

Production of Dietary Fiber from Legume Processing Waste

Asiye Özcan Tarım ^{1*}, Cem Baltacıoğlu ²

¹ Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 51200, Niğde, Turkey.

² Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 51200, Niğde, Turkey.

Abstract

This study evaluated the isolation of dietary fibre from husks obtained after boiling cowpeas (*Vigna unguiculata*), white beans (*Phaseolus vulgaris*), and lentils (*Lens culinaris*) using homogenisation and control methods. Legumes were boiled until the husks separated and then soaked in cold water for husk removal. The moisture content of fresh husks ranged from 77.4% to 86%, while water activity (a_w) values were between 0.95 and 0.96. Dietary fibre production using the homogenisation method was successful only for white beans, yielding 15.83 g of dietary fibre. Colour analysis showed that the dried white bean sample had the highest L^* value (80.07), indicating the lightest colour, while cowpea and lentil samples exhibited lower and similar L^* values. All samples had low a^* values, reflecting greenish tones, whereas positive b^* values indicated yellow hues, especially in lentils. Green lentils demonstrated the highest water-holding capacity (4.24 g/g), while cowpeas had the lowest (1.78 g/g). In contrast, cowpeas showed the highest oil-holding capacity (1.97 g/g), whereas lentils had the lowest (1.18 g/g). Total phenolic content varied significantly among samples: cowpeas had the highest value (78.52 mg GAE/100 g), followed by lentils (49.85 mg GAE/100 g), while white beans showed very low phenolic content (3.05 mg GAE/100 g). Principal component analysis (PCA) was applied to evaluate physicochemical properties. The PCA score plot revealed clear grouping of samples according to their characteristics. White bean samples differed from cowpea and lentil samples along principal component 1, while lentil samples were separated from the others along principal component 2.

Keywords: Cowpea, white(dry) bean, green lentil, dietary fiber, physicochemical properties, principal component analysis (PCA)

Baklagil İşleme Atıklarından Diyet Lifi Üretimi

Özet

Bu çalışmada yüksek diyet lifi kaynağı olarak seçilen börülce (*Vigna unguiculata*), beyaz fasulye (*Phaseolus vulgaris*), ve mercimeğin (*Lens culinaris*) suda haşlandıktan sonra ortaya çıkan atık zar kabuklarının homojenizasyon ve kontrol grubu yöntemiyle diyet lifinin izole edilmesi değerlendirilmiştir. Çalışmada börülce, beyaz fasulye ve yeşil mercimek suda kabukları ayrılınca kadar haşlanmış, ardından soğuk suda bekletilerek zar kabukları ayrıştırılmıştır. Elde edilen yaş zar kabuklarının nem oranlarının %77,4–86 arasında, su aktivitesi (a_w) değerlerinin ise 0,95–0,96 aralığında olduğu belirlenmiştir. Zar kabuklarından diyet lifi üretimi homojenizasyon yöntemiyle yalnızca beyaz fasulye için gerçekleştirilmiş ve 15,83 g diyet lifi elde edilmiştir. Kuru fasulye örneğinin L^* değeri (80,07) en yüksek olup en açık renkli numune olduğunu gösterirken, börülce ve yeşil mercimek benzer ve daha düşük L^* değerlerine sahiptir. Tüm örneklerde a^* değerleri düşük olup yeşile yakın tonları işaret ederken, b^* değerleri pozitif olup sarı tonların özellikle yeşil mercimekte daha belirgin olduğunu göstermektedir. Yeşil mercimek 4,24 değeriyle en yüksek su tutma kapasitesine (%45) sahipken, börülce ise 1,78 değeriyle (%19) en düşük su tutma kapasitesini göstermektedir. Börülce 1,97 değeriyle en yüksek yağ tutma kapasitesine (%40) sahipken, yeşil mercimek ise 1,18 değeriyle (%24) en düşük yağ tutma kapasitesini göstermektedir. Börülce, yeşil mercimek ve beyaz fasulye diyet lifi örneklerinin toplam fenolik madde içerikleri karşılaştırılmıştır. Börülce 78,52 mgGAE/100 g ile en yüksek fenolik madde içeriğine sahipken, onu 49,85 mgGAE/100 g ile yeşil mercimek izlemektedir. Beyaz fasulye ise 3,05 mgGAE/100 g değeriyle oldukça düşük fenolik içeriğe sahiptir. Fizikokimyasal analizler sonucunda elde edilen veriler çoklu değişken analiz yöntemlerinden temel bileşen analizi (PCA) kullanılarak analiz edilmiştir. PCA skor grafiği incelendiğinde farklı örneklerin fizikokimyasal özelliklerine göre gruplandığı gözlenmiştir. Fasulye örneğinin, börülce ve mercimek örneklerinden temel bileşen 1' e göre farklılaştığı görülmüştür. Mercimek örneğinin, börülce ve fasulye örneklerinden temel bileşen 2' ye göre farklılaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Börülce, beyaz (kuru) fasulye, yeşil mercimek, diyet lifi, fizikokimyasal özellikler, temel bileşen analizi (PCA)



Giriş

Baklagiller, yüksek besin değerleri nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahip bitkisel gıda grubunu oluşturmaktadır. Karbonhidrat, protein, diyet lifi, vitamin, mineral madde ve çeşitli fitokimyasal bileşenler bakımından zengin olmaları nedeniyle birçok ülkede temel besin kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle içerdiği diyet lifi sayesinde sindirim sistemi sağlığının korunmasına katkıda bulunmakta, bağırsak fonksiyonlarını düzenlemekte ve çeşitli kronik hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Gıda sanayisinde gerçekleştirilen endüstriyel işlemler sırasında önemli miktarda yan ürün ve atık oluşmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı, içerdiği değerli bileşenlere rağmen ekonomik değere dönüştürülemeden uzaklaştırılmaktadır. Günümüzde sürdürülebilir üretim anlayışı kapsamında bu yan ürünlerin yeniden değerlendirilmesi hem çevresel problemlerin azaltılması hem de ekonomik katma değer oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır. Baklagillerin haşlanması sırasında ayrılan zar kabukları da yüksek miktarda diyet lifi içeren önemli yan ürünler arasında yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında, börülce (*Vigna unguiculata*), beyaz fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve yeşil mercimek (*Lens culinaris*) haşlama işlemi sırasında oluşan zar kabuğu atıklarından farklı yöntemlerle diyet lifi elde edilmesi amaçlanmıştır.

Materyal Metot

Haşlama işleminin ardından örnekler süzgeç yardımıyla 10 dakika süreyle süzölmüştür. Daha sonra örnekler, nem içeriği %10'un altına düşene kadar laboratuvar tipi tepsili hava sirkülasyonlu etüvde (Isotex, Türkiye) 50°C'de kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, öğütücüde (Demsan, Türkiye) toz haline getirilmiş, analizler öncesinde uygun şekilde ambalajlanmış ve kullanım zamanına kadar 4 ± 1°C'de muhafaza edilmiştir.

Diyet Lifi Üretimi

Huang vd. (2021) tarafından uygulanan diyet lifi elde etme metoduna göre homojenize diyet lifi elde edilmiştir. Yöntemin uygulanmasında başlangıçta, 20 g toz numuneye 500 mL saf su ilave edilmiş ve hazırlanan süspansiyon oda sıcaklığında 30 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda (Mtops HS330, Çin) karıştırılmıştır. Daha sonra süspansiyon, yüksek hızlı bir homojenizatör kullanılarak 5800 rpm'de 9 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işleminin ardından süspansiyon oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve pH değeri 1 M sodyum hidroksit çözeltisi kullanılarak 7,0'a ayarlanmıştır. Daha sonra numune 8000 ×g'de 10 dakika süreyle santrifüjlenmiş (Nüve, Türkiye) ve oluşan çökelti toplanmıştır. Çökelti, etanol ile (1:2, v/v) yıkanmış, ardından bir plaka üzerine ince bir tabaka halinde yayılarak nem içeriği %10'un altına düşüncüye kadar laboratuvar tipi tepsili hava sirkülasyonlu etüvde (Isotex, Türkiye) 50°C'de kurutulmuştur. Kurutulan numune, öğütücüde (Demsan, Türkiye) toz haline getirilmiş, analizler öncesinde uygun şekilde ambalajlanmış ve kullanım zamanına kadar 4 ± 1°C'de muhafaza edilmiştir.

Yağ Tutma Kapasitesi (YTK)

Yağ tutma kapasitesi, Fernandez-Lopez ve ark. (2008)'nin yöntemine göre bazı modifikasyonlarla belirlenmiştir. Analiz kapsamında 1 g örnek tartılarak üzerine 30 mL ayçiçek yağı ilave edilmiştir. Karışım, vorteks cihazı (Weightlab WN-V2800, Türkiye) kullanılarak homojen hale getirilmiş ve oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Bekleme süresinin sonunda örnekler 3000×g'de 20 dakika santrifüj (Nüve, Türkiye) edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında üst faz dikkatlice uzaklaştırılmış, yağ absorblayan tortu ile birlikte Falcon tüpleri tartılmıştır. Yağ tutma kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak g yağ/g örnek cinsinden hesaplanmıştır (Fernandez-Lopez ve ark., 2008).

$$\text{Yağ tutma kapasitesi (g/g)} = (c - (a + b)) / b$$

Burada; **a**: Falcon tüpünün ağırlığı (g), **b**: Örnek ağırlığı (g), **c**: Santrifüj sonrasında Falcon tüpü ile birlikte yağ absorbe etmiş katı kısmın toplam ağırlığı (g)

Su Tutma Kapasitesi (STK)

Su tutma kapasitesi, Fernandez-Lopez ve ark. (2008)'nin yöntemine göre belirlenmiştir. Analiz kapsamında darası alınmış Falcon tüplerine yaklaşık 100 mg diyet lifi örneği tartılmış ve her bir tüpe 30 mL saf su ilave edilmiştir. Karışım, vorteks cihazı (Weightlab WN-V2800, Türkiye) kullanılarak homojen hale getirilmiş ve oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Bekleme süresinin ardından örnekler 3000×g'de 20 dakika santrifüj (Nüve, Türkiye) edilmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında üst faz dikkatlice uzaklaştırılmış, su absorbe eden tortu ile birlikte Falcon tüpleri tartılmıştır. Su tutma kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak g su/g örnek cinsinden hesaplanmıştır (Fernandez-Lopez ve ark., 2008).

$$\text{Su tutma kapasitesi (g/g)} = (c - (a + b)) / b$$

Burada; **a**: Falcon tüpünün ağırlığı (g), **b**: Örnek ağırlığı (g), **c**: Santrifüj sonrasında Falcon tüpü ile birlikte su absorbe etmiş katı kısmın toplam ağırlığı (g)



Renk Tayini

Lif numunelerinin renk parametreleri, kolorimetre cihazı (ChromaMeter CR-400, Konica Minolta, Japonya) kullanılarak CIELab renk sistemine göre belirlenmiştir. Ölçümlerde L* değeri parlaklığı ifade etmekte olup 0 siyahı, 100 ise beyazı temsil etmektedir. a* değeri pozitif yönde kırmızılığı, negatif yönde yeşilliği; b* değeri ise pozitif yönde sarılığı, negatif yönde maviliği göstermektedir. Numunelerin renk ölçümleri üç farklı noktadan alınmış ve ortalama değerler hesaplanmıştır. Kroma (C*) ve hue açısı (h°) değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h^{\circ} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

Toplam Fenolik Madde Tayini

Toplam fenolik madde tayini, Folin-Ciocalteu yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Ekstraktan 100 µL alınarak üzerine 0,75 mL %10 (v/v) Folin-Ciocalteu çözeltisi ilave edilmiş ve karışım oda sıcaklığında 5 dakika bekletilmiştir. Daha sonra 0,75 mL sodyum karbonat (Na₂CO₃, 75 g/L) çözeltisi eklenmiş ve karışım vorteksenerek homojen hale getirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığında karanlık ortamda 90 dakika inkübe edilmiş, inkübasyon sonunda absorbans değerleri 725 nm'de spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Standart madde olarak gallik asit kullanılmış ve farklı konsantrasyonlarda hazırlanan gallik asit çözeltileri ile kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Ekstraktların toplam fenolik madde içerikleri, gallik asit kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/kg örnek olarak ifade edilmiştir.

Antioksidan Aktivite Tayini

Ekstraktların serbest radikal giderme aktiviteleri, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikalini esas alan Blois (1958) yöntemine göre belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan ekstraktlardan 100 µL alınarak üzerine 3,9 mL 0,1 mM DPPH çözeltisi (%80 etanol içerisinde hazırlanmış) ilave edilmiştir. Karışımlar vorteksenerek homojen hale getirilmiş ve oda sıcaklığında karanlık ortamda 30 dakika bekletilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda örneklerin absorbansları 517 nm'de spektrofotometre ile ölçülmüştür. Kontrol örneği, ekstrakt yerine 100 µL %80 etanol kullanılarak aynı koşullarda hazırlanmıştır. DPPH radikalini giderme aktivitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ DPPH Radikalı Giderme Aktivitesi} = [(Kontrol \text{ Absorbansı} - Örnek \text{ Absorbansı}) / Kontrol \text{ Absorbansı}] \times 100$$

İstatistiksel Analizler

Fizikokimyasal analizlerinin sonuçları temel bileşen analizi (PCA gibi kemometrik yöntemle Minitab 17 (Minitab Inc., State College, ABD) programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışmalar

Elde edilen diyet lifi örneklerinde kuru madde, nem, su aktivitesi, renk analizi, su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen diyet liflerinin un yerine %1, %3 ve %5 oranlarında ikame edilmesiyle fonksiyonel erişte üretimi planlanmıştır. Üretilen eriştelerde fizikokimyasal analizlerin yanı sıra pişirme ve duyu analizlerin yapılması hedeflenmiştir.

Haşlama sonrasında elde edilen yaş zar kabuklarının nem oranları oldukça yüksek bulunmuştur. Fasulye zar kabuğunun nemi %77,4, börülcenin %82,5 ve yeşil mercimeğin ise %86 olarak belirlenmiştir. Su aktivitesi değerleri ise 0,95–0,96 arasında değişmiştir. Bu sonuçlar zar kabuklarının mikrobiyal gelişime oldukça uygun olduğunu ve depolama öncesinde mutlaka kurutulması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 1. Baklagil zar kabuklarının etüvde kuruduktan sonra nem değerleri (%)

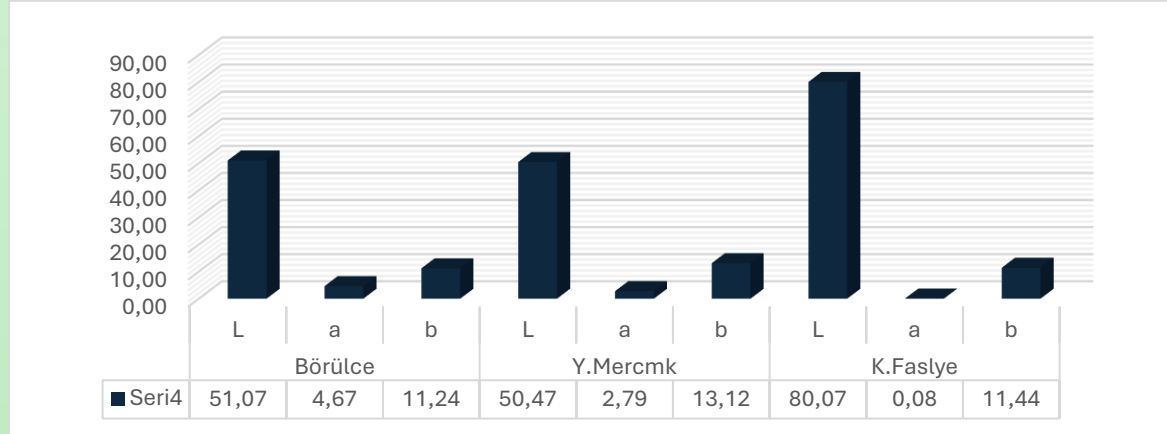
Baklagil Zar Kabukları	Nem (%)
Fasulye Zar Kabuğu	2,29
Börülce Zar Kabuğu	3,7
Yeşil Mercimek Zar Kabuğu	2,86

Homojenizasyon yöntemi sonucunda yalnızca beyaz fasulye zar kabuğundan 15,83 g diyet lifi elde edilmiştir. Bu yöntem, mekanik parçalama ile lif bileşenlerinin ayrıştırılmasında etkili bulunmuştur.

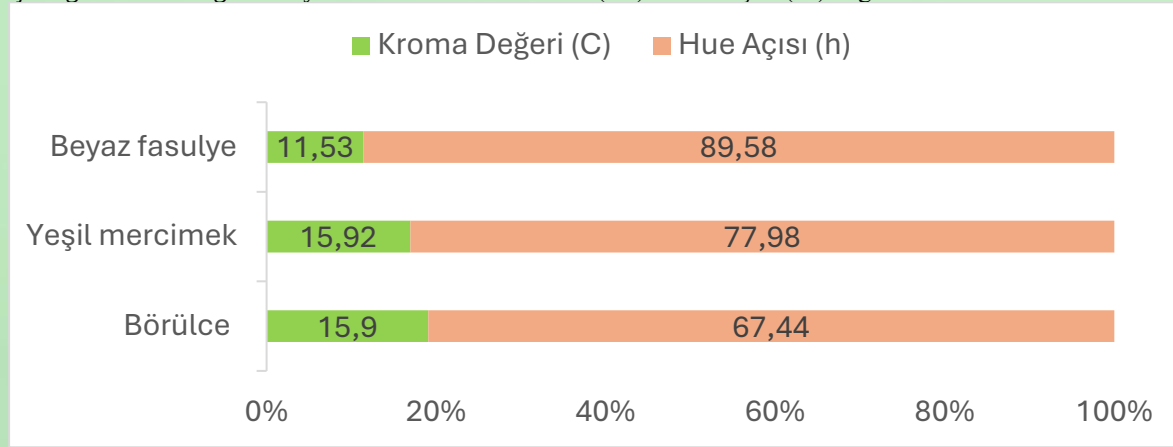
Renk analizinde CIELab sistemi kullanılmıştır. L* değeri açıklığı, a* değeri kırmızı-yeşil eksenini ve b* değeri sarı-mavi eksenini ifade etmektedir. Hesaplanan kroma ve hue açıları incelendiğinde tüm örneklerin sarı-yeşil renk bölgesinde yer aldığı belirlenmiştir. Beyaz fasulye örneklerinin daha açık renkte olduğu görülmüştür.



Çizelge 2. Kontrol grubu diyet lifi örneklerinde L, a ve b değerleri



Çizelge 3. Kontrol grubu diyet lifi örneklerinde kroma (C*) ve hue açısı (h°) değerleri



Su tutma kapasitesi analizinde diyet liflerinin önemli miktarda su absorplayabildiği belirlenmiştir. Liflerin yüksek su tutma kapasitesi, fonksiyonel gıdalarda tekstürün geliştirilmesi ve raf ömrünün uzatılması açısından önemli avantaj sağlamaktadır. Yağ tutma kapasitesi sonuçlarında ise börülce örneği 1,97 g/g ile en yüksek değeri göstermiştir. Beyaz fasulye ve yeşil mercimek örnekleri ise sırasıyla 1,79 ve 1,18 g/g yağ tutma kapasitesine sahip olmuştur. Toplam fenolik madde analizinde en yüksek değer börülce örneğinde $78,52 \pm 1,77$ mg GAE/100 g olarak belirlenmiştir. Yeşil mercimek örneğinde bu değer $49,85 \pm 1,66$ mg GAE/100 g, beyaz fasulyede ise yalnızca $3,05 \pm 0,41$ mg GAE/100 g olarak bulunmuştur. Sonuçlar, börülce zar kabuğunun fenolik bileşikler bakımından oldukça zengin olduğunu göstermektedir. Antioksidan aktivite sonuçları toplam fenolik madde sonuçları ile paralellik göstermiştir. DPPH yöntemiyle belirlenen inhibisyon değerlerine göre börülce örneği %63,07 ile en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olurken, yeşil mercimek %46,50, beyaz fasulye ise %12,12 inhibisyon göstermiştir. Bu sonuçlar fenolik madde miktarı arttıkça antioksidan kapasitenin de arttığını ortaya koymaktadır. Fizikokimyasal analiz sonuçları çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden Temel Bileşen Analizi (PCA) kullanılarak değerlendirilmiştir. PCA analizinde toplam varyansın %99,60'ı ilk iki temel bileşen tarafından açıklanmıştır. Birinci temel bileşen (PC1) toplam varyansın %59,50'sini, ikinci temel bileşen (PC2) ise %40,20'sini açıklamıştır. Skor grafikleri incelendiğinde beyaz fasulye örneklerinin PC1 ekseninde diğer örneklerden ayrıldığı, yeşil mercimek örneklerinin ise PC2 ekseninde farklılaştığı belirlenmiştir. Korelasyon analizinde PC1'in toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve a^* değeri ile pozitif ilişki gösterdiği; L^* , b^* ve su tutma kapasitesi ile negatif ilişki içerisinde olduğu belirlenmiştir. PC2 ise yağ tutma kapasitesi ile pozitif korelasyon göstermiştir. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) sonuçlarında örnekler üç farklı grup altında başarılı şekilde sınıflandırılmıştır. Fasulye örnekleri kendi içerisinde %99,63, mercimek örnekleri %96,59 ve börülce örnekleri %94,71 benzerlik göstermiştir. Börülce ve mercimek örnekleri birbirine %62,29 oranında benzer bulunurken beyaz fasulye örnekleri bu iki gruptan belirgin şekilde ayrılmıştır.

Bu çalışma sonucunda endüstriyel baklagil işleme proseslerinde oluşan zar kabuğu atıklarının önemli bir diyet lifi kaynağı olduğu ortaya konulmuştur. Zar kabuklarından elde edilen diyet liflerinin fizikokimyasal özellikleri başarılı şekilde belirlenmiş ve fonksiyonel gıda üretiminde kullanılabilecek potansiyele sahip oldukları gösterilmiştir. Özellikle börülce zar kabuğu yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi sayesinde öne çıkmıştır. Beyaz fasulye ise renk özellikleri bakımından daha avantajlı bulunmuştur. Elde edilen bulgular, baklagil



işleme atıklarının çevresel yük oluşturan bir atık olmaktan çıkarılarak katma değeri yüksek fonksiyonel gıda bileşenlerine dönüştürülebileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım sürdürülebilir gıda üretimi, döngüsel ekonomi ve atıkların değerlendirilmesi açısından önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca ilerleyen aşamalarda bu diyet liflerinin farklı oranlarda erişte formülasyonuna ilave edilmesiyle geliştirilecek fonksiyonel ürünlerin besleyici değerinin artırılması ve tüketici kabulünün değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Bu çalışmada börülce, beyaz fasulye ve yeşil mercimeğin haşlama işlemi sonrasında ayrılan zar kabuklarının diyet lifi kaynağı olarak değerlendirilmesi, baklagil işleme yan ürünlerinin fonksiyonel bileşenlere dönüştürülmesi açısından önemli bir yaklaşım ortaya koymuştur. Son yıllarda baklagil yan ürünlerinin yalnızca düşük değerli yem materyali veya atık olarak değil; diyet lifi, fenolik bileşikler ve doğal antioksidanlar bakımından zengin fonksiyonel gıda bileşenleri olarak ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Nartea ve ark., 2023; Guo ve ark., 2024). Özellikle baklagil kabukları/zarları, kotiledon fraksiyonuna kıyasla daha yüksek oranda çözünmeyen diyet lifi ve çoğu zaman daha yoğun fenolik madde içeriği taşımaları nedeniyle sürdürülebilir gıda formülasyonlarında dikkate değer bir hammaddedir (Looi ve ark., 2023; Pathiraja ve ark., 2023). Haşlama sonrasında elde edilen yaş zar kabuklarının nem içeriğinin (%77,4–86) ve su aktivitesi değerlerinin (0,95–0,96) oldukça yüksek bulunması, bu materyallerin mikrobiyal bozulmaya açık olduğunu ve stabil bir bileşen olarak değerlendirilebilmesi için kurutma işleminin zorunlu olduğunu göstermektedir. Baklagil işleme yan ürünleri genellikle yüksek başlangıç nemine sahip olduklarından, depolama kararlılığı için kurutma temel bir ön işlem olarak kabul edilmektedir. Nitekim baklagil yan ürünlerinin gıda formülasyonlarında kullanılabilmesi için nemin düşürülmesi, su aktivitesinin kontrol altına alınması ve öğütülebilir bir yapı kazanması gerektiği bildirilmektedir (Nartea ve ark., 2023). Bu açıdan çalışmada zar kabuklarının kurutularak toz forma dönüştürülmesi, hem raf ömrü hem de sonraki ürün uygulamaları bakımından uygun bir yaklaşım olmuştur. Homojenizasyon yönteminin yalnızca beyaz fasulye zar kabuğunda başarılı sonuç vermesi, baklagil türleri arasındaki hücre duvarı yapısı, pektik madde düzeyi, lignoselülozik yapı ve kabuk-kotiledon ayrılma davranışındaki farklılıklarla ilişkili olabilir. Baklagil kabuklarının yapısal özellikleri tür, çeşit, renk ve işleme geçmişine bağlı olarak belirgin biçimde değişmektedir; bu durum lif izolasyon verimini ve uygulanacak ön işlemlerin etkinliğini doğrudan etkileyebilmektedir (Nartea ve ark., 2023; Guo ve ark., 2024). Dolayısıyla beyaz fasulye zar kabuğunun homojenizasyonla daha uygun lif fraksiyonu vermesi, kabuk yapısının mekanik parçalanmaya daha elverişli olmasıyla açıklanabilir. Buna karşılık börülce ve mercimek kabuklarında aynı yöntemin yetersiz kalması, bu örneklerde enzimatik veya alkali destekli izolasyonun daha etkili olabileceğine işaret etmektedir. Bu bulgu, farklı baklagil yan ürünleri için tek bir izolasyon protokolünün yeterli olmayabileceğini, türe özgü optimizasyon gereksinimini göstermesi bakımından önemlidir. Renk analizinde beyaz fasulye zar kabuğu örneğinin en yüksek L* değerine sahip olması, bu örneğin daha açık renkli bir lif tozu verdiğini göstermektedir. Buna karşılık börülce ve yeşil mercimek örneklerinin daha düşük L* değerleri ve daha yüksek a*/b* katkıları, bu örneklerin daha koyu ve pigmentçe daha zengin yapıda olduğunu düşündürmektedir. Baklagillerde kabuk rengi yalnızca görsel bir kalite parametresi değil, aynı zamanda fenolik bileşik profili ile ilişkili bir göstergedir. Özellikle koyu renkli veya pigmentli kabukların fenolik asitler, flavonoidler, tanenler ve proantosiyanidinler bakımından daha zengin olduğu; açık renkli kabukların ise daha düşük antioksidan kapasite gösterdiği sıklıkla bildirilmektedir (Troszyńska ve Ciska, 2002; Tzanova ve ark., 2023). Bu çalışmada da beyaz fasulyenin daha açık renkli yapısı ile çok düşük toplam fenolik madde içeriği birlikte değerlendirildiğinde, renk parametreleri ile fenolik bileşenler arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Börülce ve yeşil mercimekte gözlenen daha belirgin sarı/yeşil tonlar ise fenolik profildeki farklılıkların yanı sıra doğal pigmentler ve kabuk matriksinin yapısal özellikleri ile ilişkili olabilir.

Diyet liflerinin fonksiyonel özelliklerinden biri olan su tutma kapasitesi (STK), ürünün hamur reolojisi, tekstürü, pişme davranışı ve raf ömrü üzerinde belirleyici bir parametredir. Bu çalışmada en yüksek STK'nın yeşil mercimek zar kabuğunda (4,24 g/g), en düşük değerin ise börülcede (1,78 g/g) belirlenmesi, lif kaynağının türüne bağlı olarak su ile etkileşim davranışının önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Su tutma kapasitesi; lifin toplam diyet lifi miktarı, çözünür/çözünmeyen lif oranı, porozite, partikül boyutu, protein-polifenol etkileşimleri ve hücre duvarı polisakkarit kompozisyonu tarafından etkilenmektedir. Yüksek STK değerleri genellikle selüloz, hemiselüloz ve pektik yapıların suyu fiziksel olarak tutabilme kapasitesi ile ilişkilendirilirken, lif matrisinin daha gevşek ve gözenekli yapıda olması da bu özelliği artırabilmektedir (Cheng ve ark., 2024). Yeşil mercimek örneğinin daha yüksek STK göstermesi, mercimek zar kabuğunun su bağlama açısından daha uygun bir lif matrisi sunduğunu düşündürmektedir. Bu durum özellikle erişte gibi su ile hazırlanan ürünlerde verim, pişirme kaybı ve tekstürel yapı üzerinde olumlu etki oluşturabilir. Bununla birlikte çok yüksek STK'nın bazı formülasyonlarda hamur sertliğini ve işlenebilirliği de etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Yağ tutma kapasitesi (YTK) bakımından en yüksek değerin börülce örneğinde (1,97 g/g) belirlenmesi, bu örneğin hidrofobik bağlanma bölgeleri ve lif yüzey özellikleri bakımından daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Diyet liflerinin yağ tutma kapasitesi, özellikle emülsifiye et ürünleri, fırıncılık ürünleri, atırtmalıklar ve erişte benzeri ürünlerde aroma bileşiklerinin tutulması, ağız hissinin iyileştirilmesi ve ürün stabilitesinin artırılması açısından önemlidir. YTK; lifin yüzey alanı, gözenek yapısı, protein kalıntıları ve lignin/hemiselüloz oranı ile yakından ilişkilidir (Martínez-Castaño ve ark., 2020; Martens, 2017). Börülce zar kabuğunun daha yüksek YTK göstermesi, bu lifin özellikle yağ içeren formülasyonlarda veya lezzet taşıyıcı sistemlerde fonksiyonel bir bileşen



olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık mercimek örneğinin daha düşük YTK göstermesi, bu materyalin daha çok su bağlama kapasitesine dayalı uygulamalarda avantaj sağlayabileceğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, baklagil zar kabuklarının gıda uygulamalarında “tek tip lif kaynağı” olarak değil, fonksiyonel özelliğe göre seçilecek bileşenler olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Toplam fenolik madde içeriği bakımından börülce zar kabuğunun açık ara en yüksek değeri göstermesi (78,52 mg GAE/100 g), bu materyalin yalnızca diyet lifi değil aynı zamanda önemli bir fenolik bileşik kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır. Yeşil mercimekte orta düzeyde fenolik madde bulunurken, beyaz fasulyede oldukça düşük bir değer saptanmıştır. Bu farklılıklar, baklagillerde fenolik bileşiklerin önemli bir kısmının kabukta yoğunlaşması ve özellikle koyu/pigmentli tohum kabuklarında daha yüksek düzeylerde bulunması ile uyumludur. Cowpea (börülce) üzerinde yapılan çalışmalarda, özellikle koyu renkli veya pigmentli kabukların yüksek antioksidan kapasite ve yüksek toplam fenolik madde içeriği gösterdiği bildirilmiştir (Zia-Ul-Haq ve ark., 2013; Tzanova ve ark., 2023). Benzer şekilde lentil seed coat fraksiyonunun da fenolik asitler, kateşinler, proantosyanidinler ve diğer antioksidan bileşikler bakımından zengin olduğu rapor edilmiştir (Pathiraja ve ark., 2023; Zhang ve ark., 2018). Beyaz fasulyede belirlenen düşük fenolik madde içeriği ise beyaz tohum kabuğunun düşük pigmentasyonuna ve daha sınırlı fenolik birikimine bağlanabilir. Bu bağlamda çalışmanın bulguları, baklagil kabuk renginin yalnızca görsel bir kalite göstergesi olmadığını, aynı zamanda biyoaktif bileşen düzeyi hakkında önemli bir öngörü sağlayabildiğini göstermektedir.

Antioksidan aktivite sonuçlarının toplam fenolik madde sonuçları ile paralel seyretmesi, çalışmada belirlenen biyoaktif profilin güvenilirliğini desteklemektedir. Börülce örneğinin en yüksek DPPH inhibisyonunu göstermesi, fenolik bileşiklerin serbest radikal süpürme kapasitesine önemli katkı sağladığını düşündürmektedir. Fenolik bileşikler, hidroksil grupları aracılığıyla serbest radikallere elektron veya hidrojen bağışlayarak antioksidan etki göstermekte; bu nedenle toplam fenolik madde ile antioksidan kapasite arasında çoğu zaman pozitif bir ilişki gözlenmektedir (Looi ve ark., 2023). Bununla birlikte antioksidan aktivitenin yalnızca toplam fenolik miktarına değil, fenolik bileşiklerin yapısına, polimerizasyon derecesine ve matrikse bağlı ekstrakte edilebilirliğine de bağlı olduğu unutulmamalıdır. Özellikle börülce ve mercimek kabuklarında bulunan kondanse tanenler ve proantosyanidinler güçlü antioksidan kapasite sağlayabilmektedir (Pathiraja ve ark., 2023; Troszyńska ve Ciska, 2002). Bu nedenle ilerleyen çalışmalarda HPLC veya LC-MS tabanlı fenolik profil analizleri yapılarak hangi bileşiklerin antioksidan aktiviteyi daha fazla yönlendirdiği ayrıntılı biçimde ortaya konabilir.

PCA sonuçları, baklagil zar kabuklarından elde edilen lif örneklerinin fizikokimyasal ve biyoaktif özellikler bakımından belirgin biçimde ayrıldığını göstermiştir. Toplam varyansın çok büyük bir kısmının ilk iki temel bileşen tarafından açıklanması, seçilen analiz parametrelerinin örnekler arasındaki farkları güçlü şekilde yansıttığını göstermektedir. Beyaz fasulye örneklerinin PC1 doğrultusunda ayrılması, bu örneğin özellikle düşük fenolik içerik, düşük antioksidan aktivite ve daha açık renk gibi özelliklerle karakterize olduğunu düşündürmektedir. Yeşil mercimeğin PC2 boyunca ayrılması ise yüksek su tutma kapasitesi gibi teknolojik özelliklerin bu örneği farklılaştıran temel faktörlerden biri olduğunu göstermektedir. Çok değişkenli analizler, baklagil yan ürünlerinin fonksiyonel özelliklerini bütüncül biçimde değerlendirmede oldukça yararlıdır; çünkü tek tek parametrelerin yorumlanmasının ötesinde, kalite özellikleri arasındaki birlikte değişim yapısını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, baklagil ve baklagil yan ürünlerinin sınıflandırılmasında PCA ve kümeleme analizlerinin renk, fenolik bileşenler ve fonksiyonel özelliklerle ilişkili ayrımları başarılı biçimde ortaya koyduğu bildirilmektedir (Nartea ve ark., 2023; Multescu ve ark., 2024).

Bu çalışmanın en önemli çıktılarından biri, baklagil işleme sırasında ortaya çıkan zar kabuklarının fonksiyonel gıda bileşeni olarak değerlendirilme potansiyelinin açık biçimde gösterilmiş olmasıdır. Özellikle börülce zar kabuğu, yüksek fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi ile doğal antioksidan ve lif kaynağı olarak öne çıkarken; yeşil mercimek zar kabuğu su tutma kapasitesi açısından, beyaz fasulye zar kabuğu ise daha açık renkli lif tozu üretimi açısından avantaj sağlamıştır. Bu durum, farklı baklagil kabuklarının farklı gıda uygulamaları için özelleştirilebileceğini göstermektedir. Örneğin yüksek antioksidan kapasite istenen fonksiyonel ürünlerde börülce zar kabuğu, su bağlama ve tekstür geliştirme amacıyla erişte ve hamur bazlı ürünlerde mercimek zar kabuğu, renk açısından daha nötr bir lif bileşeni gerektiğinde ise beyaz fasulye zar kabuğu tercih edilebilir.

Sonuç

Bu çalışma, börülce, beyaz fasulye ve yeşil mercimeğin haşlama işlemi sonrasında ortaya çıkan zar kabuklarının değerli bir diyet lifi kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir. Elde edilen bulgular, baklagil zar kabuklarının yalnızca lif içeriği bakımından değil, aynı zamanda su ve yağ tutma kapasitesi, renk özellikleri, toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite gibi fonksiyonel özellikler açısından da önemli farklılıklar taşıdığını ortaya koymuştur. Özellikle börülce zar kabuğu yüksek toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan kapasitesi ile öne çıkarken, yeşil mercimek yüksek su tutma kapasitesi, beyaz fasulye ise daha açık renkli yapısı ile dikkat çekmiştir. PCA ve HCA sonuçları da örneklerin fizikokimyasal özelliklerine göre belirgin şekilde ayrıldığını doğrulamıştır. Sonuç olarak, baklagil işleme sırasında oluşan zar kabuğu atıklarının çevresel yük oluşturan bir yan ürün olmaktan çıkarılarak fonksiyonel gıda bileşeni ve alternatif lif kaynağı olarak



değerlendirilmesi mümkündür. Bu yaklaşım, sürdürülebilir gıda üretimi ve döngüsel ekonomi kapsamında atıkların katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Beyanlar

Yazar Katkı Beyanı

Asiye Özcan Tarım: Literatür taraması, ilgili kaynakların seçimi, analizlerin yapılması, verilerin ve bilgilerin derlenmesi ve makalenin yazımı. Cem Baltacıoğlu: Makalenin yazımı ve bilimsel açıdan gözden geçirilmesi.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Cheng, Z., Zhang, Y., Li, X., & diğerleri. (2025). Water-holding capacity regulation of dietary fibers in soybean residue: From modification strategies to function improvement and food texture optimization. *Food Frontiers*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/fft2.70170>
- A Keshk, S., M Abd El-Razek, A., & A Amin, W. (2008). General Characteristics and Storage Stability of Beef Burger Containing Citrus Wastes Mixture. *Alexandria Science Exchange Journal*, 29(October-December), 208-216. <https://doi.org/10.21608/asejaigjsae.2008.3200>
- Guo, F., Danielski, R., Santhiravel, S., & Shahidi, F. (2024). Unlocking the nutraceutical potential of legumes and their by-products: Paving the way for the circular economy in the agri-food industry. *Antioxidants*, 13(6), 636. <https://doi.org/10.3390/antiox13060636>
- Huang, H., Chen, J., Chen, Y., Xie, J., Liu, S., Sun, N., ... & Yu, Q. (2021). Modification of tea residue dietary fiber by high-temperature cooking assisted enzymatic method: Structural, physicochemical and functional properties. *Lwt*, 145, 111314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111314>
- Looi, E. P., & Mohd Maidin, N. (2023). The bioactivities of legumes: A review. *Food Research*, 7(5), 339–360. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(5\).083](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(5).083)
- Martens, L. G. (2017). *Pea hull fibre*. EC Nutrition.
- Martínez-Castaño, M., Mejía Díaz, D. P., Contreras-Calderón, J., & Gallardo Cabrera, C. (2020). Physicochemical properties of bean pod (*Phaseolus vulgaris*) flour and its potential as a raw material for the food industry. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(2), 9179-9187.
- Multescu, M., Popescu, A., & diğerleri. (2024). Screening of the nutritional properties, bioactive compounds and antioxidant activity of legumes. *Foods*, 13(22), 3528. <https://doi.org/10.3390/foods13223528>
- Nartea, A., Brennan, M. A., Brennan, C. S., & diğerleri. (2023). Legume byproducts as ingredients for food applications: Preparation, nutrition, bioactivity, and techno-functional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(6), 5057–5095. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13137>
- Pathiraja, D., Wanasundara, J. P. D., Elessawy, F. M., Purves, R. W., Vandenberg, A., & Shand, P. J. (2023). Water-soluble phenolic compounds and their putative antioxidant activities in the seed coats from different lentil (*Lens culinaris*) genotypes. *Food Chemistry*, 407, 135145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135145>
- Troszyńska, A., & Ciska, E. (2002). Phenolic compounds of seed coats of white and coloured pea varieties and their antioxidant activity. *Czech Journal of Food Sciences*, 20(1), 15–22.
- Tzanova, M. T., Vasileva, I., & diğerleri. (2023). Antioxidant potentials of different genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Agronomy*, 13(7), 1684. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071684>
- Zhang, B., Deng, Z., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Ramdath, D. D., & Tsao, R. (2018). Phytochemicals of lentil (*Lens culinaris*) and their antioxidant and health effects. *Journal of Food Bioactives*, 1, 93–103. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.1128>
- Zia-Ul-Haq, M., Iqbal, S., Ahmad, S., Imran, M., Niaz, A., & Bhanger, M. I. (2013). Antioxidant activity of the extracts of some cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars commonly consumed in Pakistan. *Molecules*, 18(2), 2005–2017. <https://doi.org/10.3390/molecules18022005>

