

## Protein Bazlı Ahşap Yapıştırıcılar: Ahşap Malzemenin Yapıştırılması İçin Sürdürülebilir Bir Alternatif

Saadettin Murat Onat<sup>1\*</sup> ve Engin Şahin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Orman Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Türkiye

\*(smuratonat@bartin.edu.tr)

**Özet** – Ahşap, yüzyıllardır çeşitli amaçlar için kullanılan doğal bir malzemedir. Ahşabın en yaygın kullanımlarından biri mobilya ve diğer nesnelerin imalatıdır. Güçlü ve dayanıklı ahşap ürünler oluşturmak için, ahşabı birbirine bağlamak için yapıştırıcılar kullanmak gerekmektedir. Geleneksel ahşap yapıştırıcılar genellikle olumsuz çevresel ve insan sağlığına etkileri olabilecek petrol esaslı ürünlerden yapılmaktadır. Son yıllarda, özellikle yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve daha çevre dostu olan biyolojik bazlı yapıştırıcıların geliştirilmesine artan bir ilgi mevcuttur. Protein bazlı yapıştırıcılar, ahşap yapıştırmada kullanım için umut vaat eden bir tür biyolojik bazlı yapıştırıcıdır. Bu yapıştırıcılar, bitkilerde ve hayvanlarda bulunan doğal olarak oluşan moleküller olan proteinlerden yapılır. Proteinler, onları yapıştırıcılarda kullanım için uygun hale getiren, iyi ıslanabilirlik, yüksek mukavemet ve neme karşı direnç dahil olmak üzere bir dizi özelliğe sahiptir. Protein bazlı yapıştırıcılar, ahşap yapıştırma için sıklıkla kullanılan sentetik yapıştırıcılara bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilirler, biyolojik olarak parçalanabilirler ve düşük toksisiteye sahiptirler. Ek olarak, suya dayanıklılık, mukavemet ve esneklik gibi çeşitli özellikler sağlamak için geliştirilebilirler. Bu bildiri, ahşap yapıştırma için protein bazlı yapıştırıcılarla ilgili son gelişmeler gözden geçirilmiştir. Makale, protein bazlı yapıştırıcıların tarihçesine ve ahşap yapıştırmada kullanımlarına kısa bir genel bakış ile başlamaktadır. Aşağıdaki bölümlerde, protein bazlı yapıştırıcıların yapışma mekanizması, yapıştırıcı hazırlama için potansiyel protein içeren hammadde kaynakları ve ahşap yapıştırma için protein bazlı yapıştırıcıların geliştirilmesindeki son çalışmalar tartışılmaktadır. Makale, protein bazlı yapıştırıcıların gelecekteki beklentilerini tartışarak sona ermektedir.

**Anahtar Kelimeler** – Ahşap Yapıştırma, Protein Bazlı Yapıştırıcılar, Mobilya, Müzik Aletleri Yapımı, Tutkal

### I. GİRİŞ

Ahşap, geniş bir uygulama yelpazesine sahip çok yönlü bir malzemedir. İnşaat, mobilya, döşeme ve daha birçok üründe kullanılmaktadır. Ahşap aynı zamanda yenilenebilir bir kaynaktır ve bu da onu sürdürülebilir üretim için çekici bir malzeme haline getirir. Bununla birlikte, ahşap nispeten zayıf bir malzemedir ve ahşap parçaları birleştirmek zor olabilir. Yapıştırıcılar ahşap parçaları birbirine yapıştırmak için kullanılır ve ahşap endüstrisinde önemli bir rol oynarlar.

Genellikle ahşap malzemeyi yapıştırmak için sentetik yapıştırıcılar kullanılmıştır. Bu yapıştırıcılar güçlü ve dayanıklıdır, ancak çevreye

zararlı olabilirler. Son yıllarda, protein bazlı yapıştırıcılar gibi biyo bazlı yapıştırıcıların kullanımına artan bir ilgi olmuştur [1]. Protein bazlı yapıştırıcılar, hayvansal bazlı ya da, bitkisel esaslı örneğin; soya fasulyesi, mısır ve buğday gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilirler. Biyolojik olarak parçalanabilirler ve düşük toksisiteye sahiptirler. Ek olarak, su geçirmezlik, dayanıklılık ve esneklik gibi çeşitli özellikler sağlayacak şekilde uyarlanabilirler.

Bu çalışma, ahşap yapıştırma için protein bazlı yapıştırıcıların geliştirilmesindeki son gelişmeleri gözden geçirmektedir. Bildiri, protein bazlı

yapıştırıcıların tarihçesine ve bunların ahşap yapıştırmada kullanımına ilişkin kısa bir genel bakışla başlamaktadır. Aşağıdaki bölümlerde, protein bazlı yapıştırıcıların yapışma mekanizması, yapıştırıcı hazırlama için potansiyel proteinli hammadde kaynakları ve ahşap yapıştırma için protein bazlı yapıştırıcıların geliştirilmesindeki son gelişmeler tartışılmaktadır. Çalışma, ahşap yapıştırma için protein bazlı yapıştırıcıların gelecekteki kullanımını tartışarak sona ermektedir.

#### A. Protein Bazlı Yapıştırıcıların Tarihçesi

Protein bazlı yapıştırıcılar yüzyıllardır ahşabı yapıştırmak için kullanılmıştır. En eski protein bazlı yapıştırıcılar, hayvan derileri ve kemiklerinden yapılmıştır. Bu yapıştırıcılar mobilya, silah ve diğer nesnelere yapmak için kullanıldı. 19. yüzyılda kazein ve soya proteini gibi bitki bazlı protein yapıştırıcılar geliştirildi. Bu yapıştırıcılar, hayvansal bazlı yapıştırıcılara göre daha ekonomik ve kullanımları daha kolaydı. 20. yüzyılda üre-formaldehit ve fenol-formaldehit reçineleri gibi sentetik yapıştırıcılar geliştirildi. Bu yapıştırıcılar, protein bazlı yapıştırıcılardan daha güçlü ve dayanıklıdır ve daha ucuzdur. Sonuç olarak, sentetik yapıştırıcılar, ahşap endüstrisinde büyük ölçüde protein bazlı yapıştırıcıların yerini almıştır [1],[2].

Bununla birlikte, çevresel avantajları nedeniyle protein bazlı yapıştırıcıların kullanımına artan bir ilgi vardır. Sentetik yapıştırıcılar, yenilenemeyen bir kaynak olan petrolden yapılır. Ayrıca sentetik yapıştırıcıların üretimi çevreye zararlı kirleticiler salar. Öte yandan, protein bazlı yapıştırıcılar yenilenebilir kaynaklardan yapılır ve biyolojik olarak parçalanabilir. Sonuç olarak, protein bazlı yapıştırıcılar, sentetik yapıştırıcılara göre daha sürdürülebilir bir alternatif olarak görülmektedir [3].

#### B. Protein bazlı yapıştırıcıların özellikleri

Protein bazlı yapıştırıcılar, onları ahşap yapıştırmada kullanım için çok uygun kılan bir dizi özelliğe sahiptir. Bu özellikler şunları içerir:

1. İyi ıslanabilirlik: Proteinler ahşap yüzeyleri iyi ıslatabilir, bu da iyi bir bağ için önemlidir.

2. Yüksek mukavemet: Protein bazlı yapıştırıcılar ahşap yüzeyler arasında güçlü bağlar üretebilir.
3. Neme karşı direnç: Protein bazlı yapıştırıcılar neme karşı dayanıklıdır, bu da onları dış mekan uygulamalarında kullanım için uygun hale getirir.
4. Biyolojik olarak parçalanabilirlik: Protein bazlı yapıştırıcılar biyolojik olarak parçalanabilir, bu da mikroorganizmalar tarafından parçalanabilecekleri anlamına gelir. Bu, onları geleneksel petrol bazlı yapıştırıcılardan daha çevre dostu bir seçenek haline getirir. [4]

#### C. Protein bazlı yapıştırıcıların uygulamaları

Protein bazlı yapıştırıcılar, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalara sahiptir:

1. Mobilya imalatı
2. Konstrüksiyonlarda
3. Ambalaj ürünleri
4. Tekne yapımı
5. Müzik aletleri imalatı
6. Oyuncak yapımı
7. Spor malzemeleri [2].

#### D. Protein Bazlı Yapıştırıcıların Avantajları

Protein bazlı yapıştırıcılar, geleneksel petrol bazlı yapıştırıcılara göre aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi avantaj sunar:

1. Çevre dostudur: Protein bazlı yapıştırıcılar yenilenebilir kaynaklardan yapılır ve biyolojik olarak parçalanabilir.
2. Toksik değildir: Protein bazlı yapıştırıcılar genellikle toksik değildir ve zararlı emisyonları serbest bırakmaz.
3. Güçlü ve dayanıklı olmaları: Protein bazlı yapıştırıcılar güçlü ve dayanıklı bağlar üretebilir.
4. Uygun maliyetli olmaları: Protein bazlı yapıştırıcılar, özellikle yüksek performanslı petrol bazlı yapıştırıcılarla karşılaştırıldığında uygun maliyetli olabilir [1], [2].

### *E. Protein Bazlı Yapıştırıcıların Yapışma Mekanizması*

Protein bazlı yapıştırıcıların yapışma mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır. Bununla birlikte, yapışma işleminin fiziksel ve kimyasal etkileşimlerin bir kombinasyonunu içerdiğine inanılmaktadır.

Protein bazlı yapıştırıcıların ahşaba yapışmasında yer alan fiziksel etkileşimler öncelikle hidrojen bağından kaynaklanmaktadır. Hidrojen bağları zayıftır, ancak sayısızdırlar ve önemli bir kuvvete kadar eklenebilirler. Proteinlerdeki amino asitler, amid grubu, karboksil grubu ve hidrosil grubu dahil olmak üzere hidrojen bağına katılabilecek bir dizi fonksiyonel gruba sahiptir.

Ahşap yüzey ayrıca hidrosil grubu, karboksil grubu ve karbonil grubu dahil olmak üzere hidrojen bağına katılabilecek bir dizi fonksiyonel gruba sahiptir. Protein yapıştırıcısı ahşap yüzeye uygulandığında, proteinin fonksiyonel grupları ile ahşap arasındaki hidrojen bağı güçlü bir bağ oluşturabilir [5]

Fiziksel etkileşimlere ek olarak, protein bazlı yapıştırıcıların ahşaba yapışmasında rol oynayan bazı kimyasal etkileşimler de olabilir. Bu kimyasal etkileşimler, protein molekülleri ile ahşap yüzey arasında kovalent bağların oluşumunu içerebilir.

Proteinlerdeki amino asitler, amino grubu, karboksil grubu ve amid grubu dahil olmak üzere kovalent bağlanmaya katılabilen bir dizi fonksiyonel gruba sahiptir. Ahşap yüzey ayrıca hidrosil grubu, karboksil grubu ve karbonil grubu dahil olmak üzere kovalent bağlanmaya katılabilen bir dizi fonksiyonel gruba sahiptir. Protein yapıştırıcısı ahşap yüzeye uygulandığında, proteinin fonksiyonel grupları ile ahşap arasındaki kovalent bağ, hidrojen bağından daha güçlü bir bağ oluşturabilir.

Yapışkan bağı mukavemeti, oluşan hidrojen bağlarının ve kovalent bağların sayısı ve mukavemeti ile belirlenir. Oluşan hidrojen bağlarının sayısı, ahşabın yüzey alanı ve protein molekülleri tarafından belirlenir. Hidrojen bağlarının gücü, protein moleküllerinin polaritesi ile

belirlenir. Kovalent bağların gücü, proteinde bulunan amino asitlerin türüne göre belirlenir [5].

### *F. Protein Bazlı Tutkal Çeşitleri*

Hayvansal esaslı tutkallar genellikle hayvanların deri ve kemiklerinden yapılır. Sığır, at ve koyun gibi hayvanların genellikle deri veya kemikleri kullanılır. Sinirler gibi ek dokular da kullanılabilir ve balıktan önemli miktarda tutkal yapılır. Hayvansal yapıştırıcılar toz, boncuk veya jöle olarak satın alınabilir. Katı formlar kullanılmadan önce suya batırılmalıdır. Kaliteli bir hayvan tutkalı, ağırlığının birkaç katı suyu emebilmeli ve jelatinimsi bir kütle olarak kalmalıdır. Viskozitelerini uygulanabilecekleri bir düzeye indirmek için tutkal kaplarında yaklaşık 60°C'ye kadar ısıtılırlar. Bazı hayvansal yapıştırıcılar, özellikle balıktan elde edilen yapıştırıcılar uygun sıvı formda satılmaktadır. Sıcak uygulanan hayvan esaslı yapıştırıcıları, soğuma sırasında uygulama esnasında yapışma kuvveti geliştirir, ancak tam mukavemetlerine yalnızca kuruma aşamasından sonra ulaşırlar. Hayvansal yapıştırıcıların, ağaç işleme endüstrisinin çoğunda diğer yapıştırıcılarla ikame edilmesine yol açan eksiklikleri vardır. Spesifik olarak, nem direnci düşüktür, küf ve mantarlar tarafından saldırıya uğrarlar, kullanımları biraz elverişsizdir, uygun sıcaklıkta uygulanmaları gerekir ve nispeten pahalıdırlar [2].

Soya tutkalı, temel protein bazlı bitkisel yapıştırıcı, aşağıdakilerden üretilir: soya fasulyesi küspesi veya ondan izole edilen bitkisel protein. Soya tutkalı, kazein tutkalına benzer özelliklere ve niteliklere sahiptir, ancak rutubet direncinden yoksundur. Soya tutkalı sıcak preslenmiş olabilir ve geçmişte, iç mekan sınıfı Douglas-fir kontrplak için yaygın olarak kullanılıyordu. Soya fasulyesi proteini ayrıca kan ve soya fasulyesi proteinlerinin bir karışımında kullanılır. Bunlar sıcak pres tipi albümin tutkalı gibi karıştırılır ve kullanılır [2].

Kazein tutkalı, çökeltmiş kazein pıhtısından hazırlanır. Sütün veya ayranın doğal olarak ekşimesine izin vererek ya da ona asit ekleyerek yağsız hale getirilir. Yarım kilogram kuru kazein yapmak için yaklaşık otuz litre yağsız süt gerekir. Yapıştırıcıyı hazırlamak için lor, formaldehit veya bakır klorür gibi diğer kimyasalların eklendiği kireç suyu gibi sulu bir alkalın çözücü içinde eritilir. Çoğu kazein tutkalı kuru bir toz olarak satılır ve

kullanılmadan önce suyla karıştırılması gerekir. Su ile karıştırıldıktan sonra, kazein tutkalı nispeten kısa kap ömrüne sahiptir. Kap ömrü artırılabilir, ancak bu nem direncini azaltır. Sentetik reçine bazlı yapıştırıcıların ortaya çıkmasına kadar kazein yapıştırıcılar, üstün nem direnci nedeniyle önem arz etmekteydi. Bu açıdan hayvansal ve soya tutkallarından belirgin şekilde üstündürlük. Kazein yapıştırıcılar, kullanışlılıklarını sınırlayan çeşitli özelliklere sahiptir. Meşe gibi tanen asitleri bakımından zengin olan ağaç türleri ile lekelenme eğilimindedirler. Ayrıca ağaç işleme aletlerini hızla köreltirler ve küf ve mantarların saldırısına uğrarlar [2].

Kan-albümin yapıştırıcısı, mezbaha operasyonlarının bir yan ürünü olan tam kandan üretilir. Kurutulmuş çözünür kan tozu, serumun taze tam kandan buharlaştırılmasıyla üretilir. Kan albümin tutkalı daha sonra kurutulmuş kan tozunun ve kireç ve kostik soda gibi diğer kimyasalların su ile karıştırılmasıyla yapılır. Kan-albümin yapıştırıcıları, bir anlamda, yapıştırıcı hatlarının uygun şekilde ayarlanmasını ve sertleşmesini sağlamak için sıcak presleme gerektirmeleri bakımından sentetik reçinelerin öncüleriydi. Kuru halde kan-albümin yapıştırıcıları kazein yapıştırıcılarından biraz daha az dayanıklılığa sahiptir, ancak rutubet direncinde çok daha üstündürlük [1], [2].

Keratin, lifli yapısal protein ailesinin bir üyesidir. Saç, tırnak, boynuz, toynak, yün ve tüyleri oluşturan ana yapısal malzemedir. Yardımcı sıraya göre, keratinler tüm omurgalılarda bulunan  $\alpha$ -keratinler veya kuşlarda ve sürüngenlerde bulunan  $\beta$ -keratinler olabilir. Keratinler diğer proteinler gibi davranmazlar ve genellikle sıradan yöntemlerle çözünmezler. Ancak uygun koşullar altında, özellikle düşük pH ve indirgeyici/oksitleyici maddeler aracılığıyla, disülfid, amino ve karboksilik asit kısımları nedeniyle suda daha fazla çözünür ve kimyasal olarak reaktif hale gelirler. Kümes hayvanları endüstrisinin ana yan ürünü olan tüyler üzerinde araştırmalar yapılmıştır, ahşap yapıştırıcılar söz konusu olduğunda keratinin soya proteinlerine göre çeşitli avantajları vardır: (1) hidrofobik yapısı daha iyi su direnci sağlar; (2) keratin, soya gibi küresel olanlardan daha kolay hidrolize olan lifli bir proteindir; (3) doğal küf önleyici bileşenlere sahiptir. Son zamanlarda, tavuk

keratini tüyü ve soya fasulyesi küspesine (SK) dayalı düşük maliyetli biyobazlı formaldehit içermeyen yapıştırıcılar geliştirmek için yeni yöntemler, sadece SK yapıştırıcısına kıyasla protein bazlı yapıştırıcının akışkanlığını ve ıslanabilirliğini geliştirebilir [6], [7]. Ayrıca, ahşap yapıştırıcıların formülasyonu için keratin ve kollajen özleri üzerine yapılan çalışmalar, antioksidan aktivite ve üre-formaldehit yapıştırıcılardan serbest formaldehit emisyonlarında önemli bir azalma göstermiştir [8], [9].

Buğday glütenu, buğday nişastasının işlenmesinden elde edilen yapışkan, viskoelastik proteinli bir yan ürün olarak sürdürülebilir ahşap yapıştırıcılar için ilgi çeken bir hammaddedir. Geri kalanı lipitler, polisakkaritler ve mineraller olmak üzere %80 buğday proteininin karmaşık bir kombinasyonudur. Buğday glütenu, albüminler, globulinler, gliadinler ve glüteninler olmak üzere dört ana protein grubunu içerir ve son ikisi toplam protein içeriğinin %85'ini oluşturur [10].

Pamuk çekirdeği proteini şu anda diğer bitki proteinleri gibi ahşap yapıştırma için potansiyel bir yapıştırıcı olarak incelenmektedir. Bu nedenle, kimyasal bileşimi (lifler, proteinler, karbonhidratlar ve lipitler) nedeniyle çok sayıda uygulama ile değerli bir tarım-sanayi biyobazlı ham maddeyi temsil eder [12]. Amino asit bileşimi açısından, soya proteini ile neredeyse aynı birincil amino asit bileşenlerine sahiptir, en yüksek seviyelere sahip olanlar arginin, glutamik asit ve glutamindir [13]

## II. PROTEİN ESASLI TUTKALLARIN SON YILLARDAKİ GELİŞİMİ

Son yıllarda protein bazlı ahşap tutkallarında bir takım yenilikler olmuştur. Bunlar arasında şunlar yer alır:

1. Yeni protein kaynaklarının geliştirilmesi. Geçmişte, protein bazlı ahşap yapıştırıcılar tipik olarak kazein veya jelatin gibi hayvansal proteinlerden yapılmıştır. Bununla birlikte, bu proteinler pahalı olabilir ve sınırlı bir kaynağa sahip olabilir. Son yıllarda, soya proteini veya buğday proteini gibi bitki proteinlerinin ahşap tutkalları için bir protein kaynağı olarak kullanılmasına yönelik artan bir ilgi

olmuştur. Bitki proteinleri, hayvansal proteinlerden daha bol ve daha ucuzdur ve özelliklerini geliştirmek için de değiştirilebilirler [14].

2. Yeni çapraz bağlama ajanlarının geliştirilmesi. Çapraz bağlama ajanları, protein bazlı ahşap yapıştırıcılarının mukavemetini ve dayanıklılığını arttırmak için kullanılır. Geçmişte, çapraz bağlama ajanları tipik olarak formaldehitten yapılmıştır. Bununla birlikte, formaldehit tehlikeli bir kimyasaldır ve formaldehit içermeyen ahşap yapıştırıcılar için artan bir talep vardır. Son yıllarda, formaldehit içermeyen ve protein bazlı ahşap yapıştırıcılarının özelliklerini geliştirebilen izosiyanatlar ve silanlar gibi yeni çapraz bağlama ajanlarının geliştirilmesi olmuştur[15].
3. Yeni üretim süreçlerinin geliştirilmesi. Protein bazlı ahşap tutkalları için üretim süreci son yıllarda geliştirilmiştir. Bu, kullanımı daha kolay ve daha iyi performansa sahip yapıştırıcıların geliştirilmesine yol açmıştır. Örneğin, protein bazlı ahşap yapıştırıcıların sprey formunda uygulanmasına izin veren yeni üretim süreçleri geliştirilmiştir. Bu, yapıştırıcının geniş yüzeylere uygulanmasını kolaylaştırır ve aynı zamanda daha düzgün bir bağ ile sonuçlanır [16]

Bu yenilikler, her zamankinden daha güçlü, daha dayanıklı ve kullanımı daha kolay olan protein bazlı ahşap yapıştırıcıların geliştirilmesine yol açmıştır. Sonuç olarak, protein bazlı ahşap yapıştırıcılar, çeşitli ahşap işleme uygulamaları için giderek daha popüler hale gelmektedir.

Yukarıda belirtilen yeniliklere ek olarak, protein bazlı ahşap yapıştırıcıların performansını artırmak için araştırılmakta olan bir dizi başka araştırma alanı vardır. Bunlar arasında şunlar yer alır:

1. Su direncini, mukavemetini veya tutkalın diğer özelliklerini iyileştirmek için enzimlerin, ısıl işlemin veya diğer yöntemlerin kullanılması.
2. Üretim sürecinin verimliliğini ve maliyet etkinliğini artırmak için yeni çözümlerin,

katalizörlerin veya diğer proses koşullarının kullanılması.

3. Protein esaslı tutkalların yenilikçi ahşap işleme ürünlerinde kullanılması.

Bu alanlardaki araştırmalar devam etmektedir ve protein bazlı ahşap yapıştırıcılarının önümüzdeki yıllarda performans ve çok yönlülükte gelişmeye devam etmesi beklenmektedir.

### III. SONUÇLAR

Protein bazlı ahşap yapıştırıcılar, geleneksel ahşap yapıştırıcılara umut verici bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Yenilenebilir kaynaklardan türetilirler, mükemmel bağlanma özelliklerine sahiptirler ve iyi termal stabilite sergilerler. Ayrıca, ağaç işleme endüstrisinde çeşitli uygulamalarda kullanılabilirler. Sonuç olarak, geleneksel ahşap yapıştırıcılara sürdürülebilir ve çevre dostu alternatifler olarak kullanılacak protein bazlı ahşap yapıştırıcıların geliştirilmesine yönelik artan bir ilgi vardır.

### KAYNAKLAR

- [1] Raydan, Nidal Del Valle, et al. Recent advances on the development of protein-based adhesives for wood composite materials—a review. *Molecules*, 2021, 26.24: 7617.
- [2] Eckelmann, C.A. A Brief Survey of Wood Adhesives, (2017) <https://extension.purdue.edu/extmedia/FNR/FNR-154.pdf>).
- [3] Frihart, C.R. Wood adhesives: Past, present, and future. *For. Prod. J.* 2015, 65, 4–8.
- [4] Frihart, C.R.; Hunt, C.G. Adhesives with Wood Materials-Bond Formation and Performance. In *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*; USDA Forest Service, Forest Products Laboratory: Madison, WI, USA, 2010; pp. 10.1–10.24
- [5] Rathi, Sneha, et al. Protein-based bioadhesives and bio glues. *Polymers for Advanced Technologies*, 2019, 30.2: 217-234.
- [6] Zhou, Y.; Zeng, G.; Zhang, F.; Luo, J.; Li, X.; Li, J.; Fang, Z. Toward Utilization of Agricultural Wastes: Development of a Novel Keratin Reinforced Soybean Meal-based Adhesive. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2021, 9, 22.
- [7] Li, X.; Zhou, Y.; Li, J.; Li, K.; Li, J. Perm-Inspired High-Performance Soy Protein Isolate and Chicken Feather Keratin-Based Wood Adhesive without External Crosslinker. *Macromol. Mater. Eng.* 2021, 1–8
- [8] Barlak, M.A.; Wilkowski, J.A.; Szkarłat, F.I.; Werner, Z.B.; Zagórski, J.E.; Staszkiwicz, B.O.; Osipiuk, J. The influence of edge defects on the lifetime of wood

- machining tools. *Ann. WULS SGGW For. Wood Technol.* 2018, 104, 533–539.
- [9] Matyašovský, J.; Sedliačik, J.; Šimon, P.; Novák, I.; Krystofíak, T.; Jurkovič, P.; Duchovič, P.; Sedliačiková, M.; Cibulková, Z.; Mičušík, M.; et al. Antioxidant Activity of Keratin Hydrolysates Studied by DSC. *J. Am. Leather Chem. Assoc.* 2019, 114, 20–28.
- [10] Gennadios, A.E. *Protein-Based Films and Coatings*, 1st ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2002; ISBN 9780429135804
- [11] Zakaria, Z.A.; Binod, P.; Aguilar, C.; Kusumaningtyas, R.D. *Valorisation of Agro-Industrial Residues—Volume II: Non-Biological Approaches*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; Volume II, ISBN 9783030392079.
- [12] Cheng, H.N.; He, Z.; Ford, C.; Wyckoff, W.; Wu, Q. A Review of Cottonseed Protein Chemistry and Non-Food Applications. *Sustain. Chem.* 2020, 1, 256–274.
- [13] Hogan, J.T.; Arthur, J.C. Preparation and utilization of cottonseed meal glue for plywood. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1951, 28, 20–23.
- [14] Nordqvist, P.; Lawther, M.; Malmström, E.; Khabbaz, F. Adhesive properties of wheat gluten after enzymatic hydrolysis or heat treatment—A comparative study. *Ind. Crop. Prod.* 2012, 38, 139–145.
- [15] Khosravi, S.; Khabbaz, F.; Nordqvist, P.; Johansson, M. Wheat-gluten-based adhesives for particle boards: Effect of crosslinking agents. *Macromol. Mater. Eng.* 2014, 299, 116–124.
- [16] D’Amico, S.; Müller, U.; Berghofer, E. Effect of hydrolysis and denaturation of wheat gluten on adhesive bond strength of wood joints. *J. Appl. Polym. Sci.* 2013, 129, 2429–2434. [