüplerin ters çevrildikten sonra hareket edip etmemelerine göre belirlenmiştir.

3.3.2 NHST süspansiyonlarının yüksek basınçlı homojenizasyon ile işlenmesi: En düşük jel oluşturan konsantrasyon oranındaki NHST süspansiyonu yüksek basınçlı homejenizasyon işleminden geçirilerek özelliklerindeki değişimler belirlenmiştir. Bu amaçla dört farklı basınç değerinde (0 MPa kontrol olarak, 80, 100 ve 120 MPa) ve iki farklı geçiş sayısında (2 ve 4) yüksek basınçlı homojenizasyon (FBF Italia Homolab 2.20) işlemi uygulanmıştır. Bölüm 3.3.1'de uygulanan yöntem ile yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi görmüş örneklerden jel oluşturulmuştur. Yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi gören örneklerin oda sıcaklığında görünür viskoziteleri Brookfield DV-II Pro viskozimetresi ile ölçülmüştür. Alsalman & Ramaswamy (2021) tarafından sunulan literatür verileriyle doğrudan karşılaştırma imkânı sağlaması açısından ölçümler 14 1/s kayma oranı değerinde yapılmıştır. Aynı örneklerin reolojik analizleri ise Raei vd. (2018) ve Ronkart vd. (2010) çalışmalarından uyarlanarak TA DHR Controlled Stress Rheometer ile yapılmıştır. Amplitude (0.01 ve 100 Pa arasında 1 Hz değerinde) ve frequency sweep testleri (0.628 rad/s ve 62.8 rad/s arasında 1 Pa değerinde doğrusal bölge içerisinde) uygulanarak depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') değerleri reometre ile gelen yazılım sayesinde değerlendirilmiştir.

3.3 NHST Kullanarak Mikrojel Süspansiyonları Elde Edilmesi ve Köpük Oluşturulması:

3.3.1 Yukarıdan aşağıya (YA) yöntemi ile mikrojel süspansiyonlarının oluşturulması: Yukarıdan aşağıya yönteminde %20 (a/h) konsantrasyon değerinde NHST örneği hazırlanmış ve 120 MPa – 3 geçiş olmak üzere homojenizasyon işleminden geçirilmiştir. Sonrasında 200 mL hacmindeki örnek 85°C sıcaklıktaki su banyosunda 60 dk bekletilmiş ve buzlu su içerisinde hızlı soğutma sonrası 4°C buzdolabı sıcaklığında jel oluşumu tamamlanmıştır. Elde edilen bu makrojel 600 mL su eklenmesinden sonra vakumlu blenderda (Arzum AR1061 Vacuumix) extrasmoohie seçeneğinde 1 dk parçalanmıştır. Mikrojel oluşumunun tamamlanması için 80, 100 ve 120 MPa basınç değerlerinde 3 geçiş sayısında homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Elde edilen mikrojel süspansiyonu 150°C giriş sıcaklığı, 4 mL besleme hızı ve 100m³/saat hava hızında püskürtmeli kurutma işlemi ile kurutulmuştur.

3.3.2 Aşağıdan yukarıya (AY) yöntemi ile mikrojel süspansiyonlarının oluşturulması: Aşağıdan yukarı yönteminde Bölüm 3.3.1'den farklı olarak örneğin su banyosunda ısıtılması

sırasında mekanik karıştırıcı ile 200 devir/dk hızda karıştırılması basamağını içermiştir. Mekanik karıştırıcının hız değeri ise 250 mL hacmindeki beherler içerisinde yer alan örneklerin istenmeyen şekilde ve zamanda köpürmesini engelleyecek ancak örneğin yüzeyi dahil yeterli şekilde hareket etmesini sağlayacak en yüksek hız olarak ön denemeler ile belirlenmiştir. Hem yukarıdan aşağı hem de aşağıdan yukarı yöntemleri ile elde edilen mikrojenlerin nem oranı Bölüm 3.2.1'e göre yapılmış olup mikrojenlerin parçacık boyutları Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında rehidrasyon hazırlığı yaptırıldıktan sonra lazer difraksiyon yöntemine dayanan Malvern Mastersizer 3000 cihazı ile belirlenmiştir. NHST ve mikrojenlerin morfolojik yapıları ile Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde elektron mikroskobu ile yapılan ölçümler ile incelenmiştir.

3.3.3 Mikrojel Süspansiyonlarından Köpük Elde Edilmesi: YA ve AY yöntemleri ile üretilen mikrojenlerden 100 mL %5 (a/h) oranında (100 mL saf su içerisinde 5 g kuru mikrojenin rehidre edilmesi ile hazırlanmış) örnekler hazırlanmıştır. Arzum AR1068 Gastromix Stand Mixer ile 5 dk boyunca en yüksek hızda köpük oluşumu sağlanmıştır. Elde edilen köpüklerin hacim artışı değerleri Campbell & Mougeot (1999) çalışmasında kullanılan yöntem hesaplanmıştır. Köpük oluşumunda kullanılan sıvı örnek, hacim değeri önceden belirlenen tartım kaplarını tamamen dolduracak şekilde eklenmiş ve ağırlık değeri ölçülmüştür. Köpük elde edilmesinden sonra aynı tartım kapları köpük ile doldurulmuştur. Bu işlem köpük yapısına zarar vermemesi için dikkatli bir şekilde Luck vd. (2002) çalışmasında belirtildiği gibi yapılmıştır. Tartım kaplarına fazladan eklenen köpük bir spatula yardımı ile tartım kabının üst yüzeyinden sıyrılması ile tartım kabı hacminin tamamen köpük ile dolması sağlanmıştır. Köpük ağırlığı ölçüldükten sonra aşağıdaki eşitlik ile hacim artışı (%) değeri hesaplanmıştır:

$$\text{Hacim Artışı (\%)} = \frac{(\text{Tartım kabı hacim değerindeki süspansiyon ağırlığı} - \text{Tartım kabı hacim değerindeki köpük ağırlığı})}{(\text{Tartım kabı hacim değerindeki köpük ağırlığı})}$$

Elde edilen köpük örnekleri içerisindeki hava oranı Campbell ve Mougeot (1999) çalışmasında verilen aşağıdaki eşitlik ile belirlenmiştir:

$$\text{Hava Oranı} = \frac{\text{Hacim Artışı (\%)}}{(\text{Hacim Artışı (\%)} + 100)}$$

Köpük stabilitesi ise Oboroceanu vd. (2014) çalışmasında kullanılan yöntemden uyarılma yapılmıştır. Belirli miktardaki köpük örneğinden zamanla sızan sıvı miktarının ölçülmesi ile köpük stabilitesi hesaplanmıştır. Bu amaçla Buchner hunisi üzerine alınan köpük örneğinin başlangıç ağırlığı ölçülmüştür. Bir mezür üzerine yerleştirilen Buchner hunisinden zamanla mezürde birikecek olan sıvı ağırlığı ölçülmüştür. Köpük yapısının tamamen kaybolduktan sonra mezürde biriken sıvı ağırlığı kaydedilmiş ve köpük kararlılığı aşağıdaki eşitlik ile belirlenmiştir:

$$\text{Köpük Kararlılığı (\%)} = \frac{(\text{Mezür içerisinde biriken sıvı ağırlığı (g)} / \text{Köpük yapısı tamamen kaybolduktan sonra mezür içerisinde biriken sıvı ağırlığı (g)}) * 100}$$

3.3.4 Mikrojel üretim yönteminin ve karıştırma zamanının köpük özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi: Her bir üretim yöntemi (YA ve AY) ile elde edilen mikrojeller ve NHST kullanılarak %5 (a/h) oranında örnekler Bölüm 3.3.3'de açıklandığı gibi hazırlanmıştır. Karıştırma zamanının etkilerinin belirlenebilmesi için her bir örnek 8 ve 10 dk olmak üzere iki farklı sürede köpürtülmüştür. Elde edilen köpük örnekleri üzerinde Bölüm 3.3.3'de açıklanan analizler yapılmıştır.

3.4 Çeşitli Gıda Örneklerinden NHST Kullanarak Köpük Yapıda Ürün Oluşturulması

Köpük oluşturulmasında kullanılmak üzere karamel sosu ve elma gıda örnekleri olarak seçilmiştir. Karamel sosu hazırlığında 100 g toz şeker 195°C yüzey sıcaklığına sahip elektrikli ısıtıcı üzerinde 60 dk boyunca ısıtılarak tamamen eritilmiştir. Erimiş şekere 200 g su eklendikten sonra 25 dk daha ısıtmaya devam edilerek karamel sosu hazırlanmıştır. Yapılan ön denemelerde NHST'nin tamamen çözünebilmesi için karamel sosunun su ile 2:1 (karamel sosu:su) oranında karıştırılıp seyreltilmesi gerektiği belirlenmiştir. Elma örnekleri için Granny Smith cinsi elmalar kullanılmıştır. Kabukları soyulan elmalar blenderda püre haline getirildikten sonra NHST'nin tamamen çözünebilmesi için 1:1 (elma püresi:su) oranında su ile karıştırılmıştır. Hazırlanan gıda örnekleri içerisinde %2.5, 5.0 ve 7.5 (a/a) olacak şekilde NHST çözdürülmüştür. Arzum AR1068 Gastromix Stand Mixer ile 6 dk boyunca en yüksek hızda karıştırma ile köpük örnekleri elde edilmiştir. Köpük örnekleri üzerinde Bölüm 3.3.3'de yapılan analizler dışında hava kabarcık boyutu ölçümü de Allais vd. (2006) ve Thakur vd. (2003) çalışmalarında kullanılan yöntemlerden uyarlanarak yapılmıştır. Her bir denemeden elde edilen köpük içerisinde 5 ayrı noktadan alınan örnekler Olympus CX31 marka ışık mikroskopunda incelenmiştir. Lam üzerine eşit ağırlıkta örnekler tartılacak ve üzerlerine lamel kapatılacaktır. Lam ve lamel kenarlarına yerleştirilecek 1 mm kalınlığındaki metal levha parçaları ile köpük örneklerinin ezilerek boyut değiştirmeleri sınırlanmıştır. Işık mikroskobuna bağlı dijital kamera sayesinde örneklerin resimleri çekilmiştir. Allais vd. (2006) boyut ölçümünde en az 250 hava kabarcığının kullanılması ile istatistiki olarak güvenilir sonuç elde edilebileceğini bildirmektedir. Bu nedenle her bir örnekten 4 resim alınmış ve her resimden 15 adet hava kabarcığı rastgele seçilmiştir. Bu sayede toplam 20 resim üzerinden 300 adet hava kabarcığı ölçümlerde kullanılmıştır. Resimlerin Image J v1.8 (NIH, Bethesda, USA) programı ile analiz edilmesi sonucu aşağıdaki eşitlikler ile hava kabarcık boyutu sonuçları hesaplanmıştır:

$$\text{Hava kabarcığı çapı } (d_i) = (4 \cdot A / \pi)^{0.5}$$

$$\text{Sauter Ortalama Çapı } (D[3,2]) = (\sum n_i \cdot d_i^3) / (\sum n_i \cdot d_i^2)$$

(n_i: Kabarcık sayısı)

$$\text{Göreceli Genişlik } (S) = (D_v(90) - D_v(10)) / D(50)$$

(Dv(90), Dv(50) ve Dv(10) sayılan toplam hava kabarcıklarının sırasıyla %90'ının, %50'sinin ve %10'unun daha küçük çapa sahip olduğu sınır çap değerleridir.)

Hazırlanan gıda köpüklerinin duyusal analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü içerisinde yer alan Duyusal Analiz Laboratuvarında Abdullah vd. (1993) çalışmasına benzer şekilde yapılmıştır. Yaşları 24 ve 55 arasında değişen 4 erkek ve 5 kadın katılımcıdan oluşan paneller ile duyusal değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların köpük yapısı ve köpük özellikleri hakkında bilgi sahibi olmaları için %0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 (a/h) oranlarında NHST içeren örnekler hazırlanmış ve köpük elde edilmiştir. Bu köpükler kullanılarak yapılan eğitimler sonucunda panelistler aşağıda verilen forma göre örnekleri değerlendirmişlerdir:

Size her bir gıda için 3 farklı köpük örneği sunulmaktadır. Aşağıda verilen açıklamaları göz önüne alarak örneklerin köpük özelliklerini 15 puan üzerinden değerlendiriniz:

Renk: 0 (donuk) – 15 (parlak)

Hava Kabarcık Boyutu: 0 (çok büyük) – 15 (çok küçük)

Hava Kabarcık Boyutu Dağılımı: 0 (heterojen) – 15 (homojen)

Kıvam: 0 (zayıf) – 15 (güçlü)

Aroma: 0 (zayıf) – 15 (güçlü)

Tat: 0 (zayıf) – 15 (güçlü)

Ağız Hissi: 0 (zayıf) – 15 (güçlü)

Her bir örneği değerlendirdikten sonra ağızınızı içme suyu ile çalkalayınız.

Katılımınız için teşekkür ederiz.

Yaşınız:

Cinsiyetiniz:

Köpük Özelliği	Örnek No:	Örnek No:	Örnek No:
Renk			
Hava Kabarcık Boyutu			
Hava Kabarcık Boyut Dağılımı			
Kıvam			
Aroma			
Tat			
Ağız Hissi			

3.2.10 İstatiksel Analizler: Bütün denemeler iki tekerrür şeklinde yapılmıştır. Optimizasyon işleminin için Özdikicierler (2010) çalışmasında kullanılan şekilde istenilen hedefe ulaşma (desirability) fonksiyonu yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yaklaşım için cevap olarak kullanılan NHST özelliklerinden nem içeriğinin en düşük seviyede olması istenirken ürün verimi, protein ve saponin değerlerinin en yüksek seviyede olması istenmiştir. Dört cevap özelliği de eşit derecede öneme sahip olacak şekilde analiz işlemleri tamamlanmıştır. Analiz sonucunda istenilen hedefe ulaşma değeri 1'e en yakın olan sonuçtan optimum değerler seçilmiştir. Yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin basınç ve geçiş sayısının etkileri $p < 0,05$

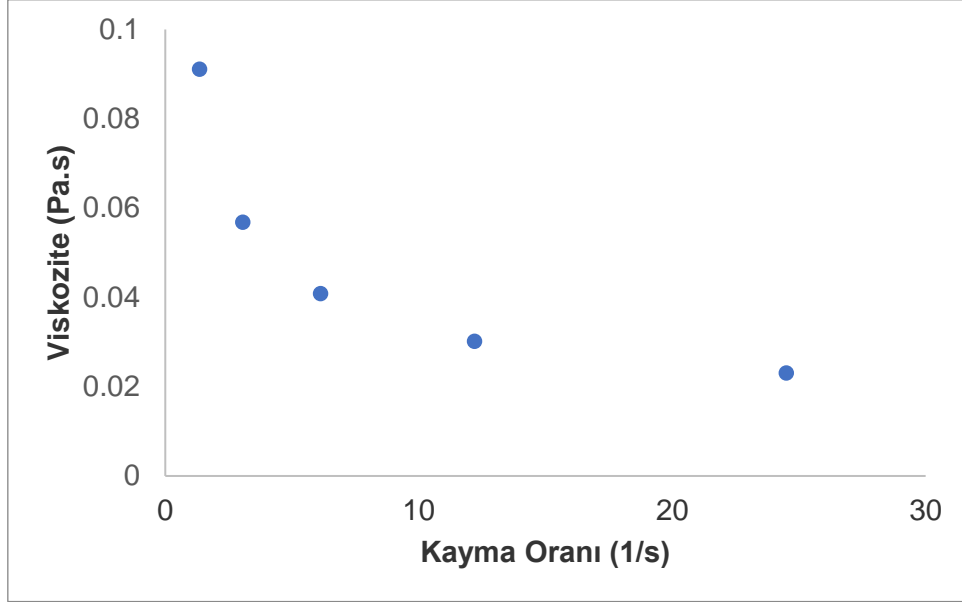
seviyesinde çift yönlü ANOVA testi ve Tukey yöntemi ile belirlenmiştir. Mikrojel üretim yöntemi için homojenizasyon basıncının etkileri $p < 0.05$ fark seviyesinde tek yönlü ANOVA testi ve Tukey yöntemi ile belirlenmiştir. Mikrojel varlığı ve karıştırma süresinin köpük özellikleri üzerindeki etkileri de yine $p < 0,05$ seviyesinde çift yönlü ANOVA testi ve Tukey yöntemi ile belirlenmiştir. NHST oranının gıda örneklerinden elde edilen köpük özellikleri üzerindeki etkileri de $p < 0.05$ fark seviyesinde tek yönlü ANOVA testi ve Tukey yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Nohut Haşlama Suyu Elde Edilmesi:

Yapılan çalışmalarda ilk olarak kuru nohutların ıslatılıp haşlanması ile nohut haşlama suyu elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda nohut ıslatma ve haşlama koşulları Stantiall vd. (2018) çalışmasına dayanılarak gerçekleştirilmiş ve en az 0.5 g nohut haşlama suyu/kuru nohut değerinde nohut haşlama suyu (NHS) elde edilmesi beklenmiştir. Stantiall vd. (2018), kuru nohutların 1:3.3 (nohut:su) oranında 25°C'deki suda 16 saat boyunca ıslatılmasını ve fazla suyu süzülen nohutların 1:1.75 (nohut:su) oranında karıştırılarak 90 dakika boyunca kaynar suda haşlanması ile NHS elde etmiştir. Çalışma detaylarında ısıtma hızı ve haşlanan nohut miktarına ait bir detay belirtilmemiştir. Ön denemelerde ilerleyen zamanlarda yapılacak püskürtmeli kurutma işlemi için yapılacak her bir deneyde yeterli miktarda NHS elde edilebilmesi için her seferinde 2 kg kuru nohutun NHS üretimi için kullanılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle 2 kg kuru nohut 6.6 kg su içerisinde 16 saat boyunca ıslatılmış ve ertesinde 3.5 kg kaynar su içerisinde 90 dk boyunca haşlanmıştır. Haşlama sonrası nohutların kabul edilebilir yumuşaklığa ulaşması ve tencere içindeki sıcaklık değerinin takip edilmesi ile her seferinde haşlanan nohut miktarının ve haşlama koşullarının uygun olduğu belirlenmiştir. Bu koşullar altında yapılan haşlama işlemi sonrasında 0.80 ± 0.06 g NHS/g kuru nohut elde edildiği yapılan verim analizi ile hesaplanmıştır. He vd. (2021) tarafından yapılan derleme çalışmasında farklı haşlama koşulları sonunda 0.6-1.1 g NHS/g kuru nohut aralığında verim değerleri elde edildiği belirtilmektedir. Proje kapsamında elde edilen 0.80 ± 0.06 g NHS/g kuru nohut değeri literatür bilgileriyle uyumlu görünmektedir. Yine He vd. (2021) çalışmasında hazır konserve kutularından elde edilen NHS örneklerinin 4.9-6.4 g kuru madde/100 g NHS değerlerine sahipken laboratuvar koşullarında farklı yöntemler ile hazırlanan NHS'lerin 5.03-7.89 g kuru madde/100 g NHS değerlerine sahip oldukları belirtilmektedir. Proje kapsamında elde edilen NHS örneklerinin 105°C'ye ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmaları ile kuru madde değeri 6.16 ± 0.27 g kuru madde/100 g NHS olarak belirlenmiştir. Ayrıca dijital refraktometre ile suda çözünür kuru madde değeri de 6.68 ± 0.34 olarak ölçülmüştür. NHS örneklerinin akışkan tipi ve viskozite değerleri ise Brookfield DV-II Pro marka

viskozimetre ile belirlenmiştir. Şekil 1’de NHS örneklerine ait viskozite değerlerinin kayma oranı ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 1. NHS örneklerinin viskozite değerlerinin kayma oranı ile değişimi

Artan kayma oranı ile viskozite değerinin değişmesi NHS örneklerinin Newtonumsu olmayan akışkan tipine uyduğunu göstermektedir. Stantiall vd. (2018), NHS için 14.1 1/s kayma oranı değerinde 47 ± 1 mPa.s viskozite değeri ölçerken Meurer vd. (2020) bir kabın NHS örneği tarafından boşaltılması için geçmesi gereken süreyi ölçerek hesapladıkları viskozite değerini ise yaklaşık olarak 39.02 mPa.s olarak vermektedir. Şekil 1’den görüleceği üzere NHS örnekleri bu çalışmalara göreceli olarak düşük olsa da yakın viskozite değerlerine sahiptir. Akışkan tipinin belirlenmesi için Brookfield DV-II Pro ile elde edilen kayma gerilimi ve kayma hızı değerlerine uygulanan regresyon analizi sonuçları Tablo 1’de verilmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre NHS örnekleri R^2 değeri en yüksek olan Herschel-Bulkley modeline uygun görünmektedir. Bu akışkan tipinin değerlerinden olan akış indeksi (n) 0.58, kıvam katsayısı (K) 0.082 Pa.sⁿ ve akma gerilimi (τ_0) 0.02 Pa olarak hesaplanabilmektedir. Ancak NHS örneklerinin akış tipini belirlemek için yapılan deneyler sırasında Brookfield DV-II Pro cihazının kapasitesi nedeni ile kayma oranı aralığı istenilen oranda geniş tutulamamıştır. Bu nedenle akış tipi her ne kadar Herschel-Bulkley modeline uysa da oldukça düşük akma gerilmesi değeri ve Power law modelinin yüksek R^2 değeri de göz önüne alındığında NHS örneklerinin viskozitesi kayma oranı ile azalan Pseudoplastic tipi akışkanlara da örnek olabileceği düşünülebilir. Literatürde verilen diğer araştırmacıların elde ettikleri sonuçlar ile

uyumlu olan verim, viskozite ve kuru madde değerleri proje kapsamında üretilen NHS'nin ortalama özelliklere sahip bir ürün olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. NHS örneklerinin akışkan tipinin belirlenmesi için yapılan regresyon analizi sonuçları (τ : Kayma gerilimi, μ : Viskozite, $\dot{\gamma}$: Kayma oranı, K: Kıvam katsayısı, n: Akış indeksi, τ_0 : Akma gerilmesi)

Akışkan Modeli	Regresyon Eşitliği	R ²
Newtonumsu ($\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$)	$y = 0.0258x$	0.9424
Power Law ($\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$)	$y = 0.5283x - 2.3034$	0.9947
Bingham-Plastic ($\tau = \tau_0 + \mu_{pl} \cdot \dot{\gamma}$)	$y = 0.0188x + 0.119$	0.9897
Herschel-Bulkley ($\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$)	$y = 0.5829x - 2.5065$	0.9975

4.2 Nohut Haşlama Suyu Tozu Elde Edilmesi:

NHS üretimi yapıldıktan sonra püskürtmeli kurutma işlemi ile optimum şekilde nohut haşlama suyu tozu (NHST) elde edilmesi hedeflenmiştir. Optimizasyon için cevap-yüzey yöntemi kullanılmış olup Özdikicierler (2010) çalışmasına benzer şekilde istenilen hedefe ulaşma (desirability) fonksiyonu ile ideal kurutma değişkenleri belirlenmiştir. Kurutma değişkenleri olarak hava giriş sıcaklığı, ürün besleme hızı ve hava giriş hızı seçilmiştir. Cevap olarak nem, protein, saponin içerikleri ve verim değeri belirlenmiştir. Laboratuvar tipi püskürtmeli kurutucularda verim öncelikli bir değer olmasa da daha sonra yapılacak analizler için yeterli ürün elde edilmesi ve projenin ilerleyen dönemleri için gerekli üretim planının daha sağlıklı yapılabilmesi adına verim değeri de optimizasyona dahil edilmiştir. Yapılan deneylerde hava çıkış sıcaklığı en düşük 70-74°C aralığında ölçülürken (130°C hava giriş sıcaklığı, 8 mL/dk besleme hızı ve 90 m³/sa hava giriş hızı kombinasyonu) en yüksek 110-114°C arasında (170°C hava giriş sıcaklığı, 4 mL/dk besleme hızı ve 90 m³/sa hava giriş hızı kombinasyonu) gözlemlenmiştir. Optimizasyon işlemi için Minitab istatistik programı kullanılmış olup optimizasyon ayarları Tablo 2. içerisinde belirtilmektedir.

Tablo 2. Cevap-yüzey yönteminde istenilen hedefe ulaşma (desirability) fonksiyonu için Minitab ayarları

Cevap	Amaç	Alt Sınır	Hedef	Üst Sınır	Ağırlık	Önem
Verim	En Yüksek	29,2241	47,225	-	0,1	1
Saponin	En Yüksek	94,0230	100,887	-	0,1	1
Protein	En Yüksek	19,1910	20,818	-	0,1	1
Nem	En düşük	-	2,110	6	0,1	1

Optimum kurutma ile NHST örneklerinin en yüksek protein ve saponin içeriklerine sahip olması ve en yüksek verimde üretilmesi amaçlanırken nem içeriğinin en düşük olması istenmiştir. Nem içeriğinin en yüksek kuru madde temelinde %6 olmasına izin verilmiştir. Bütün cevapların optimizasyon üzerinde eşit derecede öneme sahip olduğu ayarlanmıştır. Cevapların Minitab tarafından belirlenen hedef değerlerden olabilecek en yüksek veya en düşük değerlere yaklaşabilmesi için 0.1 ve 10 arasında değişen ağırlık değeri 0.1'e sabitlenmiştir. İstatistik hesaplamaları sonucu en yüksek hedefe ulaşma değeri ve bu değeri sağlayacak püskürtmeli kurutucu değişkenleri ile cevapların değerleri Tablo 3. dahilinde verilmektedir.

Tablo 3. Optimizasyon hesaplamalarına göre belirlenen püskürtmeli kurutucu değişkenleri ve tahmini cevap değerleri

	Giriş Çözüm Sıcaklığı	Besleme Hızı	Hava Hızı	Verim Fit	Saponin Fit	Protein Fit	Nem Fit	Hedefe Ulaşma Değeri
1	170.00	4.00	91.71	47.03	97.07	19.69	2.68	0.947379
2	142.13	4.00	93.44	40.02	98.70	19.63	3.07	0.939758
3	131.50	4.00	95.79	37.15	99.27	19.59	2.69	0.935683
4	134.69	4.00	86.55	38.39	98.30	19.63	3.00	0.934055
5	131.33	4.00	85.64	37.80	98.32	19.61	2.98	0.931830
6	131.33	4.00	85.61	37.80	98.32	19.61	2.99	0.931802
7	170.00	5.64	82.04	39.34	96.87	19.74	3.43	0.928774
8	170.00	6.96	85.95	38.25	98.00	19.80	4.29	0.922627

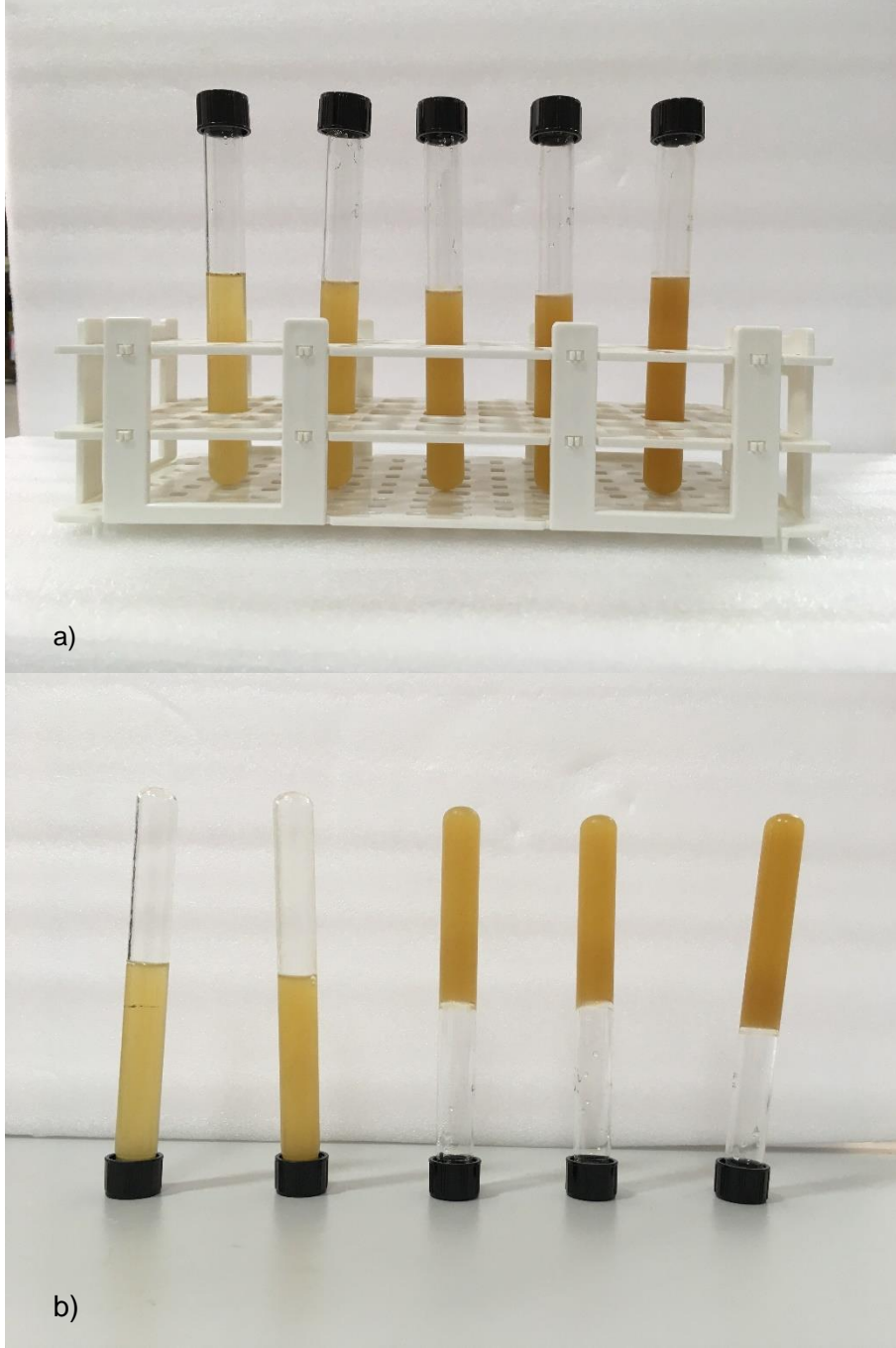
Hesaplanan çözümlerin hedefe ulaşma değerleri birbirlerine oldukça yakın olsa da en yüksek değere (0.947379) sahip birinci çözüm en yüksek verim ve en düşük nem içeriği değerlerine sahip olduğundan 170°C hava giriş sıcaklığı, 4 mL/dk besleme hızı ve 92 m³/sa hava giriş hızı optimum koşullar olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda üretilen NHST üzerinde yapılan analizlerde nem içeriğinin %3-4 arasında değişebildiği, protein ve saponin içeriklerinin sırasıyla 19-20 g/g k.m. ve 95-105 mg/g k.m., verim değerinin ise %45-50 arasında olduğu belirlenerek optimizasyon ile tahmin edilen değerlere yakın oldukları bulunmuştur. NHS'nin kurutularak toz haline getirilmesi ile ilgili literatürde hala az sayıda çalışma bulunmaktadır. Farklı kurutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma He (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Nem içeriği, emülsiyon kapasitesi ve dayanıklılığı, kurutma süresi gibi özellikler açısından en ideal yöntemin püskürtmeli kurutma olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan püskürtmeli kurutma işlemini 150°C hava giriş sıcaklığında yaptıklarını belirtirken diğer değişkenler ile ilgili bir bilgi verilmemiştir. 100 g NHS kullanarak 5.01 ± 0.03 g NHST elde edildiği sonucu da bildirilmektedir. Yapılan çalışmalarda optimum şekilde yapılan kurutma sırasında ise 3.00 g NHST 100 g NHS'den üretilmiştir. Aradaki farkın püskürtmeli kurutucu cihazları, kullanılan nohut cinsi ve elde edilen NHS özellikleri ve püskürtmeli kurutma değişkenlerinden

kaynaklandığı düşünülmektedir. Laboratuvar tipi püskürtmeli kurutma işleminde %50 verim değerine ulaşmanın başarılı bir sonuç olarak kabul edilebileceği bildirilmektedir (Bhandari vd. (1997)). Optimum kurutma koşullarında bu sınır değere yakın üretimler yapılabildiği için projede kullanılacak olan NHST örneklerinin uygun şekilde hazırlanabileceği sonucuna varılmıştır. İçerik açısından literatürde NHST açısından doğrudan bir bilgiye ulaşılamamıştır. He vd. (2021) çalışmasında özetlendiği üzere farklı araştırmacılar tarafından elde edilen NHS örneklerinde 0.5-1.7 g/100 g NHS ve 4.5-5.9 mg/g NHS değerlerinde protein ve saponin bulunmaktadır. NHS örneklerinin 5.03-7.89 g/100 g NHS kuru maddeye sahip oldukları göz önüne alınırsa protein ve saponin içeriklerinin kuru madde temelinde 8.5-34 g ve 76.5-118 mg arasında olabileceği hesaplanmaktadır. Bu nedenle üretilen NHS örneklerinin protein ve saponin içeriklerini koruyarak kurutulabildiği ortaya çıkmaktadır.

4.3 NHST Kullanılarak Jel Elde Edilmesi:

Jel oluşturan en düşük NHST konsantrasyon değeri Aydemir ve Yemenicioğlu (2013) çalışmasından uyarılama yapılarak belirlenmiştir (Şekil 2.). NHST örneklerinin saf suda çözdürülmesiyle %10, 15, 20, 25 ve 30 (a/h) konsantrasyon değerlerinde süspansiyonları hazırlanmıştır. Bu süspansiyonlar 85°C sıcaklıktaki su banyosunda 1.10 cm çapa sahip cam tüpler içerisinde 60 dk boyunca tutulmuşlardır. Isıtma sonrasında buzlu su içerisinde 5 dk soğutulan cam tüpler 4°C sıcaklıktaki buzdolabında 24 saat bekletilmişlerdir. 24 saat sonra tüpler ters çevrilmiş ve tüp içerisinde kapak yönüne doğru düşmeyen örneklerin jelleştiği kabul edilmiştir. Bu durumda Şekil 2.'ye göre %20 (a/h) jel oluşturan en düşük konsantrasyon değeri olarak belirlenmiştir.

En düşük jel oluşturan konsantrasyon değerindeki örneklere yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Homojenizasyon basıncı ve geçiş sayısının bağımsız değişkenler olarak değerlendirilip jel örneklerinin reolojik özellikleri üzerine etkileri çift yönlü Anova testi ile belirlenip Tukey yöntemi ile aradaki farklar değerlendirilmiştir (Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6). Çift yönlü Anova testine göre homojenizasyon basıncı hem depolama hem kayıp modülü üzerinde istatistiki olarak önemli etkiye ($p < 0,05$) sahipken geçiş sayısının önemli bir etkisi yoktur ($p > 0,05$). Basınç ve geçiş sayısı arasında ise yine istatistiki olarak önemli bir etki ($p < 0,05$) yoktur.



Şekil 2. a) Isıtma ve soğutma öncesi NHST süspansiyonları (soldan sağa sırasıyla konsantrasyon değerleri %10, 15, 20, 25, 30), b) Isıtma ve soğutma sonrası NHST süspansiyonları (soldan sağa sırasıyla konsantrasyon değerleri %10, 15, 20, 25, 30)

Tablo 4. Depolama modülü için çift-yönlü Anova analizi sonuçları ve özeti

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
Basınç	3	45380,4	15126,8	141,25	0,000	10,3484	98,16%	96,56%	92,66%
Geçiş Sayısı	1	196,4	196,4	1,83	0,213				
Basınç*Geçiş Sayısı	3	253,2	84,4	0,79	0,534				
Error	8	856,7	107,1						
Total	15	46686,6							

Tablo 5. Kayıp modülü için çift-yönlü Anova analizi sonuçları ve özeti

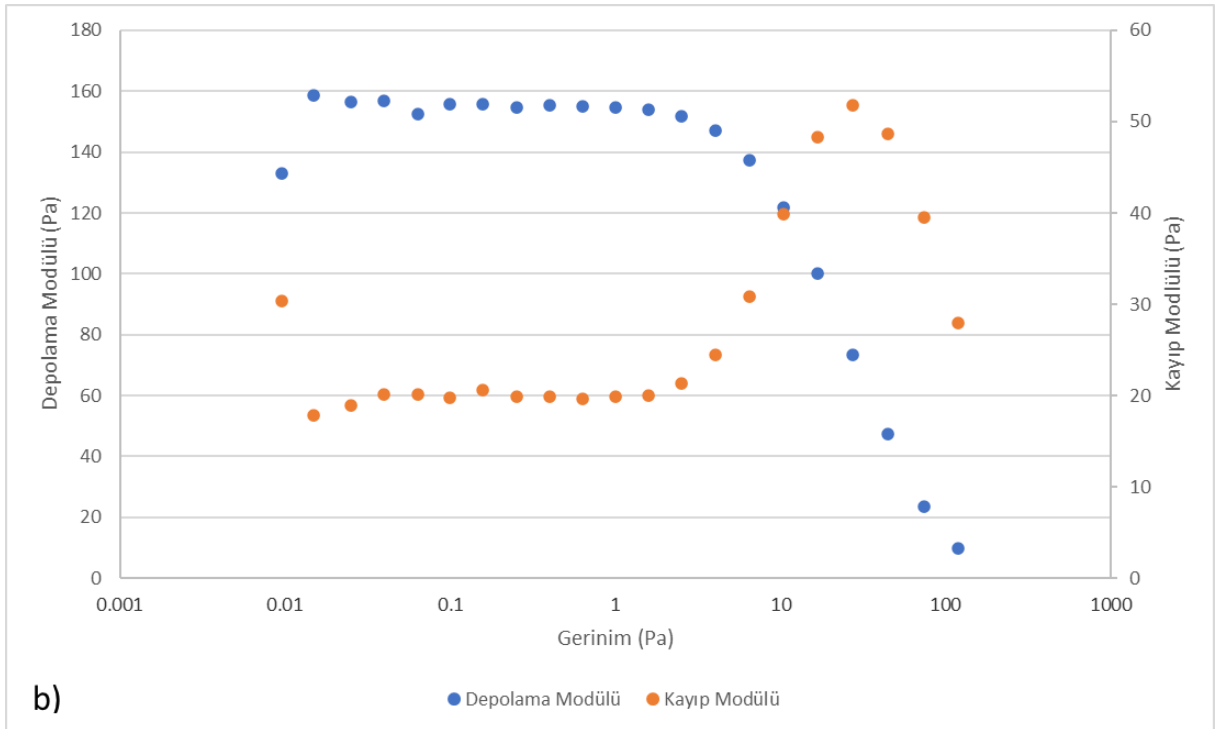
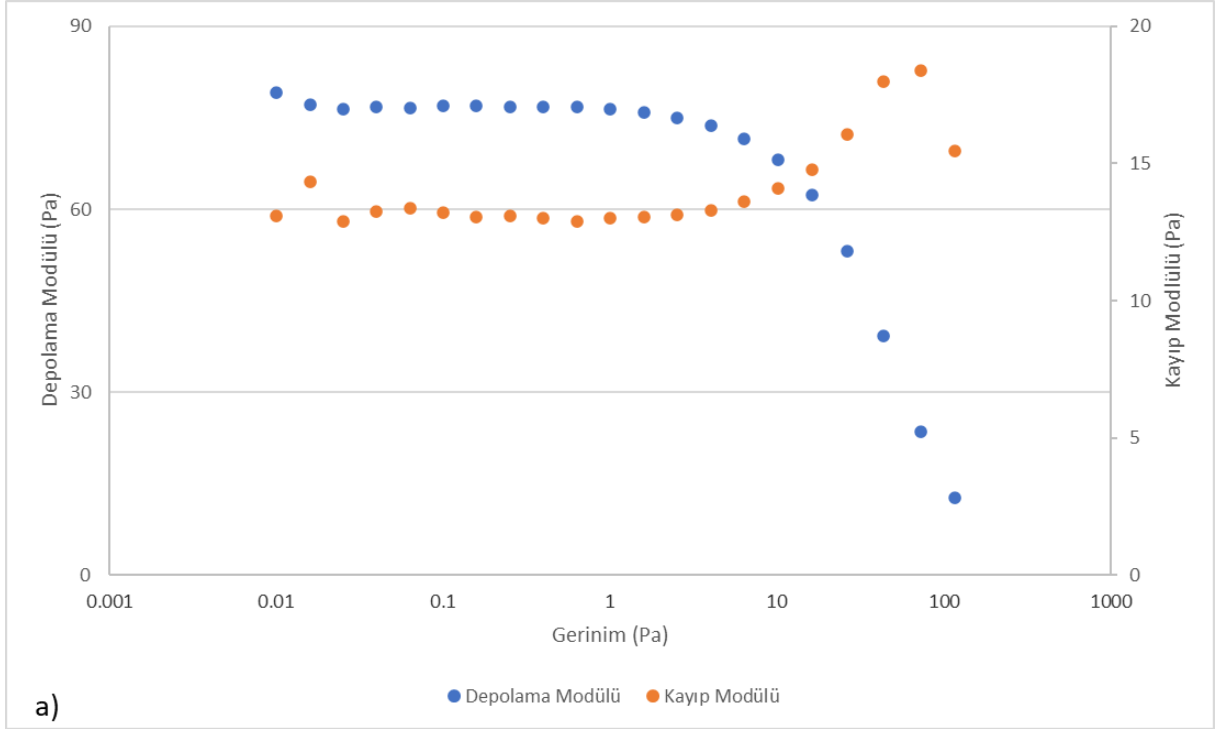
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
Basınç	3	321,267	107,089	51,06	0,000	1,44820	95,19%	90,98%	80,76%
Geçiş Sayısı	1	4,916	4,916	2,34	0,164				
Basınç*Geçiş Sayısı	3	5,923	1,974	0,94	0,465				
Error	8	16,778	2,097						
Total	15	348,884							

Tablo 6. Homojenizasyon Basıncı ve Geçiş Sayısının Jel Örneklerinin Reolojik Özellikleri Üzerine Etkisi (Her bir sütundaki farklı harflere sahip ortalama değerler istatistiki olarak önemli ($p < 0,05$) farka sahiptir.)

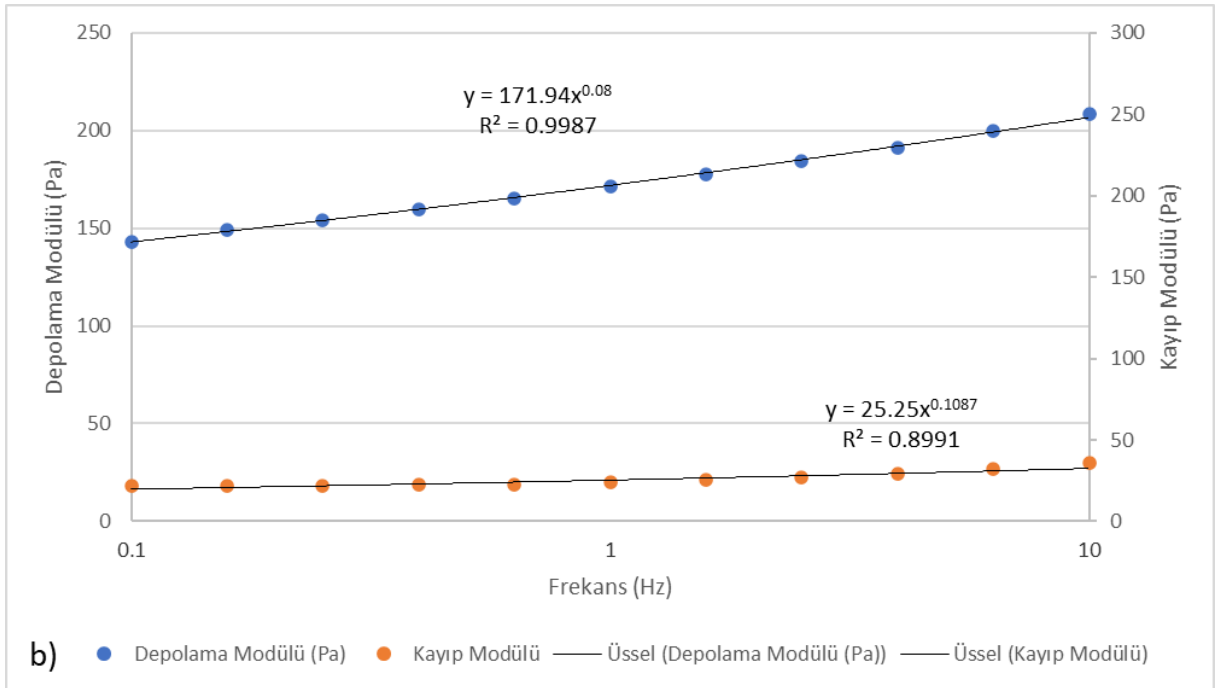
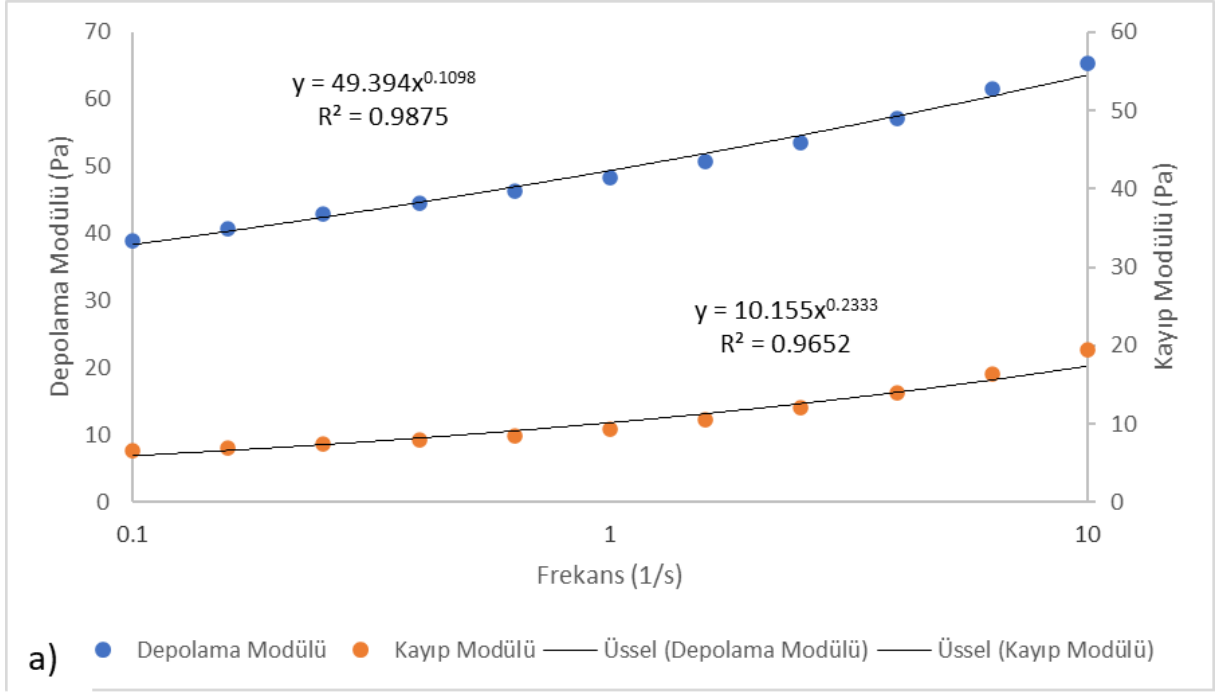
Basınç (MPa)	Geçiş Sayısı	Depolama Modülü (Pa)	Kayıp Modülü (Pa)
0	2	44.41 ^c ± 1.35	10.23 ^d ± 0.90
	4	44.41 ^c ± 1.35	10.23 ^d ± 0.90
80	2	117.31 ^b ± 10.72	17.86 ^{bc} ± 2.04
	4	117.48 ^b ± 13.23	16.42 ^{bc} ± 1.67
100	2	132.61 ^b ± 4.19	15.16 ^{cd} ± 0.71
	4	113.42 ^b ± 18.43	15.12 ^{cd} ± 2.43
120	2	199.44 ^a ± 12.23	24.21 ^a ± 0.81
	4	190.43 ^a ± 7.53	21.25 ^{ab} ± 1.07

Homojenizasyon işlemi uygulanmamış %20 (a/h) konsantrasyon değerine sahip örneklerden elde edilen jeller sırasıyla ortalama $44,41 \pm 1,35$ Pa ve $10,23 \pm 0,90$ Pa depolama ve kayıp modülleri değerine sahip olmuşlardır. Tablo 6'ya göre en yüksek depolama modülü değerine ($199,44 \pm 12,23$ Pa) 120 MPa ve 2 geçiş sayısı ile uygulanan homojenizasyon işlemi ile ulaşılmıştır. Bu değer 120 MPa ve 4 geçiş sayısına sahip işlemin sağladığı $190,43 \pm 7,53$ Pa değerinden istatistiki olarak önemli bir farka sahip olmasa da ortalama olarak daha yüksek bir değer olması ve daha az geçiş sayısı ile daha kolay üretime imkân vermesi açısından projenin geri kalan kısmında jel örnekleri 120 MPa ve 2 geçiş sayısı ile üretilecektir. Genel anlamda bir örneğin jel olarak değerlendirilebilmesi için depolama modülü değerinin kayıp modülünden daha yüksek olması gereklidir. Çoğunlukla depolama modülünün yüksek değerlere sahip

olması güçlü jel yapısına işaret etse de Klost & Drusch (2019) çalışmalarında güçlü bir jel yapısından depolama modülünün kayıp modülünün en az 10 katı veya daha fazlası olduğu durumlarda karşılaşıldığını göstermektedir. Tablo 6'da yer alan veriler değerlendirildiğinde homojenize edilmemiş örneklerde depolama modülü/kayıp modülü oranı 4 civarı iken artan homojenizasyon basıncı ile bu oran 8 civarına ulaşmaktadır. Tam anlamıyla güçlü jel yapısını tanımlamasa da yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi ile jel yapısının geliştiği sonucu görülmektedir. Ronkart vd. (2010) çalışmalarında benzer sonuçları inülin örneklerine uyguladıkları yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi ile göstermektedir. Jelleşmenin özellikle homojenizasyon ile azalan parçacık boyutu sonucu parçacıklar ve su arasında artan etkileşimin sonucu olduğu belirtilmektedir. Ayrıca homojenizasyon işlemi sırasında sıcaklık kontrolü sağlanmadığı durumlarda inülin-su etkileşimi üzerinde etkili olup jelleşme sağlayan bileşenlerin kısmi olarak çözünmesinin jel kuvvetinde zayıflamaya neden olduğunu bildirmektedir. Uygulanan homojenizasyon işlemlerinde artan geçiş sayısı ile örnek sıcaklıklarının arttığı (basınç seviyesine göre 30-35°C kadar artış olabilmektedir) gözlemlenmiştir. Tablo 6. incelendiğinde aynı basınç seviyesinde artan geçiş sayısı ile depolama modülünde azalma yani jel yapısında göreceli zayıflama olduğu görülebilmektedir. 80 MPa değerinde bu etki net değilken artan basınç seviyesi ile örnekler geçiş sayısının da artması ile daha da ısınmakta ve depolama modülünde azalma olmaktadır. Tablo 6'da yer alan depolama modülü ve kayıp değerleri gerinim taraması yapıp modül değerlerinin gerinimden bağımsız olarak olduğu bölgede frekans taraması sonucunda elde edilmiştir. Literatürde yer alan çoğu çalışmada olduğu gibi verilen değerler 1 Hz frekansta ölçülen modül değerleridir. Şekil 3 ve 4'te homojenize edilmemiş ve 120 MPa – 2 geçiş sayısı ile homojenize edilmiş örneklerden elde edilen jellere ait gerinim ve frekans taramasına ait grafikler verilmektedir. Örnek olarak verilen bu grafiklere benzer şekilde sonuçlar diğer örnekler için de elde edilmiştir. Çoğunlukla 10 Pa değerine kadar modül değerleri gerinimden bağımsız olmaktadır. Bu aralık içerisinde uygulanan frekans taraması sonuçları ise Tablo 6'da verilen değerlerin elde edilmesini sağlamıştır. Raei vd. (2018) çalışmasında olduğu gibi frekans taraması sonuçlarına Power-law modeli uygulanması ile depolama/kayıp modülü ve frekans değerleri arasındaki ilişki modellenabilmektedir. Bu sayede 1 Hz dışındaki frekans değerlerinde de depolama ve kayıp modülleri arasındaki ilişkiler ile bu değerlerin frekansa ne kadar bağımlı oldukları belirlenebilmektedir. Örnek olarak verilen grafikler üzerindeki regresyon değerlerinden homojenize edilmemiş örnek için depolama modülü/kayıp modülü oranının 3,98-5,3 arasında değişirken 120 MPa – 2 geçiş sayısı ile homojenize edilen örneğin depolama modülü/kayıp modülü oranının 7,27 civarında olduğu hesaplanabilmektedir.



Şekil 3. a) Homojenize edilmemiş ve b) 120 MPa – 2 geçiş sayısı ile homojenize edilmiş örneklerden elde edilen jellere uygulanan gerinim taraması



Şekil 4. a) Homojenize edilmemiş ve b) 120 MPa – 2 geçiş sayısı ile homojenize edilmiş örneklerden elde edilen jellere uygulanan frekans taraması

Raei vd. (2018) çalışmasında kullanılan peynir altı suyu proteini ve peçtin karışımı jellerine göre modül değerlerinin frekans bağımlılığı ise göreceli olarak daha yüksektir. Literatürde yüksek basınçlı homojenizasyon işleminin nohut haşlama suyu ve elde edilebilecek jelleri üzerinde etkisine dair başka bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Ancak Alsalman & Ramaswamy (2021) statik yüksek basınç uygulamasının nohut haşlama suyuna etkilerini

ortaya koymuştur. Statik yüksek basınç uygulanmamış ve 227 MPa ile 573 MPa arasında değişen basınçlarda 15 dk tutulan örneklerden elde edilen jel yapılarının depolama modül değerleri 200 ve 2000 Pa arasında değişirken kayıp modülü değerleri 100-500 Pa arasında değişmiştir. Çalışmalarda elde edilen değerler ile Alsaman & Ramaswamy (2021) bildirdiği değerler arasında bariz bir fark bulunmaktadır. Uygulanan yüksek basınç işlemleri ve basınç seviyeleri arasındaki farklar işlem görmüş örnekler arasındaki farkı açıklayabilir. Ancak işlem görmemiş ve yine %20 (a/h) konsantrasyon değerine sahip örnekler arasındaki fark ise Alsaman & Ramaswamy (2021) çalışmasında kullanılan farklı nohut türü ve nohut haşlama suyu üretimi için düdüklü tencere ile basınç altında yapılan işlemde kaynaklı olabilir. Düdüklü tencere ile pişirme sırasında nohut haşlama suyuna özellikle karbonhidrat temelli bileşenlerin bu projede kullanılan pişirme yöntemine göre daha yüksek miktarlarda geçmesi sağlanmış olabilir. Homojenize edilmemiş ve homojenizasyon işlemine tabi tutulan %20 (a/h) konsantrasyonundaki örneklerin viskozite ölçümleri Brookfield DV-II Pro viskozimetresi ile 14.1 1/s kayma oranı değerinde ölçülmüştür (Tablo 7.). Seçilen bu kayma oranı değerinde hem tüm örnekler için cihaz limitleri dahilinde ölçüm alınabilmıştır hem de Alsaman & Ramaswamy (2021) çalışması ile karşılaştırma yapılabilmıştır. Uygulanan yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi ile örneklerin viskozite değerleri en az 10 kat artmıştır. Jel özelliklerinde olduğu gibi basıncın viskozite üzerindeki etkisi istatistiki olarak önemli iken ($p < 0,05$) geçiş sayısının etkisi önemsizdir ($p > 0,05$). Basınç ve geçiş sayısı arasında ise yine önemli bir etkileşim bulunmamaktadır ($p > 0,05$). Bu çalışmada elde edilen viskozite değerleri Alsaman & Ramaswamy (2021) çalışmasında %20 (a/h) konsantrasyon değerine sahip ve 400 MPa seviyesinde 15 dk statik yüksek basınç uygulanmış örneğin viskozite değeri olan 20 Pa.s değerinden düşüktür. Çalışılan örneklerin viskozite değerlerine daha çok karbonhidrat temelindeki bileşenlerin katkı sağladığı düşünülürse pişirme işlemi arasındaki farkın bu sonuçlara yol açtığı kabul edilebilir.

Tablo 7. Homojenizasyon Basıncı ve Geçiş Sayısının %20 (a/h) Konsantrasyon Değerindeki Örneklerin Viskozite Değerleri (14.1 1/s kayma oranı değerinde) Üzerine Etkisi (Her bir sütundaki farklı harflere sahip ortalama değerler istatistiki olarak önemli ($p < 0,05$) farka sahiptir.)

Basınç (MPa)	Geçiş Sayısı	Viskozite (Pa.s)
0	2	0.01680 ^c ± 0.00085
	4	0.01680 ^c ± 0.00085
80	2	0.15585 ^{bc} ± 0.00488
	4	0.26120 ^p ± 0.00552
100	2	0.19990 ^p ± 0.00028
	4	0.19250 ^p ± 0.00884
120	2	0.93850 ^a ± 0.08980
	4	0.81460 ^a ± 0.04412

Homojenizasyon sonrası beklenen parçacık boyutundaki azalma ve bu etki nedeni ile doğal hali ile jel oluşturmayan veya zayıf jel oluşturan örneklerin daha güçlü jel oluşturması dolaylı olarak doğrulanabilmiştir. Projenin gerçekleştirildiği Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi bünyesinde hazırlanan örneklerin parçacık boyutu ölçümü yapılamadığı ve örneklerin başka kuruma sıvı halde yollanması sırasında parçacık boyutunda değişimlerin ve örneklerin bozulması riski nedeni ile daha sağlıklı bir parçacık boyutu ölçümü yapılamamıştır. Yukarıda açıklanan sonuçlar ışığında NHST kullanılarak hazırlanan %20 (a/h) konsantrasyon değerindeki örneklere 120 MPa ve 2 geçiş olarak uygulanan yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi ile belirlenen değişkenler arasında en iyi jelin hazırlanabileceği belirlenmiştir.

Tablo 8'de iki farklı mikrojel üretim yöntemi ile elde edilen ve püskürtmeli kurutma ile kurutulan mikrojellerin nem oranı verilmektedir. Her iki mikrojel üretim yöntemi için homojenizasyon basıncının istatistiki olarak ($p < 0,05$) önemli bir etkisi olmamıştır. Elde edilen bütün mikrojellerin kuru madde temelinde nem oranları %6 değerinden daha düşüktür ve kuru örnek olarak saklanabilmeleri ve sonrasında kullanılmaları açısından uygun olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 8. Mikrojel nem oranları (Her bir sütündeki farklı harflere sahip ortalama değerler istatistiki olarak önemli ($p < 0,05$) farka sahiptir.)

Homojenizasyon İşlemi (3 geçiş)	Yukarıdan Aşağıya Yöntemi ile Üretilmiş Mikrojeller	Aşağıdan Yukarı Yöntemi ile Üretilmiş Mikrojeller
80 MPa	3.86 ^a ± 0.25	4.71 ^a ± 0.72
100 MPa	3.54 ^a ± 0.75	3.67 ^a ± 1.02
120 MPa	4.40 ^a ± 0.81	2.68 ^a ± 0.02

Lazer difraksiyon yöntemine dayanan Malvern Mastersizer 3000 cihazı ile elde edilen sonuçlar Tablo 9 ve 10'da gösterilmektedir. Tablolarda D[3,2] olarak verilen değer parçacıkların yüzey alanı üzerinden hesaplanan çap değeri iken D[4,3] ise parçacıkların hacimlerine dayanarak belirlenen çap değeridir. Lazer difraksiyonu ile parçacık boyutu ölçüldüğünde D[3,2] değeri küçük boyutlu parçacıkların varlığından etkilenip birden fazla farklı boyutlu parçacıklardan oluşan örneklerde D[4,3] değerinden daha küçük bir değere sahip olmaktadır. D[4,3] ise göreceli olarak daha büyük boyutlu parçacıkların varlığından etkilenmektedir (Sarkar vd., 2016). Sarkar vd. (2016) çalışmalarında peynir altı suyu proteini kullanarak ve 25 MPa - 2 geçiş olarak uyguladıkları homojenizasyon sonrası mikrojel üretmişlerdir. Parçacık boyutu ölçümlerinde santrifüj işlemine tabi tutmadıkları örneklerde D[4,3] değeri 17 µm olarak ölçülmüştür. Ancak 3000 devir/dk ve 20 dakikalık santrifüj sonrası örneklerdeki büyük parçacıklar ayrılmış ve D[3,2] değeri 0,3 µm olarak verilmiştir. Yapılan ölçümlerden önce herhangi bir santrifüj ve ayırma işlemi yapılmamıştır. Manyetik karıştırıcı ile rehidre edilen örnekler cihazın güvenilir şekilde sonuç verebileceği aralığa kadar seyreltilmiş ve ölçümler alınmıştır.

Tablo 9. Yukarıdan aşağıya yöntemi ile üretilen mikrojellerin parçacık boyutu ölçüm sonuçları

Homojenizasyon İşlemi	D[3,2] (µm)	D[4,3] (µm)	Dv(10) (µm)	Dv(50) (µm)	Dv(90) (µm)
80 MPa – 3 geçiş	13,15 ± 1,48	18,25 ± 1,77	7,89 ± 0,62	17,35 ± 1,63	30,05 ± 3,32
100 MPa – 3 geçiş	12,40 ± 2,26	16,10 ± 1,27	7,93 ± 1,58	15,40 ± 1,13	25,50 ± 1,27
120 MPa – 3 geçiş	6,02 ± 5,19	14,00 ± 0,85	3,43 ± 2,44	13,60 ± 0,57	24,20 ± 0,57

Tablo 10. Aşağıdan yukarıya yöntemi ile üretilen mikrojellerin parçacık boyutu ölçüm sonuçları

Homojenizasyon İşlemi	D[3,2] (µm)	D[4,3] (µm)	Dv(10) (µm)	Dv(50) (µm)	Dv(90) (µm)
80 MPa – 3 geçiş	6,74 ± 5,61	14,35 ± 2,19	4,45 ± 2,96	13,80 ± 2,12	24,95 ± 1,63
100 MPa – 3 geçiş	6,87 ± 7,68	13,70 ± 3,96	4,20 ± 5,40	12,90 ± 3,96	24,45 ± 2,62
120 MPa – 3 geçiş	13,05 ± 0,49	17,85 ± 1,77	8,23 ± 0,08	16,95 ± 1,63	28,95 ± 3,61

Sarkar vd. (2016) çalışmasında ayrıca hazırlanan mikrojel örneklerinde agregasyon sonucu parçacık boyutlarında büyüme olabileceğini belirtmektedir. Mikrojel arasında böyle bir etkinin olduğu yine peynir altı suyu kullanarak mikrojel üreten ve sonrasında püskürtmeli kurutucu ile üretimi tamamlayan Schmitt vd. (2010) tarafından da vurgulanmıştır. Kurutma öncesi ortalama 0,136 µm çapında olan mikrojeller rehidrasyon sonrasında 25 MPa basınç seviyesindeki homojenizasyon işlemi ile 0,142 µm çap değerlerine inebilmiştir. Literatür incelendiğinde bezelye proteininden 25 MPa – 2 geçiş homojenizasyon işlemi ile 0,2-0,4 µm boyutunda (Zhang vd., 2020), soya proteininden 30 MPa basınç değerinde homojenizasyon sonrasında 0,4-0,6 µm boyutlarında (Benetti vd., 2019), yine soya proteininden 50 MPa – 2 geçiş homojenizasyon işlemi ile 0,25 µm boyutlarında (Guo vd., 2016), pektin kullanılarak ise 40 MPa homojenizasyon işlemi ile 0,1 µm boyutlarında (Saavedra Isusi vd., 2020) mikrojeller elde edilebildiği görülmektedir. Çalışmalarda uygulanan 80, 100 ve 120 MPa ve her bir basınç seviyesi için 3 geçiş olarak uygulanan homojenizasyon işleminin farklı yapıda bir kaynak olsa da Tablo 9 ve 10'da verilen değerlerden daha küçük boyutlu mikrojel oluşturabileceği düşünülmektedir. Ancak sonrasındaki kurutma işleminin muhtemelen agregasyona neden olduğu ve rehidrasyon koşullarının bu durumu tersine çeviremediği düşünülmektedir. Şekil 5'te parçacık boyutu ölçümleri sonucu elde edilen ham veriler ve grafikler yer almaktadır. Aşağıdan yukarı yöntemi ve 100 MPa – 3 geçiş homojenizasyon işlemi ile elde edilen mikrojellere ait bu verilerde D[3,2] değeri 1,44 µm olarak verilmekte ve grafik üzerinde 1 µm altında ayrı bir tepe noktası görülmektedir. Benzer sonuçlar Şekil 6'da yukarıdan aşağı yöntemi ve 120 MPa – 3

geçiş homojenizasyon işlemi ile üretilen mikrojeller için de görülebilir. Buradan yola çıkılarak kuru mikrojellerin rehidrasyonu sırasında uygulanabilecek işlemler ile muhtemel agregasyona uğramış örneklerin tekrar küçük boyutlu hallerine döndürülebileceği düşünülmektedir.

Hazırlanmış olan mikrojellerin parçacık boyutları 1 µm altında olmamasına rağmen bu örneklerden köpük üretimi yapılmıştır. 100 mL %5 mikrojel (100 mL örnek içerisinde 5 g kuru mikrojinin rehidre edilmiş halleri bulunmaktadır) içeren örneklerden Arzum AR1068 Gastromix Stand Mixer kullanarak köpük hazırlanmıştır. Hazırlanan köpüklerin hacim artışı, hava oranı ve zaman köpüklerden sızan sıvı miktarları ölçülmüştür (Tablo 11 ve 12).

Tablo 11. Yukarıdan aşağıya yöntemi ile üretilen mikrojellerin köpük analizi sonuçları

Homojenizasyon İşlemi	Hacim Artışı (%)	Hava Oranı	Sızan Sıvı Miktarı (%)
80 MPa – 3 geçiş	780,48 ^a ± 37,08	0,89 ^a ± 0,005	70,98 ^b ± 2,68
100 MPa – 3 geçiş	812,53 ^a ± 52,37	0,89 ^a ± 0,006	95,64 ^a ± 1,30
120 MPa – 3 geçiş	740,70 ^a ± 57,80	0,88 ^a ± 0,008	41,05 ^c ± 1,10

Tablo 12. Aşağıdan yukarıya yöntemi ile üretilen mikrojellerin köpük analizi sonuçları

Homojenizasyon İşlemi	Hacim Artışı (%)	Hava Oranı	Sızan Sıvı Miktarı (%)
80 MPa – 3 geçiş	812,93 ^a ± 5,30	0,89 ^a ± 0,00055	50,60 ^a ± 2,91
100 MPa – 3 geçiş	820,45 ^a ± 12,31	0,89 ^a ± 0,00161	69,43 ^a ± 5,69
120 MPa – 3 geçiş	795,90 ^a ± 3,00	0,89 ^a ± 0,00011	75,61 ^a ± 9,87

Hazırlanan köpüklerin hacim artışı ve hava oranı değerlerinin mikrojel üretimi sırasında uygulanan homojenizasyon basıncından etkilenmediği ve aralarında istatistiki olarak bir fark bulunmadığı ortaya konmuştur. Elde edilen hacim artışı oranlarının Meurer vd. (2020) çalışmasında elde edilen sonuçlara (%259 değerinde hacim artışı) göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Meurer vd. (2020) ultrases uygulaması ile köpüklerin hacim artışı değerlerinin %529'a kadar çıkabildiğini belirtmektedir. Aynı çalışmada köpürtülen yumurta akı proteinlerinden elde edilen köpükler ise %600 civarında hacim artışı göstermiştir. Meurer vd. (2020) çalışmasında köpürtülen örneklerin kuru madde oranlarına dair bilgi verilmese de benzer haşlama yöntemi uygulandığından NHS kuru madde oranının %6-7 civarında olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle benzer kuru madde oranlarına sahip örneklerin yine benzer yapıda karıştırıcılar ile köpürtülmesi sonucunda göreceli olarak büyük çaplı mikrojellere rağmen daha iyi hacim artışına sahip köpüklerin elde edilebildiği söylenebilir. Ellis & Lazidis (2018) tarafından belirtildiği üzere 0.80 üzerinde hava oranına sahip köpükler kuru köpük yapısında yani yüksek hava oranına sahiptir. Elde edilen köpük örneklerinin hava oranı 0.88 – 0.90 arasında değişmekte ve kuru köpük yapısında oldukları anlaşılmaktadır. Elde edilen

köpüklerin stabilitesi zamanla köpük yapısından sızan sıvı miktarının ölçülmesi ile belirlenmiştir. Başarı ölçütü olarak köpük örneklerinin yapısındaki toplam sıvının %50'sinin sızması en az 1 saat olmalıdır şeklinde belirlenmiştir. Bu başarı ölçütünü ise sadece yukarıdan aşağıya yöntemi ve 120 MPa – 3 geçiş homojenizasyon işlemi ile elde edilen mikrojellerin ve aşağıdan yukarı yöntemi ve 80 MPa – 3 geçiş homojenizasyon işleminden üretilen mikrojellerin sağlayabildiği görülmektedir. Beklenenden daha büyük parçacık boyutuna sahip mikrojellerden köpük hazırlanmasının bu sonuçlara neden olduğu düşünülmektedir. Soya proteini kullanarak ve 24 MPa homojenizasyon işlemi ile çapları 4,2 ve 28,9 µm arasında değişen mikrojeller elde eden Matsumiya & Murray (2016) bu örneklerden %5 konsantrasyon değerinde süspansiyonlar hazırlamış ve köpürme sonrasında köpüklerin yarılanma ömürlerinin 6 dakika civarı olduğunu belirtmiştir. Göreceli olarak büyük çaplı mikrojellerin köpük stabilitesini üst seviyelere çekmekte zorlandıkları bu çalışmanın sonucuna göre belirtilebilir. Ayrıca bu çalışmada uygulanan işlem basamaklarına göre parçacık boyutunun neden büyük olduğuna dair bir açıklama ise bulunmamaktadır. Sızan sıvı miktarına göre köpük stabilitesinin belirlendiği Ferreira vd. (1995) çalışmasında 60 dk sonunda %10 konsantrasyon değerine sahip 12 protein örneğinden taze yumurta akı ve 80:20 ile 50:50 oranlarında yumurta akı:peynir altı suyu proteini karışımlarının %50 ve daha altında sıvı sızdığını belirtmektedir. Benzer şekilde Yang vd. (2009) çalışmalarında 10 farklı karışım oranına sahip yine %10 konsantrasyon değerindeki yumurta akı ve peynir altı suyu proteinlerinden 5 tanesinin 60 dakikadan uzun sürede yapılarındaki sıvının yarısını sızdığını bildirmektedir. Meurer vd. (2020) NHS ve yumurta akı proteininden elde ettiği köpüklerin 20 dakika sonunda yapılarındaki sıvının %30-60'ını sızdıklarını ölçmüştür. Bu verilere göre hazırlanan köpük örneklerinin daha yüksek konsantrasyon değerlerine sahip protein örnekleri ile benzer ve aynı konsantrasyon değerlerine sahip örneklere göre ise daha iyi köpük stabilitesi sağlayabileceği görülmektedir.

İki farklı yöntemle elde edilen mikrojellerin doğrudan NHST ile köpük özellikleri açısından karşılaştırılması ve karıştırma süresinin etkilerinin belirlenmesi için yukarıda açıklanan koşullara benzer şekilde çalışmalar yapılmıştır. Tablo 13.'te örneklerden elde edilen köpük yapılarının hacim artışı, hava oranı ve köpük hazırlanmasından sonraki 1 saatte sızan sıvı miktarları verilmektedir. Mikrojel yapısının ve karıştırma süresinin hacim artışı ve hava oranı değerleri üzerinde istatistiki açıdan önemli bir etkisi ($p>0.05$) olmamıştır. Buna rağmen artan karıştırma süresi ile mikrojel ile hazırlanan örneklerde hacim artışının da yükseldiği NHST içeren örnekler de ise hacim artışının düştüğü söylenebilir. Pernell vd. (2002) 2 ile 30 dk arasında değişen sürelerde artan süre ile hacim artışının ve hava oranının yumurta akı ve peynir altı suyu proteininden hazırlanan örnekler için arttığını bildirmektedir.

Tablo 13. Mikrojel varlığının ve köpürtme süresinin köpük özellikleri üzerine etkileri (Her bir sütündeki farklı harflere sahip ortalama değerler istatistiki olarak önemli ($p < 0,05$) farka sahiptir.)

Köpürtme Bileşeni	Köpürtme Süresi (dk)	Hacim Artışı (%)	Hava Oranı	Sızan Sıvı Miktarı (%)
YA	8	803.85 ^a ± 26.11	0.88 ^a ± 0.004	52.38 ^a ± 8.93
	10	884.74 ^a ± 57.88	0.89 ^a ± 0.002	46.14 ^a ± 5.09
AY	8	913.64 ^a ± 172.92	0.89 ^a ± 0.017	51.15 ^a ± 0.08
	10	962.90 ^a ± 30.68	0.90 ^a ± 0.003	56.09 ^a ± 14.88
NHST	8	911.00 ^a ± 68.50	0.89 ^a ± 0.008	38.38 ^a ± 2.49
	10	854.46 ^a ± 105.77	0.89 ^a ± 0.012	33.00 ^a ± 6.36

Sıvı fazda yeterli protein miktarının olması artan süre ile yeni su-hava ara yüzeylerinin oluşmasını sağladığı ve bu sayede artan süre hacim artışının devam edebildiği düşünülmektedir. %5 yumurta akı proteinine sahip örnek 12 dakikalık köpürtme sonunda %722 hacim artışı gösterirken %10 peynir altı suyu proteini içeren örneğin hacim artışı değerleri %622 ve 781 arasında değişmiştir. NHST ve YA ile AY mikrojelleri kullanılarak elde edilen örneklerin hacim artışı değerleri yaygın kullanılan protein kaynaklarına göre daha yüksektir (Tablo 13.). Ancak çalışmalarda kullanılan planet tipi karıştırıcının başlık tipi ile Pernell vd. (2002) çalışmasındaki başlık tipinin farklı olabileceği gibi karıştırma hızındaki olası farklılıkların da bu sonuca neden olmuş olabileceği göz önüne alınmalıdır. Artan köpürtme zamanı ile NHST hacim artışının azalması NHST'nin hızlı bir şekilde su-hava arayüzeyine yerleşip oluşturabileceği en yüksek köpük oluşumunu sağlaması daha sonrasında devam eden karıştırma ile köpük yapısının bozulmaya uğraması olarak ön görülebilir. Bu durumda YA ve AY mikrojellerinin su-hava arayüzeyine yerleşme hızlarının NHST'ye göre daha düşük olup olmadığının da incelenmesi gerektiği söylenebilir. Hem NHST hem de YA ve AY mikrojellerinden elde edilen örneklerin hava oranlarının 0.88-0.90 arasında olması köpük yapısının kuru köpük olarak tanımlanabileceğini göstermektedir. Chávez-Montes vd. (2007) hava kabarcıklarının köpük hacminin %50'sinden daha az yer kapladığı örnekleri ıslak köpük olarak tanımlamaktadır. Bu durumda hava kabarcıkları genellikle küresel yapıda ve birbirlerinden belirgin şekilde ayrı durabilmektedir. Salahi & Mohebbi (2021) ise hava oranı 0.64-0.78 değerlerini geçtiğinde kuru köpük yapısının oluşmaya başladığını bildirmektedir. Köpük stabilitesi yapıdan sızan sıvının miktarı ölçülerek belirlenmiştir. Kullanılan köpürtme bileşenlerinin sızan sıvı miktarı üzerine istatistiki olarak önemli etkisinin ($p < 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Ancak post-hoc testi olarak kullanılan Tukey yöntemi ortalama değerler arasında net bir sınıflandırma göstermemektedir. Buna rağmen NHST örneğinin daha düşük sızan sıvı miktarına sahip olduğu yani köpük stabilitesinin YA ve AY mikrojellerinden elde edilen köpüklerden daha yüksek olduğu söylenebilir. Artan köpürtme süresi ile NHST ve YA örneklerinin sızan sıvı miktarı azalırken AY örneğinde ise artış olmaktadır. Başarı ölçütü

açısından YA mikrojel ile hazırlanan süspansiyonun 10 dk köpürtülmesi ile 1 saat sonunda sızan miktarı %50'den az olmaktadır. AY mikrojel içinse başarı ölçütü 8 veya 10 dakikalık köpürtme süresi ile sağlanamamaktadır. İkinci ara raporda da belirtildiği üzere YA ve AY mikrojel soya proteini mikrojelinden (Matsumiya & Murray, 2016) ve yumurta akı, peynir altı suyu ile bunların karışımından oluşan farklı konsantrasyondaki örnekler (Ferreira vd., 1995) göre daha iyi köpük stabilitesi sağlayabilmektedir. Önerilen mikrojel üretim yöntemlerinin yanında köpürtme süresi ve diğer koşullara dikkat edilmesi ile köpük stabilitesinin iyileştirilebileceği düşünülmektedir. YA mikrojel üretim yönteminin artan köpürtme süresi ile birleştirildiğinde köpük stabilitesi açısından 1 saat içinde %50'den daha az sıvı sızmasını sağladığı söylenebilir. Ancak NHST örneklerinden hazırlanan köpük örnekleri aynı şartlar altında mikrojel örneklerine göre daha stabil köpük yapısı sağlamaktadır.

Mikrojel üretim yöntemlerinin NHST üretiminden daha çok basamak içermesi ve elde edilen mikrojellerin köpük stabilitesinin NHST örneklerinden daha düşük olması nedeni ile köpürtme öncesinde mikrojel süspansiyonlarının ultrasonik banyoda bekletilmesi işlemi uygulanarak köpük özellikleri tekrar değerlendirilmiştir. Mikrojel üretimi yapılan çalışmalarda farklı koşullara bağlı olarak mikrojel arası agregasyon olabileceği ve parçacık boyutunda artış olabileceği bildirilmektedir (Sarkar vd., 2016; Schmitt vd., 2010). YA ve AY mikrojel yukarıda belirtilen şekilde elde edildikten sonra %5 (a/h) konsantrasyonundaki süspansiyonlar 30 dk ultrasonik banyoda bekletildikten sonra köpük analizinde kullanılmışlardır. Herhangi bir ek işlem uygulanmayan NHST örneği ile birlikte köpürtme süresi 5 dk olarak belirlenmiştir. Artan köpürtme süresi ile köpük stabilitesinin arttığı gözlenmiş olsa da daha mikrojel örnekleri açısından daha kısıtlayıcı olan bir durumda ultrasonik banyo ile sonuçlarda bir iyileşme olup olmayacağı bu sayede denenmiştir. Tablo 14.'te NHST, ultrasonik banyoda bekletilmiş yukarıdan aşağıya (YA_U) ve aşağıdan yukarı (AY_U) yöntemleri ile elde edilen mikrojellerden hazırlanan örneklerin köpük özellikleri verilmektedir.

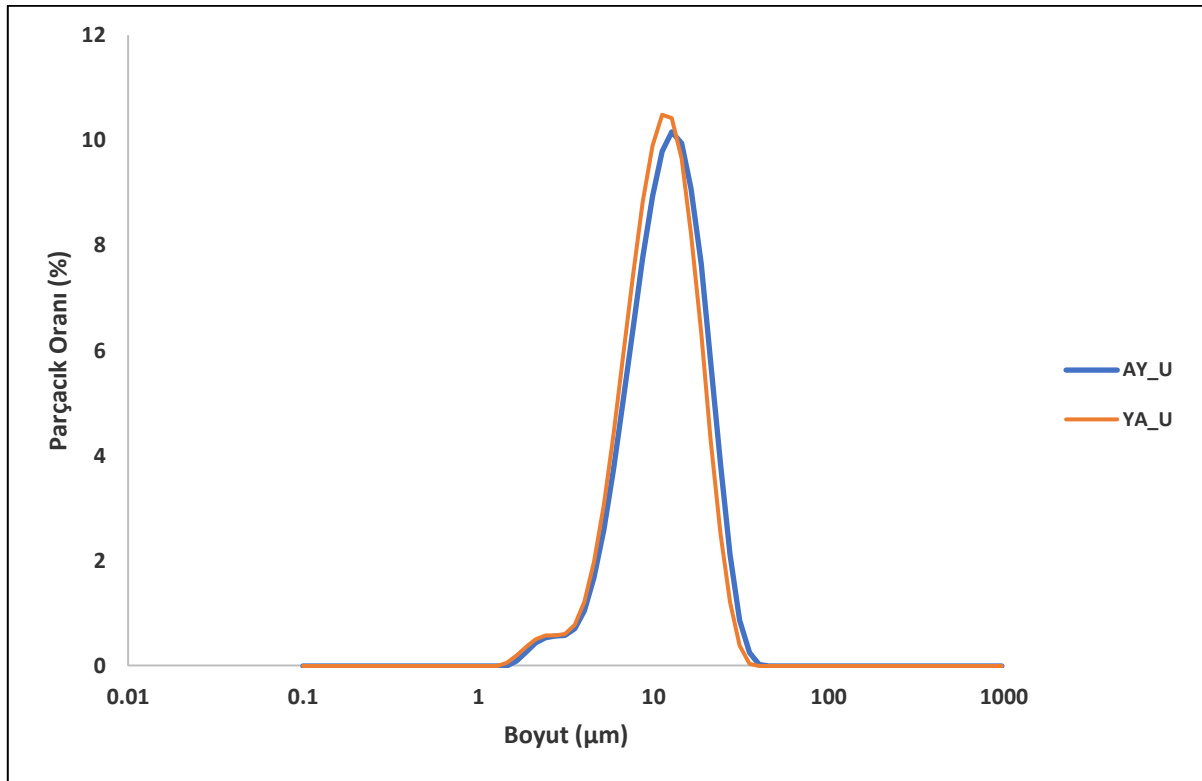
Tablo 14. Ultrasonik banyo uygulamasının mikrojellerin köpük özellikleri üzerine etkileri (Her bir sütundaki farklı harflere sahip ortalama değerler istatistik olarak önemli ($p < 0,05$) farka sahiptir.)

Köpürtme Bileşeni	Hacim Artışı (%)	Hava Oranı	Sızan Sıvı Miktarı (%)
YA_U	887.54 ^a ± 149.87	0.89 ^a ± 0.016	42.94 ^a ± 9.73
AY_U	883.26 ^a ± 154.43	0.89 ^a ± 0.016	38.85 ^a ± 9.95
NHST	823.21 ^a ± 78.59	0.89 ^a ± 0.009	48.32 ^a ± 5.91

Örneklerin hacim artışı, hava oranı ve sızan sıvı miktarları arasında istatistiki olarak önemli bir fark bulunmamaktadır ($p>0.05$). Hacim artışı daha uzun köpürtme sürelerine benzer seviyede ve diğer protein kaynakları ile karşılaştırıldığında göreceli olarak yine daha yüksektir. Hava oranı üç örnek için de 0.89 olarak ölçülmüştür ve kuru köpük yapısına işaret etmektedir. Üç örneğin de sızan sıvı miktarı 1 saat sonunda %50'den daha azdır. Azalan köpürtme süresi ile NHST köpük stabilitesi azalmıştır. Ultrasonik banyo uygulaması ile hem YA hem de AY mikrojellerinden elde edilen örneklerin köpük stabilitesi artmıştır. Ultrasonik banyo uygulamasının mikrojellerden hazırlanan örnekler üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi ve köpük stabilitesindeki değişimin olası sebepleri için parçacık boyutu, yüzey gerilimi ve elektron mikroskobu ile yapılar incelenmiştir. Ultrasonik banyo uygulamasından sonra da mikrojel parçacık boyutlarının başarı ölçütü olarak belirlenen 1 μm altına inemediği görülmektedir (Tablo 15.).

Tablo 15. Ultrasonik banyo uygulaması sonrası mikrojel parçacık boyutları

Köpürtme Bileşeni	D[3,2] (μm)	D[4,3] (μm)	Dv(10) (μm)	Dv(50) (μm)	Dv(90) (μm)
YA_U	9.66 \pm 0.01	12.55 \pm 1.06	5.85 \pm 0.35	11.75 \pm 1.06	20.40 \pm 2.55
AY_U	10.48 \pm 1.31	13.65 \pm 1.48	6.26 \pm 0.74	12.70 \pm 1.27	22.50 \pm 2.69



Şekil 5. Ultrasonik banyo işlemi sonrası mikrojel parçacık boyut dağılımları

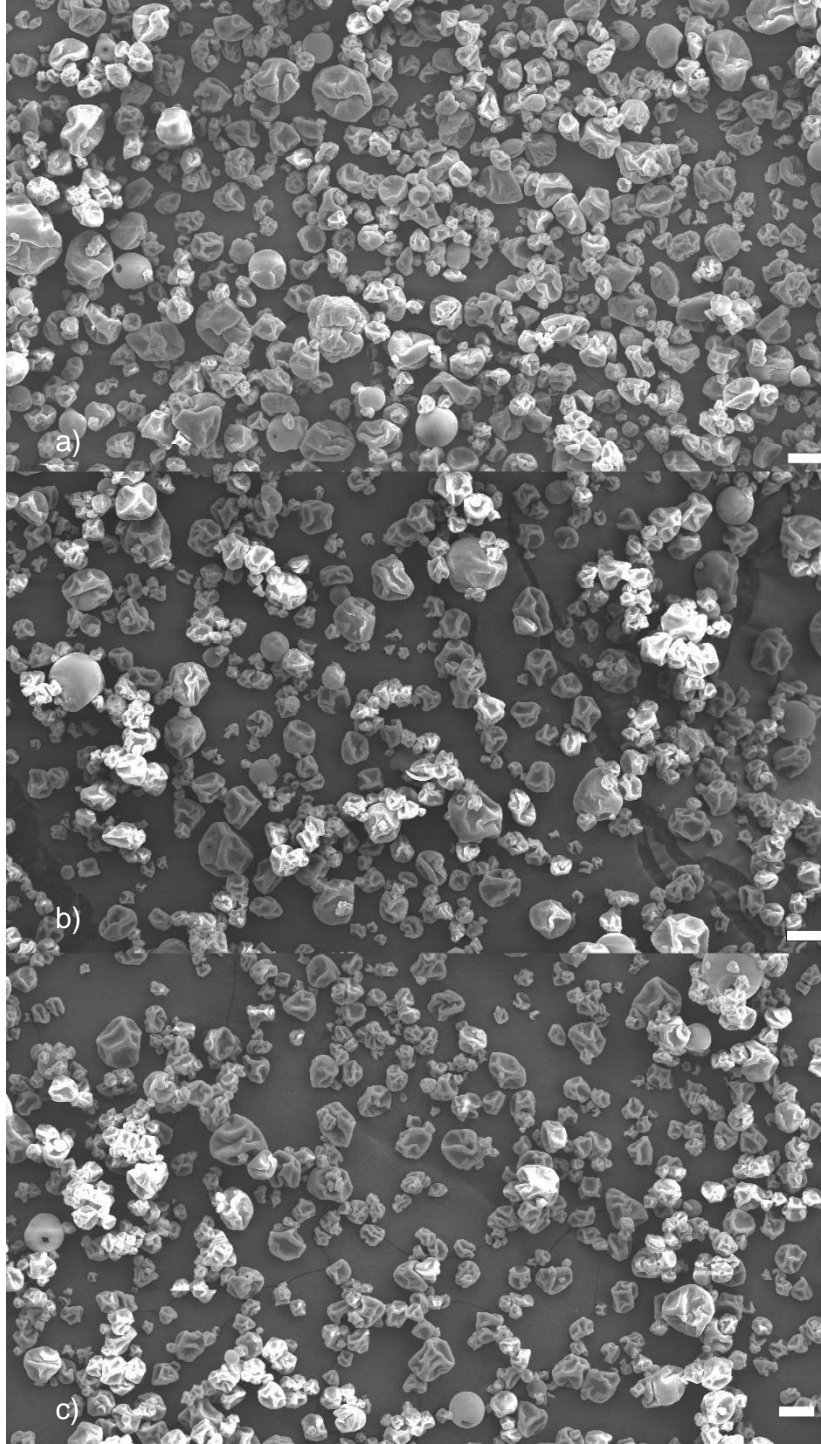
Şekil 5.'te verilen parçacık boyutu dağılım grafiğinden mikrojenlerin 10 µm civarında tepe noktasına sahip oldukları ve 5 µm civarında ise daha küçük bir tepe noktasına sahip oldukları anlaşılmaktadır. Ultrasonik banyo uygulaması olmadan yapılan boyut ölçümleri ile karşılaştırıldığında YA yöntemi ile üretilen mikrojenlerin boyutunda 3 ile 5 µm arasında bir azalmadan bahsedilebilirken AY yöntemi ile elde edilen mikrojenlerin boyutunda ise net bir değişim görülmemektedir. Ultrasonik banyo uygulanmamış örneklerde görülen 1-3 µm arası D[3,2] değerlerine ise ultrasonik banyo uygulaması sonrasında rastlanmamıştır. Ultrasonik banyo uygulamasının parçacık boyutu üzerinde beklenen etkiyi göstermemesine rağmen köpük stabilitesinde artış gözlemlenmiştir. Her ne kadar düşük yüzey gerilimi değerine sahip köpürtme bileşenlerinin yüksek stabiliteye sahip köpük oluşturması her koşulda geçerli olmasa da (Fameau & Salonen, 2014) ultrasonik banyo uygulamasının mikrojenler üzerindeki etkileri ölçülmüştür (Tablo 4.).

Tablo 16. Köpürme bileşenlerinin yüzey gerilim değerleri (Her bir sütundaki farklı harflere sahip ortalama değerler istatistiki olarak önemli ($p < 0,05$) farka sahiptir.)

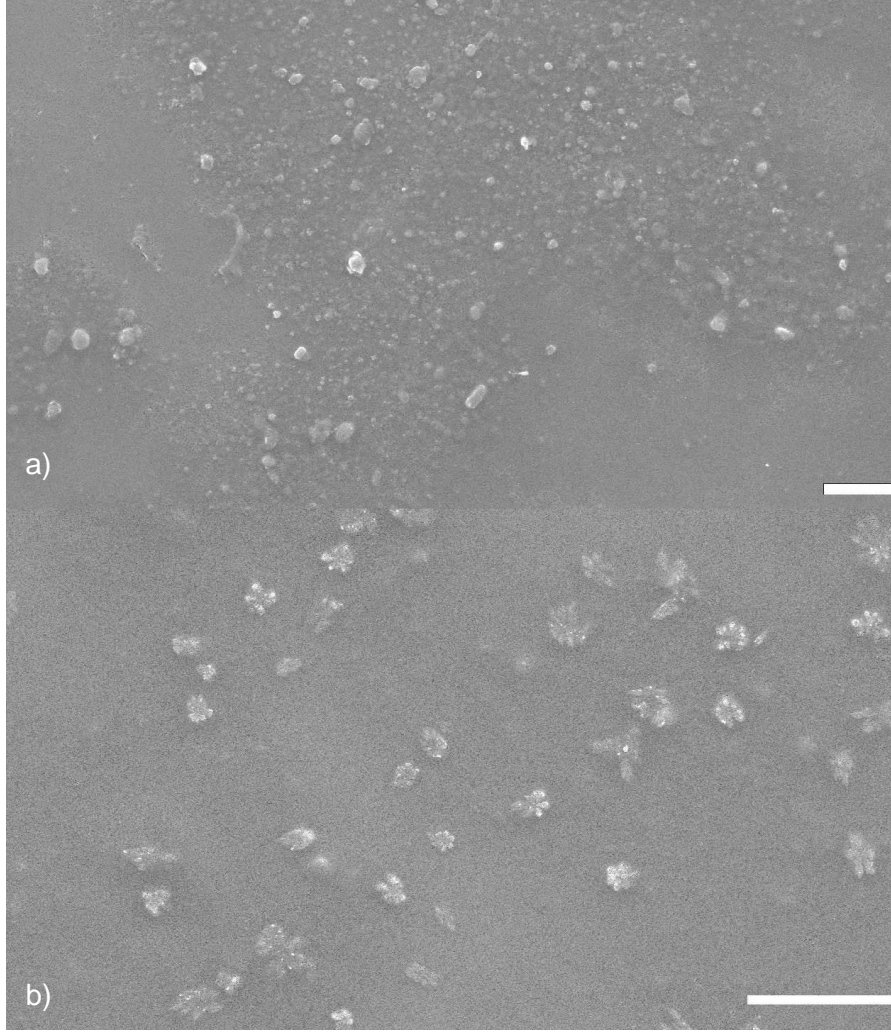
Köpürtme Bileşeni	Yüzey Gerilimi (mN/m)
NHST	47.05 ^b ± 1.00
YA	46.98 ^b ± 0.73
YA_U	50.99 ^a ± 0.19
AY	51.54 ^a ± 0.22
AY_U	46.29 ^b ± 1.55

Ultrasonik banyo uygulamasından sonra YA yöntemi ile elde edilen mikrojenlerin yüzey gerilim değeri artarken AY yöntemi ile elde edilen mikrojenlerin yüzey gerilim değerleri azalmıştır. NHST örneğine göre ise düşük yüzey gerilimi değerine sahip mikrojen örneklerinin istatistiki açıdan önemli bir etkisi olmamıştır ($p > 0,05$). Genel anlamda ultrasonik banyo uygulaması AY yöntemi ile elde edilen mikrojenler üzerinde YA yöntemi ile elde edilenlere göre ters yönde etki göstermiştir. Ancak köpük stabilitesi iki mikrojen tipinde de ultrasonik banyo uygulaması ile gelişmiştir. Elde edilen mikro boyuttaki bileşenlerin şekil olarak aralarında fark olup olmadığı ise elektron mikroskobu ile yapılan incelemeler ile araştırılmıştır. Şekil 6.'ya göre bütün bileşenlerin içeri doğru çökmüş küre şekline sahip oldukları görülmektedir. Püskürtmeli kurutma sırasında bu tarz şekillerin kuruma sırasında parçacık içerisindeki buhar basıncının kurutma çemberindeki basınçtan daha düşük olması sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bu etkininde göreceli olarak yavaş kurumanın gerçekleştiği durumlarda ortaya çıktığı belirtilmektedir. Ultrasonik banyo uygulaması sonrasında ise mikrojenlerin düzensiz ve pürüzlü yapıya sahip oldukları görülmektedir (Şekil 7.). Desfougères vd. (2008) yumurta akı proteinlerinden köpük oluşumu sırasında protein agregasyonunun sağlanması ile köpük stabilitesinin köpük oluşumundan önce agregat haldeki proteinlerin olmasından daha önemli olabileceğini vurgulamaktadır. Bu nedenle yapılan ölçümlerde köpürtme öncesi elde edilen

verilerin mikrojellerin köpük oluşumu ve köpük stabilitesi üzerindeki etkilerini açıklamada yeterli olmadığı kabul edilebilir.



Şekil 6. a) NHST, b) YA ve c) AY mikrojellerinin elektron mikroskobu ile elde edilmiş görüntüleri (Sağ alt köşedeki ölçekler 10 μm uzunluğa karşılık gelmektedir.)



Şekil 7. a) YA (1000x büyütme) ve b) AY (2000x büyütme) mikrojellerinin ultrasonik banyo uygulamasından sonra elektron mikroskobu ile elde edilmiş görüntüleri (Sağ alt köşedeki ölçekler 10 μ m uzunluğa karşılık gelmektedir.)

4.4 Çeşitli Gıda Örneklerinden NHST Kullanarak Köpük Yapıda Ürün Oluşturulması

Eugénie vd. (2014) yüksek viskoziteye sahip sıvı bir fazın daha düşük viskoziteye sahip durumlara göre köpürtülme sonrasında hava kabarcıklarının küçük ve birbirlerine yakın boyutlarda olduğunu bildirmektedir. Köpük stabilitesinin azalmasında hava kabarcıklarının farklı boyutlarda olmasının da etkili olduğu bilinmektedir. Torres vd. (2013) ise Newtonumsu olmayan sıvıların farklı kayma oranlarında köpürtülmesi ile Newtonumsu sıvılara benzer şekilde köpük yapısı oluşturabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenlerden dolayı farklı NHST içeren gıda örneklerinin akışkan tipleri belirlenmiştir. Karamel örneklerinin üç farklı NHST konsantrasyonu değerinde de Newtonumsu akışkan tipine uyduğu söylenebilir (Tablo 17.). Bingham-plastic ve Herschel-Bulkley modellerinde R^2 değerlerinin yüksek olduğu durumlar olsa da bu modellerden hesaplanan akma gerilmesi değerlerinin pratik olarak oldukça düşük değerlerde olması ve akış indeksi değerlerinin 1'e yakın olması nedenleri ile temel olarak

karamel örneklerinin Newtonumsu şekilde davrandıkları kabul edilebilir. Artan NHST oranı ile viskozite değerinin de arttığı görülmektedir. Tablo 18.'e göre ise elma örneklerinin düşük NHST oranlarında Power Law modeline uygun olarak artan kayma oranı ile viskozitelerinin azalacağı şekilde davrandıkları %7.5 (a/a) NHST oranında ise bu davranış tipine uymakla birlikte Newtonumsu akışkan davranışına doğru bir kaymadan bahsedilebilir. Benzer şekilde artan NHST oranı ile bir kayma oranı değerinde hesaplanacak viskozite değeri artmaktadır.

Tablo 17. Karamel sosu örnekleri için akışkan modelleri

Akışkan Modeli	NHST Konsantrasyonu (%)		
	2.5	5.0	7.5
Newtonumsu ($\tau = \mu^* \dot{\gamma}$)	$y = 0.0142x$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.0264x$ $R^2 = 0.9981$	$y = 0.0341x$ $R^2 = 0.9990$
Power Law ($\tau = K^* \dot{\gamma}^n$)	$y = 0.9235x - 3.8714$ $R^2 = 0.9989$	$y = 0.8699x - 3.0559$ $R^2 = 0.9963$	$y = 0.9132x - 3.0126$ $R^2 = 0.9998$
Bingham-Plastic ($\tau = \tau_0 + \mu_{pl}^* \dot{\gamma}$)	$y = 0.0137x + 0.0752$ $R^2 = 0.9999$	$y = 0.0247x + 0.1436$ $R^2 = 0.9992$	$y = 0.0322x + 0.1193$ $R^2 = 0.9997$
Herschel-Bulkley ($\tau = \tau_0 + K^* \dot{\gamma}^n$)	$y = 0.9235x - 3.8714$ $R^2 = 0.9995$	$y = 0.8699x - 3.0559$ $R^2 = 0.9963$	$y = 0.9132x - 3.0126$ $R^2 = 0.9998$

Tablo 18. Elma püresi örnekleri için akışkan modelleri

Akışkan Modeli	NHST Konsantrasyonu (%)		
	2.5	5.0	7.5
Newtonumsu ($\tau = \mu^* \dot{\gamma}$)	$y = 0.0145x$ $R^2 = 0.8723$	$y = 0.0109x$ $R^2 = 0.8949$	$y = 0.0072x$ $R^2 = 0.9625$
Power Law ($\tau = K^* \dot{\gamma}^n$)	$y = 0.3166x - 0.7662$ $R^2 = 0.9906$	$y = 0.3588x - 1.2698$ $R^2 = 0.9901$	$y = 0.5549x - 2.6680$ $R^2 = 0.9899$
Bingham-Plastic ($\tau = \tau_0 + \mu_{pl}^* \dot{\gamma}$)	$y = 0.0069x + 1.1779$ $R^2 = 0.9681$	$y = 0.0058x + 0.7906$ $R^2 = 0.9770$	$y = 0.0050x + 0.3457$ $R^2 = 0.9936$
Herschel-Bulkley ($\tau = \tau_0 + K^* \dot{\gamma}^n$)	$y = 0.3166x - 0.7662$ $R^2 = 0.9906$	$y = 0.8933x - 4.4242$ $R^2 = 0.9832$	$y = 0.5549x - 2.6680$ $R^2 = 0.9899$

Her iki gıda örneğinden elde edilen köpüklerin hava kabarcık boyutu sonuçları Tablo 19. ve 20.'de verilmektedir. Artan NHST oranı ile örneklerin viskozite değerlerindeki artış ile hava kabarcık boyutunun azaldığı görülmektedir. Karamel örneklerinin köpürtme öncesindeki viskozite değeri aynı kayma oranında elma örneklerine göre daha yüksek olduğu akışkan tipinin belirlenmesi için yapılan analizlerden anlaşılmaktadır. Bütün köpürtme deneyleri aynı karıştırma hızında yapıldığından hem karamel hem de elma örneklerinden köpük elde edilmesinde benzer kayma oranı değerleri olduğu kabul edilebilir. Bu nedenle aynı NHST oranlarında karamel örneklerinin elma örneklerinden daha yüksek viskoziteye sahip olmalarından dolayı hava kabarcık boyutları elma örneklerinden daha küçük değerdedir.

Tablo 19. Karamel örneklerinden elde edilen köpüklerin hava kabarcık boyutu ölçümleri

NHST Oranı (%)	D[3,2] (μm)	Dv(10) (μm)	Dv(50) (μm)	Dv(90) (μm)	Genişlik
2.5	189.69	220.00	170.00	130.00	0.53
5.0	155.53	180.00	140.00	110.00	0.50
7.5	110.89	120.00	100.00	80.00	0.40

Tablo 20. Elma örneklerinden elde edilen köpüklerin hava kabarcık boyutu ölçümleri

NHST Oranı (%)	D[3,2] (μm)	Dv(10) (μm)	Dv(50) (μm)	Dv(90) (μm)	Genişlik
2.5	286.42	340.00	240.00	170.00	0.71
5.0	250.82	300.00	230.00	180.00	0.52
7.5	219.62	260.00	200.00	150.00	0.55

Tablo 21 ve 22'de görülebileceği üzere her iki gıda örneğinden elde edilen köpüklerin hava oranı ve hacim artışı değerleri NHST oranından istatistiki olarak önemli ölçüde etkilenmemiştir ($p>0.05$). Genel olarak ise artan NHST oranı ile iki köpük özelliğinin de artış eğiliminde olduğu söylenebilir. Artan NHST oranı ile köpük yapısından sızan sıvı miktarı önemli ölçüde ($p<0.05$) azalmıştır. Artan köpürtme bileşenleri ile köpük stabilitesinin arttığı elma ve yıldız meyvesinden elde edilen köpük örneklerinde de gözlemlenmiştir (Karim & Wai, 1999; Raharitsifa vd., 2006). Temel sebebin artan köpürtme bileşeni oranı ile sıvı fazın viskozitesinin artması ve/veya su-hava arayüzeyine daha fazla miktarda köpürtme bileşeni yerleşmesi hava kabarcıklarının etrafının daha etkili bir şekilde sarılabilmiş olması gösterilmektedir. Ancak gıda yapısı ve köpürtme bileşeni arasındaki etkileşimlere bağlı olarak domates püresinden hazırlanan köpüklerin stabilitesinin artan köpürtme bileşeni ile azaldığı örnekler de görülebilmektedir (Brygidyr vd., 1977).

Tablo 21. Karamel örneklerinden elde edilen köpüklerin analiz sonuçları (Her bir sütundaki farklı harflere sahip ortalama değerler istatistiki olarak önemli ($p<0,05$) farka sahiptir.)

NHST Oranı (%)	Hacim Artışı (%)	Hava Oranı	Sızan Sıvı Miktarı (%)
2.5	386.32 ^a \pm 144.80	0.78 ^a \pm 0.064	28.98 ^a \pm 9.12
5.0	431.866 ^a \pm 20.53	0.81 ^a \pm 0.072	11.16 ^{ab} \pm 1.69
7.5	592.46 ^a \pm 101.81	0.84 ^a \pm 0.015	0.77 ^b \pm 1.09

Tablo 22. Elma örneklerinden elde edilen köpüklerin analiz sonuçları (Her bir sütundaki farklı harflere sahip ortalama değerler istatistiki olarak önemli ($p<0,05$) farka sahiptir.)

NHST Oranı (%)	Hacim Artışı (%)	Hava Oranı	Sızan Sıvı Miktarı (%)
2.5	389.14 ^a \pm 50.59	0.79 ^a \pm 0.021	46.06 ^a \pm 0.15
5.0	665.06 ^a \pm 38.82	0.86 ^a \pm 0.067	34.97 ^b \pm 0.06
7.5	586.22 ^a \pm 117.32	0.85 ^a \pm 0.025	20.68 ^c \pm 3.86

Tablo 23 ve 24.'te gıda örneklerinden elde edilen köpüklerin duyu analizi sonuçları yer almaktadır. Görünüş özellikleri açısından karamel örneklerinde artan NHST oranı daha donuk bir renk oluşumuna sebep olurken elma örneklerinde parlak bir renk açığa çıktığı görülmektedir. Hava kabarcık boyutu ve dağılımı açısından ise her iki gıda örneğinde artan NHST oranı daha küçük ve homojen dağılımlı olarak değerlendirilmiştir. Renk özelliğinin farklı algılanmasında karamel örneğinin daha küçük hava kabarcık boyutuna sahip olmasının yanı sıra elma örneğinin enzimatik esmerleşmeye maruz kalmasının etkili olabileceği düşünülmektedir. Her iki gıda örneğinde kıvam ve ağız hissi değerleri artan NHST oranı ile artmış olarak algılanmıştır. Tat ve aroma özelliklerinde ise azalma görülmüştür. %7.5 (a/a) NHST içeren örneklerin değerlendirilmelerinde ise nohut tadının algılanmaya başlandığı bildirilmiştir.

Tablo 23. Karamel örneklerinden elde edilen köpüklerin duyu analizi sonuçları

Duyusal Özellik	NHST Oranı (%)		
	2.50	5.00	7.50
Renk	12.63 ^a ± 0.74	10.75 ^b ± 1.16	10.25 ^b ± 1.04
Hava Kabarcık Boyutu	10.75 ^a ± 1.75	13.50 ^a ± 1.20	13.00 ^a ± 3.30
Kabarcık Boyutu Dağılımı	10.88 ^b ± 2.36	13.38 ^a ± 1.69	14.50 ^a ± 0.76
Kıvam	10.63 ^c ± 0.74	13.63 ^b ± 0.83	14.88 ^a ± 0.35
Aroma	13.75 ^a ± 0.46	13.13 ^{ab} ± 0.83	12.50 ^b ± 1.31
Tat	14.25 ^a ± 0.46	13.38 ^{ab} ± 0.74	13.00 ^b ± 1.31
Ağız Hissi	11.00 ^a ± 1.85	12.75 ^a ± 1.91	13.38 ^a ± 2.07

Tablo 24. Elma örneklerinden elde edilen köpüklerin duyu analizi sonuçları

Duyusal Özellik	NHST Oranı (%)		
	2.50	5.00	7.50
Renk	10.25 ^b ± 1.49	10.00 ^b ± 1.31	12.50 ^a ± 2.33
Hava Kabarcık Boyutu	10.25 ^a ± 2.49	11.00 ^a ± 1.69	12.75 ^a ± 1.83
Kabarcık Boyutu Dağılımı	9.50 ^b ± 2.73	10.50 ^a ± 2.73	10.88 ^a ± 3.72
Kıvam	11.25 ^c ± 1.67	11.88 ^b ± 2.53	12.25 ^a ± 1.39
Aroma	10.75 ^a ± 1.67	8.38 ^{ab} ± 2.33	9.88 ^b ± 2.17
Tat	11.13 ^a ± 1.46	8.63 ^{ab} ± 3.70	10.63 ^b ± 2.77
Ağız Hissi	9.50 ^a ± 2.07	10.13 ^a ± 1.81	10.38 ^a ± 2.88



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar ile protein, saponin, nem içerikleri ve ürün verimliliği açısından ideal değerlere sahip şekilde nohut haşlama suyundan toz ürün elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu toz ürünlerin en düşük jel oluşturan konsantrasyon değerindeki süspansiyonlarına yüksek basınçlı homojenizasyon işlemi uygulanması ile jel yapısının güçlendirilebileceği gösterilmiştir. Güçlü jel yapısındaki örneklerden mikrojel elde edebilmek için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarı olmak üzere iki farklı yöntemle üretimlerin gerçekleştirilebileceği de ortaya konmuştur. Bu mikrojellerin köpük yapımında kullanılmasında ise ek bir işlem uygulanmadığı durumda mikrojel içermeyen hallerine göre köpük stabilite değerleri düşük kalmaktadır. Mikrojellerden elde edilen örneklere köpürtme öncesi ultrasonik banyo gibi pratik bir uygulama ile köpük stabilitesinin iyileştirilebildiği anlaşılmıştır. Farklı yapıdaki gıda örneklerinden nohut haşlama suyu tozu kullanılarak elde edilen köpük örneklerinin dayanıklı yapıda oldukları belirlenmiştir. Üretilen mikrojellerin hangi özelliklerinin köpük yapısı ve stabilitesi üzerinde belirgin etkiye sahip olduklarının, hangi koşullar altında mikrojel içermeyen yapılara göre net avantaj sağladıklarının belirlenebilmeleri için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu ön görülmektedir.

KAYNAKLAR

AACC. 2000. "AACC Method 44-15A – moisture air-oven methods", Approved Method of the AACC, 10th Ed., St Paul: American Association of Cereal Chemists.

Abdullah, A., Resurreccion, A. V. A., & Beuchat, L. R. (1993). Formulation and Evaluation of a Peanut Milk Based Whipped Topping Using Response Surface Methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 26(2), 162-166. <https://doi.org/10.1006/fstl.1993.1033>

Allais, I., Edoura-Gaena, R., Gros, J., Trystram, G. 2006. "Influence of egg type, pressure and mode of incorporation on density and bubble distribution of a lady finger batter", *Journal of Food Engineering*, 74, 198-210.

Alsaman, F. B., Tulbek, M., Nickerson, M., Ramaswamy, H. S. 2020. "Evaluation and optimization of functional and antinutritional properties of aquafaba", *Legume Science*, 2(2), 1-15.

Alsaman, F. B., Ramaswamy, H. S. 2021. "Changes in carbohydrate quality of high-pressure treated aquafaba", *Food Hydrocolloids*, 113, 106417.

AOAC. 2000a. "AOAC 991.36 - fat (crude), in meat and meat products", *Official Methods of AOAC International*, 17th Ed., Gaithersburg: AOAC International.

AOAC. 2000b. "AOAC 930.22 - ash of bread", *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 17th Ed., Gaithersburg: AOAC International.

Aslan, M., Ertaş, N. 2020. "Possibility of using 'chickpea aquafaba' as egg replacer in traditional cake formulation", *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(1), 1-8.

Audebert, A., Beauvils, S., Lechevalier, V., Le Floch-Fouéré, C., Saint-Jalmes, A., Pezennec, S. 2019. "How foam stability against drainage is affected by conditions of prior whey protein powder storage and dry-heating: A multidimensional experimental approach", *Journal of Food Engineering*, 242, 153-162.

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.

Azizpour, M., Mohebbi, M., Yolmeh, M., Abbasi, E., Sangatash, M. M. 2017. "Effects of different hydrocolloids on foaming properties of shrimp puree: a cluster analysis", *Food Measure*, 11, 1892-1898.

Bader, S., Bez, J., Eisner, P. 2011. "Can protein functionalities be enhanced by high-pressure homogenization? - A study on functional properties of lupin proteins", *Procedia Food Science*, 1, 1359-1366.

Benetti, J. V. M., do Prado Silva, J. T., Nicoletti, V. R. 2019. "SPI microgels applied to Pickering stabilization of O/W emulsions by ultrasound and high-pressure homogenization: rheology and spray drying", *Food Research International*, 122, 383-391.

Bernard, C., Broyart, B., Vasseur, J., Granda, P., Relkin, P. 2008. "Enhancement of protein structure-forming properties in liquid foams by spray drying", *Dairy Science & Technology*, 88(1), 65-80.

Berry, T. K., Yang, X., Foegeding, E. A. 2009. "Foams prepared from whey protein isolate and egg white protein: 2. Changes associated with angel food cake functionality", *Journal of Food Science*, 74(5), E269-E277.

Bhandari, B. R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T. 1997. "A Semi-Emperical approach to optimise the quantity of drying aids required to spray dry sugar-rich foods", *Drying Technology*, 15, 2509-2525.

- Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., Rajamohamed, S. H. 2010. "Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques", *Food Research International*, 43(2), 537-546.
- Brygidyr, A. M., Rzepecka, M. A., & McConnell, M. B. (1977). Characterization and Drying of Tomato Paste Foam by Hot Air and Microwave Energy. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 10(4), 313-319. [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(77\)73553-9](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(77)73553-9)
- Buhl, T. F., Christensen, C. H., Hammershøj, M. 2019. "Aquafaba as an egg white substitute in food foams and emulsions: Protein composition and functional behavior", *Food Hydrocolloids*, 96, 354-364.
- Burey, P., Bhandari, B. R., Howes, T., Gidley, M. J. 2008. "Hydrocolloid gel particles: formation, characterization, and application", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(5), 361-377.
- Campbell, G. M., Mougeot, E. 1999. "Creation and characterisation of aerated food products", *Trends in Food Science & Technology*, 10(9), 283-296.
- Cemeroğlu, B. 2010. "Gıda analizlerinde genel yöntemler". *Gıda Analizleri Genişletilmiş 2. Baskı*. Editor: Cemeroğlu, B., Ankara: Gıda Teknoloji Derneği Yayınları No:34.
- Chao, D., Aluko, R. E. 2018. "Modification of the structural, emulsifying, and foaming properties of an isolated pea protein by thermal pretreatment", *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 357-366.
- Chávez-Montes, B. E., Choplin, L., & Schaer, E. (2007). Rheological Characterization of Wet Food Foams. *Journal of Texture Studies*, 38(2), 236-252. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2007.00096.x>
- Chesterton, A. K. S., de Abreu, D. A. P., Moggridge, G. D., Sadd, P. A., Wilson, D. I. 2013. "Evolution of cake batter bubble structure and rheology during planetary mixing", *Food and Bioproducts Processing*, 91(3), 192-206.
- Çam, İ. B. 2010. "Helva ve lokum üretimi amaçlı çöven konsantresi ve çöven tozu üretimi". *Yüksek Lisans Tezi*. Akdeniz Üniversitesi. Türkiye.
- Damian, J. J., Huo, S., Serventi, L. 2018. "Phytochemical content and emulsifying ability of pulses cooking water", *European Food Research and Technology*, 244, 1647-1655.
- Davis, J. P., Foegeding, E. A. 2004. "Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate", *Journal of Food Science*, 69(5), C404-C410.
- Delaplace, G., Coppenolle, P., Cheio, J., Ducept, F. 2012. "Influence of whip speed ratios on the inclusion of air into a bakery foam produced with a planetary mixer device", *Journal of Food Engineering*, 108(4), 532-540.
- Desfougères, Y., Lechevalier, V., Pezennec, S., Artzner, F., & Nau, F. (2008). Dry-Heating Makes Hen Egg White Lysozyme an Efficient Foaming Agent and Enables Its Bulk Aggregation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(13), 5120-5128. <https://doi.org/10.1021/jf703715j>
- de Villiers, M., Hanson, B., Moodley, L., Pillay, M. 2018. "The impact of modification techniques on the rheological properties of dysphagia foods and liquids", *Journal of Texture Studies*, 51, 154-168.
- Dickinson, E. 2017. "Biopolymer-based particles as stabilizing agents for emulsions and foams", *Food Hydrocolloids*, 68, 219-231.
- Dickinson, E., Izgi, E. 1996. "Foam stabilization by protein-polysaccharide complexes", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 113(1), 191-201.

- Djemaoune, Y., Cases, E., Saurel, R. 2019. "The Effect of high-pressure microfluidization treatment on the foaming properties of pea albumin aggregates", *Journal of Food Science*, 84(8), 2242-2249.
- Ellis, A. L., Lazidis, A. 2018. "Foams for food applications". *Polymers for food applications*. Editor: Gutierrez, T. Cham: Springer.
- Erçelebi, E. A., İbanoğlu, E. 2008. "Effects of ionic strength on the foaming properties of whey protein isolate and egg white in the presence of polysaccharides", *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 513-526.
- Eugénie, S. de P., Fabrice, D., Gérard, C., & Samir, M. (2014). Effect of bulk viscosity and surface tension kinetics on structure of foam generated at the pilot scale. *Food Hydrocolloids*, 34, 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.12.001>
- Fameau, A.-L., & Salonen, A. (2014). Effect of particles and aggregated structures on the foam stability and aging. *Comptes Rendus Physique*, 15(8), 748-760. <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2014.09.009>
- Farjami, T., Madadlou, A. 2017. "Fabrication methods of biopolymeric microgels and microgel-based hydrogels", *Food Hydrocolloids*, 62, 262-272.
- Ferreira, M., Behringer, R., & Jost, R. (1995). Instrumental Method for Characterizing Protein Foams. *Journal of Food Science*, 60(1), 90-93. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb05613.x>
- Guan, Y., Zhong, Q. 2019. "Stable aqueous foams created with intercalated montmorillonite nanoclay coated by sodium caseinate", *Journal of Food Engineering*, 248, 36-45.
- Guo, J., Zhou, Q., Liu, Y.-C., Yang, X.-Q., Wang, J.-M., Yin, S.-W., & Qi, J.-R. (2016). Preparation of soy protein-based microgel particles using a hydrogel homogenizing strategy and their interfacial properties. *Food Hydrocolloids*, 58, 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.008>
- He, Y., Meda, V., Reaney, M. J. T. , Mustafa, R. 2021. "Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications", *Trends in Food Science & Technology*, 111, 27-42.
- Ipsen, R. 2017. "Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture", *International Dairy Journal*, 67, 73-79.
- Ishii, T., Matsumiya, K., Aoshima, M., Matsumura, Y. 2018. "Microgelation imparts emulsifying ability to surface-inactive polysaccharides--bottom-up vs top-down approaches", *npj Science of Food*, 2, 15.
- İbanoğlu, E. 2001. "High pressure effect on foaming properties of β -lactoglobulin and dextran sulfate mixture", *Food / Nahrung*, 5, 342-346.
- İbanoğlu, E., Karataş, Ş. 2000. "High pressure effect on on foaming behaviour of whey protein isolate", *Journal of Food Engineering*, 47, 31-36.
- Jakubczyk, E., Niranjana, K. 2006. "Transient development of whipped cream properties", *Journal of Food Engineering*, 77(1), 79-83.
- Jiao, B., Shi, A., Wang, Q., Binks, B. P. 2018. "High-internal-phase Pickering emulsions stabilized solely by peanut-protein-isolate microgel particles with multiple potential applications", *Angewandte Chemie International Edition*, 57, 9274-9278.
- Karim, A. A., & Wai, C. C. (1999). Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree by using methyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 13(3), 203-210. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(98\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(98)00086-1)
- Kaur, M., Singh, N. 2005. "Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars", *Food Chemistry*, 91(3), 403-411.

- Klost, M., & Drusch, S. (2019). Structure formation and rheological properties of pea protein-based gels. *Food Hydrocolloids*, 94, 622-630. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.030>
- Lam, S., Velikov, K. P., Velev, O. D. 2014. "Pickering stabilization of foams and emulsions with particles of biological origin", *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 19(5), 490-500.
- Lazidis, A., Hancocks, R. D., Spyropoulos, F., Kreuß, M., Berrocal, R., Norton, I. T. 2016. "Whey protein fluid gels for the stabilisation of foams", *Food Hydrocolloids*, 53, 209-217.
- Li, X., Murray, B. S., Yang, Y., Sarkar, A. 2020. "Egg white protein microgels as aqueous Pickering foam stabilizers: Bubble stability and interfacial properties", *Food Hydrocolloids*, 98, 105-292.
- Liszka-Skoczylas, M., Ptaszek, A., Zmudzinski, D. 2014. "The effect of hydrocolloids on producing stable foams based on the whey protein concentrate (WPC)", *Journal of Food Engineering*, 129, 1-11.
- Luck, P. J., Bray, N., Foegeding, E. A. 2002. "Factors determining yield stress and overrun of whey protein foams", *Journal of Food Science*, 67(5), 1677-1681.
- Ma, L., Li, Q., Du, Z., Su, E., Liu, X., Wan, Z., Yang, X. 2019. "A Natural supramolecular saponin hydrogelator for creation of ultrastable and thermostimulable food-grade foams", *Advanced Materials Interfaces*, 6(14), 1900417(1-10).
- Maresca, P., Ferrari, G., Leite Júnior, B. R. de C., Zanphorlin, L. M., Ribeiro, L. R., Murakami, M. T., Cristianini, M. 2017. "Effect of dynamic high pressure on functional and structural properties of bovine serum albumin", *Food Research International*, 99, 748-754.
- Matsumiya, K., Murray, B. S. 2016. "Soybean protein isolate gel particles as foaming and emulsifying agents", *Food Hydrocolloids*, 60, 206-215.
- Meilgaard, M., Civille, G. V., Carr B. T. 1999. "Descriptive Analysis Techniques". *Sensory Evaluation Techniques 3rd Ed.* Boca Raton: CRC Press Inc.
- Mendenhall, H., Hartel, R. W. 2016. "Effects of fat content and solid fat content on caramel texture attributes", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(9), 1191-1199.
- Meurer, M. C., de Souza, D., Ferreira Marczak, L. D. 2020. "Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba)", *Journal of Food Engineering*, 265, 109688(1-11).
- Mishan, L. 2019. "Once declared passé, foam returns to the restaurant table". *The New York Times Style Magazine*.
<https://www.nytimes.com/2019/08/21/t-magazine/foam-restaurant-food-trend.html>
- Son Erişim Tarihi: 20.07.2020
- Mune, M. A. M., Sogi, D. S. 2016. "Emulsifying and foaming properties of protein concentrates prepared from cowpea and bambara bean using different drying methods", *International Journal of Food Properties*, 19(2), 371-384.
- Murray, B. S. 2007. "Stabilization of bubbles and foams", *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 12(4), 232-241.
- Mustafa, R., Reaney, M.J. T. 2020. "Aquafaba, from food waste to a value-added product". *Food wastes and by-products: Nutraceutical and health potential*. First Edition. Editor: Campos-Vega, R., Oomah, B. D., Vergara-Castaneda, H. A. West Sussex: Wiley & Sons Ltd.
- Muzaffar, K., Nayik, G. A., Kumar, P. 2015. "Stickiness problem associated with spray drying of sugar and acid rich foods: a mini review", *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 12, 1-3.
- Narsimhan, G., Xiang, N. 2018. "Role of proteins on formation, drainage, and stability of liquid food foams", *Annual Review of Food Science and Technology*, 9(1), 45-63.

- Nicorescu, I., Vial, C., Loisel, C., Riaublanc, A., Djelveh, G., Cuvelier, G., Legrand, J. 2010. "Influence of protein heat treatment on the continuous production of food foams", *Food Research International*, 43(6), 1585-1593.
- Oborocanu, D., Wang, L., Magner, E., Auty, M. A. E. 2014. "Fibrillization of whey proteins improves foaming capacity and foam stability at low protein concentrations", *Journal of Food Engineering*, 121, 102-111.
- Oduse, K., Campbell, L., Lonchamp, J., Euston, S. R. 2017. "Electrostatic complexes of whey protein and pectin as foaming and emulsifying agents", *International Journal of Food Properties*, 20(sup3), S3027-S3041.
- Osterholt, K. M., Roe, L. S., Rolls, B. J. 2007. "Incorporation of air into a snack food reduces energy intake", *Appetite*, 48, 351-358.
- Ozcelik, M., Ambros, S., Heigl, A., Dachmann, E., Kulozik, U. 2019. "Impact of hydrocolloid addition and microwave processing condition on drying behavior of foamed raspberry puree", *Journal of Food Engineering*, 240, 83-98.
- Özdikicierler, O. 2010. "Çöven ekstraktı tozu eldesi". Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi. Türkiye.
- Pernell, C. W., Foegeding, E. A., Daubert, C. R. 2000, "Measurement of the yield stress of protein foams by vane rheometry", *Journal of Food Science*, 65(1), 110-114.
- Peters, H. P. F., Koppenol, W. P., Schuring, E. A. H., Abrahamse, S. L., Mela, D. J. 2015. "The effect of a low-energy food foam on appetite measures during 1-day reduced energy meal plan", *International Journal of Obesity*, 39, 361-367.
- Politova, N., Tcholakova, S., Valkova, Z., Golemanov, K., Denkov, N. D. 2018. "Self-regulation of foam volume and bubble size during foaming via shear mixing", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 539, 18-28.
- Raei, M., Rafe, A., Shahidi, F. 2018. "Rheological and structural characteristics of whey protein-pectin complex coacervates", *Journal of Food Engineering*, 228, 25-31.
- Raharitsifa, N., Genovese, D. B., & Ratti, C. (2006). Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. *Journal of Food Science*, 71(3), E142-E151. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15627.x>
- Ronkart, S. N., Paquot, M., Deroanne, C., Fougnyes, C., Besbes, S., Blecker, C. S. 2010. "Development of gelling properties of inulin by microfluidization", *Food Hydrocolloids*, 24(4), 318-324.
- Rusu, A., Randriambelonoro, M., Perrin, C., Valk, C., Alvarez, B., Schwarze, A. 2020. "Aspects influencing food intake and approaches towards personalising nutrition in the elderly", *Journal of Population Ageing*, 13, 239-256.
- Saavedra Isusi, G. I., Bindereif, B., Karbstein, H. P., van der Schaaf, U. S. 2020. "Polymer or microgel particle: Differences in emulsifying properties of pectin as microgel or as individual polymer chains", *Colloids and Surfaces A*, 598, 1-9.
- Salahi, M. R., & Mohebbi, M. (2021). Development of soy milk in the form of wet foam in the presences of whey protein concentrate and polysaccharides at different whipping temperatures: Study of physical, rheological and microstructural properties. *LWT*, 137, 110444.
- Sarkar, A., Murray, B., Holmes, M., Ettelaie, R., Abdalla, A., & Yang, X. (2016). In vitro digestion of Pickering emulsions stabilized by soft whey protein microgel particles: Influence of thermal treatment. *Soft Matter*, 12(15), 3558-3569. <https://doi.org/10.1039/C5SM02998H>

Schmitt, C., Moitzi, C., Bovay, C., Rouvet, M., Bovetto, L., Donato, L., Leser, M. E., Schurtenberger, P., Stradner, A. 2010. "Internal structure and colloidal behaviour of covalent whey protein microgels obtained by heat treatment", *Soft Matter*, 6(19), 4876-4884.

Shao, Y.-Y., Lin, K.-H., Kao, Y.J. 2016. "Modification of foaming properties of commercial soy protein isolates and concentrates by heat treatments", *Journal of Food Quality*, 39(6), 695-706.

Shewan, H. M., Stokes, J. R. 2013. "Review of techniques to manufacture micro-hydrogel particles for the food industry and their applications", *Journal of Food Engineering*, 119(4), 781-792.

Shi, J., Arunasalam, K., Yeung, D., Kakuda, Y., Mittal, G., Jiang, Y. 2004. "Saponins from edible legumes: chemistry, processing, and health benefits", *Journal of Medicinal Food*, 7(1), 67-78.

Singer, N. S., Dunn, J. M. 1990. "Protein microparticulation - The principle and the process", *Journal of the American College of Nutrition*, 9, 388-397.

Stantiall, S. E., Dale, K. J., Calizo, F. S., Serventi, L. 2018. "Application of pulses cooking water as functional ingredients: the foaming and gelling abilities", *European Food Research and Technology*, 244(1), 97-104.

Stokes, J. R. 2012. "Food biopolymer gels, microgel and nanogel structures, formation and rheology". *Food Materials Science and Engineering*. Editor: Bhandari, B., Roos, Y. H. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.

Tefenlili, İ. 2017. "Leblebi sektörünün durumu ve sorunları", *Yemeklik Tane Baklagiller Çalıştayı* (10-12 Mayıs 2017), Mersin: Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü.

Thakur, R. K., Vial, C., Djelveh, G. 2003. "Influence of operating conditions and impeller design on the continuous manufacturing of food foams", *Journal of Food Engineering*, 60(1), 9-20.

Tontul, İ., Kasimoglu, Z., Asik, S., Atbakan, T., Topuz, A. 2018. "Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying", *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1253-1259.

Toro-Sierra, J., Schumann, J., Kulozik, U. 2013. "Impact of spray-drying conditions on the particle size of microparticulated whey protein fractions", *Dairy Science & Technology*, 93(4), 487-503.

Torres, M. D., Gadala-Maria, F., Wilson, D. I. 2013. "Comparison of the rheology of bubbly liquids prepared by whisking air into a viscous liquid (honey) and a shear-thinning liquid (guar gum solutions)", *Journal of Food Engineering*, 118(2), 213-228.

Van der Plancken, I., Van Loey, A., Hendrickx, M. 2007. "Effect of moisture content during dry-heating on selected physicochemical and functional properties of dried egg white", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(1), 127-135.

Villay, A., Lakkis de Filippis, F., Picton, L., Le Cerf, D., Vial, C., Michaud, P. 2012. "Comparison of polysaccharide degradations by dynamic high-pressure homogenization", *Food Hydrocolloids*, 27, 278-286.

Wada, R., Yamamoto, N., Komagome, N., Mineki, M. 2018. "Dysphagia diet for elderly prepared by espuma method", *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 8, 80.

Wolf, B., Frith, W. J., Norton, I. T. 2001a. "Influence of gelation on particle shape in sheared biopolymer blends", *Journal of Rheology*, 45, 1141-1157.

Wolf, B., Frith, W. J., Singleton, S., Tassieri, M., Norton, I. T. 2001b. "Shear behaviour of biopolymer suspensions with spheroidal and cylindrical particles", *Rheologica Acta*, 40, 238-247.

Yang, J., Liu, G., Zeng, H., Chen, L. 2018. "Effects of high pressure homogenization on faba bean protein aggregation in relation to solubility and interfacial properties", *Food Hydrocolloids*, 83, 275-286.

Yang, X., Berry, T. K., Foegeding, E. A. 2009. "Foams prepared from whey protein isolate and egg white protein: 1. physical, microstructural, and interfacial properties", *Journal of Food Science*, 74(5), E259-E268.

Zhang, S., Holmes, M., Ettelaie, R., & Sarkar, A. (2020). Pea protein microgel particles as Pickering stabilisers of oil-in-water emulsions: Responsiveness to pH and ionic strength. *Food Hydrocolloids*, 102, 105583. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105583>

Zuniga, R. N., Aguilera, J. M. 2008. "Aerated food gels: fabrication and potential applications", *Trends in Food Science & Technology*, 19(4), 176-187.