

Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalların bazı özelliklerinin belirlenmesi

Mehmet Emin Ergün^{a,b,*} , İsmail Özlüsoylu^b 

Özet: Ahşap sektöründe kullanılan tutkalların büyük bir bölümü fosil yakıt temelli olup özellikle içerisindeki formaldehit nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından riskler oluşturmaktadır. Bu olumsuz durumu azaltmak amacıyla son yıllarda formaldehit emisyonunu azaltmaya yönelik farklı yöntemler üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar içerisinde biyo bazlı tutkal kullanımı sağlık açısından sahip olduğu olumlu özellikler nedeniyle ilgi görmektedir. Bu çalışmada, doğal polimerlerden kitosan ve guar sakızı kullanılarak üretilen bağlayıcının ahşap tutkalı olarak kullanılabilir potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla kitosan bazlı tutkalın içerisine 4 farklı oranda (%0.06, %0.2, %1 ve %2) guar sakızı ilave edilmiştir. Elde edilen tutkalın viskozitesi ölçülerek, farklı orandaki guar sakızı ilavesinin bağ kuvveti üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Ayrıca kitosan bazlı tutkalların odun ile etkileşimini incelemek amacıyla Fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi yapılmıştır. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın viskozitesi 1380 CP ile 5264 CP arasında bulunmuştur. %0.2 oranında guar sakızı ilave edilmiş kitosan bazlı tutkalın bağ kuvvet değerinin, guar sakızı ilave edilmeyen gruba göre %88 oranında iyileştiği tespit edilmiştir. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın özellikle çevreci yapısı ile olumlu özelliklere sahip olduğu ve farklı alanlarda kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kitosan, Guar sakızı, Tutkal, Bağ kuvvet değeri, FTIR

Determination of some properties of guar gum added chitosan based adhesives

Abstract: Most of the adhesives used in the wood industry are fossil fuel-based and cause risks to the environment and human health, especially due to formaldehyde content. In order to reduce this negative situation, research on different methods to reduce formaldehyde emissions has been carried out in recent years. Among these research, the use of bio-based adhesives attracts attention, especially because of its positive properties in terms of health. This study investigated the potential of using natural polymers chitosan and guar gum as a wood adhesive. For this purpose, guar gum was incorporated into the chitosan-based adhesive in 4 different ratios (0.06%, 0.2%, 1%, and 2%). The impact of adding different amounts of guar gum on the binding strength was assessed by measuring the viscosity of the produced glue. In addition, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis was performed to examine the interaction of chitosan-based adhesives with wood. The viscosity of the chitosan-based adhesive with the addition of guar gum was found to be between 1380 CP and 5264 CP. It was found that the bond strength value of the chitosan-based adhesive with % 0.2 guar gum added improved by 88% compared to the group without guar gum. It was concluded that chitosan-based glue with guar gum added has positive properties especially with its environmentalist structure and can be used in different areas.

Keywords: Chitosan, Guar gum, Adhesive, Bond strength value, FTIR

1. Giriş

Ahşap, kolay işlenmesi, yalıtım özelliğine sahip olması, estetik görünümü yanında gerek kullanımı sırasında gerekse kullanım ömrünü tamamladıktan sonra insana ve çevreye herhangi bir zararı olmamasından dolayı sıklıkla tercih edilen yapı ve mühendislik malzemesidir (Özlüsoylu ve İstek, 2015; Ergun, 2021). Günümüzde artan nüfus ve gereksinimler nedeniyle masif odun ihtiyacı karşılanamadığından farklı lignoselülozik atıkların değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Atık ya da düşük değerli hammaddeler tutkal ilavesi ile hem farklı masif malzemelerin hem de yonga ve lif levha gibi ahşap esaslı kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır. Ahşap esaslı kompozit ve masif malzemelerin üretiminde farklı

özellikteki bağlayıcılar değerlendirilmektedir. Üretilen formaldehit, melamin formaldehit ve fenol formaldehit gibi sentetik tutkallar kimyasal çok yönlülükleri, reaktiviteleri ve ekonomik olmaları nedeniyle yaygın kullanıma sahiptir. (Özlüsoylu ve İstek, 2018; Solt vd., 2019). Ancak sentetik tutkallar zararlı uçucu organik bileşik sınıfına giren serbest formaldehit içerdiğinden dolayı hem üretimde hem de kullanım sırasında insan ve çevre sağlığı açısından riskler taşımaktadır. Bu risklerin başında gelen ahşap esaslı kompozitlerden kaynaklanan formaldehit emisyonlarını azaltmak için son yıllarda önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Özlüsoylu, 2016; İstek vd., 2018). Özellikle iç mekân uygulamaları için formaldehit kullanımının tamamen yasaklanmasına ve geleneksel tutkalların biyo-bazlı olanlarla değiştirilmesine kadar birçok

✉ ^a Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Akseki Meslek Yüksekokulu, Ormanlık Bölümü, Ormanlık ve Orman Ürünleri Programı, Akseki, Antalya, Türkiye

^b Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): mehmet.ergun@alanya.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 16.11.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 06.03.2023



Citation (Atf): Ergün, M.E., Özlüsoylu, İ., 2023. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalların bazı özelliklerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 24(1): 39-44.
DOI: [10.18182/tjf.1205757](https://doi.org/10.18182/tjf.1205757)

alternatif üzerinde durulmaktadır (İstek vd., 2020; Rizhikovs vd., 2022). Nişasta, selüloz, tanen, yüksek moleküler ağırlıklarına sahip olan karboksilatlar, eterler, hidroksiller gibi hidrojen bağlayıcı fonksiyonel ve polar gruplar yüksek yapışma özelliği göstermektedir (Mohammadinejad vd., 2019).

Biyo tutkallar arasında en çok araştırılan polimerlerin hemiselüloz, tanen, lignin, nişasta, guar sakızı ve kitosan olduğu belirtilmektedir (Mathias vd., 2016). Kitinin alkali deasetilasyonu ile elde edilen kitosan, biyolojik kaynaklı tek katyonik polisakkarit olup, doğada selülozdan sonra en çok bulunan biyopolimerdir (Yıldırım vd., 2022). Asidik sulu çözeltilerde (hidroklorik asit, asetik asit, sitrik asit vb.) çözünür olup, rastgele dağılmış β -(1,4)-bağlı d-glukozamin ve N-asetil-d-glukozaminden oluşmaktadır. Kitosan, C-2 konumunda birincil amin gruplarına, C-6 konumunda birincil alkolik gruplara ve ayrıca ikincil hidroksil gruplarına sahiptir. Bu biyopolimer, kristalin alanlar oluşturan molekül içi ve/veya moleküller arası hidrojen bağı nedeniyle nötr ve bazik pH'ta çözünmez. Kitosan, su arıtma, sağlık, gıda ve kozmetik alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ozen vd., 2021). Son zamanlarda kitosanın gerek biyomedikal alanda gerekse ahşap-kompozit ve köpük sektöründe kullanılabilirliği üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır (Altuntaş ve Aydemir, 2019; Ergun, 2023). Kitosan iyi yapışma ve mekanik özellikleri, biyolojik olarak bozunabilirliği ve uyumluluğu sayesinde yapıştırıcı ve bağlayıcı alanlarında yoğun olarak uygulanmaktadır (Mati-Baouche vd., 2019). Diğer taraftan, guar sakızı Afrika'da yetişen *Vachellia Seyal* ve *Senegalia Senegal* türü akasya ağaçlarından ekstrakte edilen yoğun gözenekli ve suda çözünebilir doğal, yenilenebilir, nötr bir polisakkarittir (Chen vd., 2017). Ana zinciri, 1, 4-glukozit bağları kullanılarak β -D-mannopiranoz yoluyla oluşturulan guar sakızının. α -D-galaktoz yan zincirleri ana zince 1,6 glikozit bağı ile bağlıdır ve dallı zincir yapısı çok sayıda polar hidroksil grubuna sahiptir (Brinker, 2007).

Yapılan farklı çalışmalarda nişasta (Yu vd., 2015), lignin (Dunky, 2021), tanen (Gönültaş ve Uçar, 2019) ve kitosanın (Patel vd., 2013) masif ve kompozit ahşap üretiminde bağlayıcı olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir. Sakaroz ve manyok (*Manihot esculenta*) nişastasını oksitleyerek üretilen kitosan bazlı tutkallar kontrplak

üretiminde kullanılmış olup, mekanik özellikleri %163 oranında arttırdığı tespit edilmiştir (Xi vd., 2022). Başka bir çalışmada ise soya proteini ve kitosan bazlı tutkalın, kovalent ve hidrojen bağlarının yapışma derecesini arttırmamasından dolayı çekme mukavemetinde %61 oranında iyileşme sağladığı belirtilmiştir (Zeng vd., 2022).

Bu çalışmada yüksek moleküler ağırlıklı kitosana farklı oranlarda guar sakızı ilave edilerek elde edilen tutkalın viskozitesi ve bağ kuvvetleri belirlenmiştir. Ayrıca tutkallı odun örneklerinin FTIR analizi yapılarak odun ile tutkal arasındaki etkileşim incelenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Yüksek moleküler ağırlıklı kitosan (moleküler ağırlığı: 310000 ile 375000 Da arasında), borik asit ve gliserol, Sigma-Aldrich'ten (Schnelldorf, Almanya) satın alınmıştır. Guar sakızı ise Aromel Kimyadan (Konya, Türkiye) temin edilmiştir. Ayrıca tutkalın bağ kuvvetini belirlemek amacıyla yapılan double lap shear testinde karaçam (*Pinus nigra*) odunu kullanılmıştır.

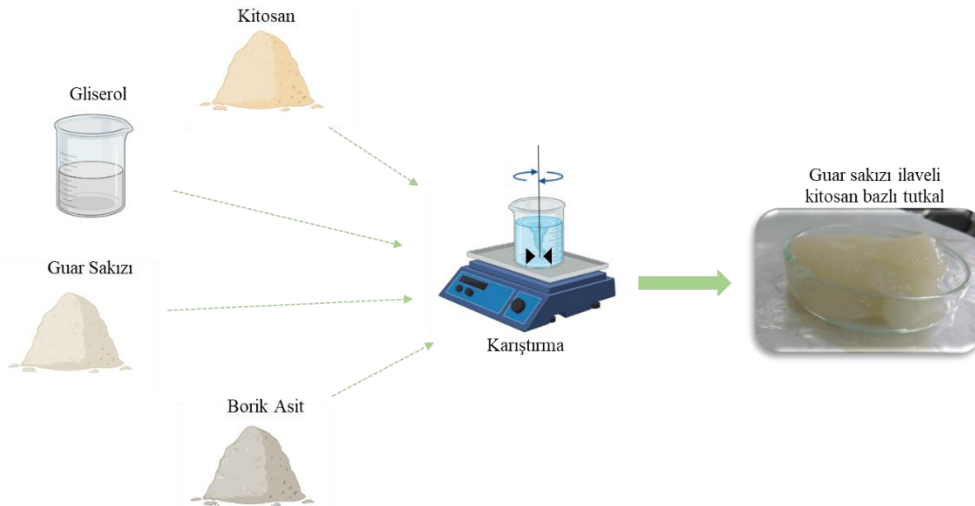
2.2. Yöntem

Hem guar sakızı hem de kitosan asidik koşullarda çözülebilir olduğundan saf suda %4'lük borik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra guar sakızı 1200 rpm'de borik asit içinde 2 saat karıştırılmış, bu çözeltilere kitosan ve gliserol eklenerek 600 rpm'de 6 saat daha karıştırılmıştır. Tüm karıştırma işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen tutkalların içeriği Çizelge 1'de verilmiştir. Kitosan bazlı tutkalın hazırlanma yöntemi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kitosan bazlı tutkalların içeriği

Kodlar	Kitosan (%)	Guar Sakızı (%)	Borik Asit (%)	Gliserol (%)
KGT-0	6	0	4	1.5
KGT-1	6	0.06	4	1.5
KGT-2	6	0.2	4	1.5
KGT-3	6	1	4	1.5
KGT-4	6	2	4	1.5

* KGT: Kitosan-guar sakızı tutkalı



Şekil 1. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın üretimi

2.3. Karakterizasyon

Üretilen tutkalların viskozitesi KU-2 viskozimetresi (Brookfield, ABD) ile ISO 9665 standartlarına göre ölçülmüş ve sonuçlar centipoise (CP) olarak verilmiştir. Fourier transform kızılötesi (FTIR) analizleri, IRAffinity-1 FTIR (Shimadzu, Kyoto, Japonya) spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 700 cm^{-1} ile 4000 cm^{-1} spektrum aralığında yapılmıştır. Bağ kuvveti ölçümleri için $5\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ (kalınlık×genişlik×uzunluk) boyutlarında double lap shear numuneleri hazırlanmıştır. Numune yüzeylerine 400 g/m^2 olacak şekilde tutkal sürülmüştür. Tutkal sürülen numuneler sıcak pres altında $60\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 0.7 N/mm^2 basınç altında 2 saat tutulmuştur (Abdelmoula vd., 2021). Bağ kuvveti ölçümlerinden önce numuneler iki hafta süre ile $20\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve %65 bağıl nemde bekletilmiştir. Double lab shear numunelerinin mekanik karakterizasyonu, ASTM D 3528-96 (2016) standardına göre Utest universal test cihazında (Utest Malzeme Test Cihazları, Ankara, Türkiye) ölçümler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bağ kuvveti Patel vd. (2013) çalışmasında yapmış olduğu aşağıdaki Denklem (1) ile hesaplanmıştır:

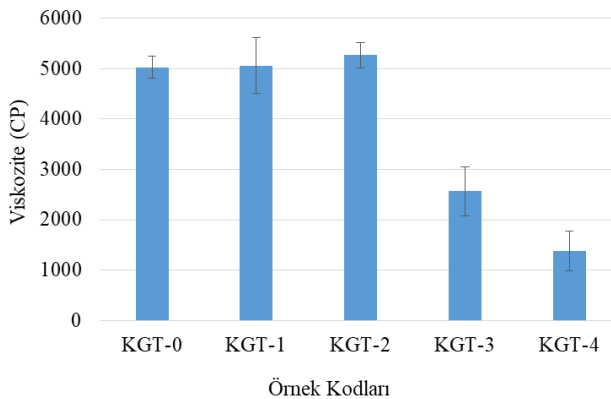
$$\sigma = \frac{F_{\max}}{2A} \quad (1)$$

σ bağ kuvveti, F_{\max} uygulanan maksimum kuvvet (N) ve A tutkal sürülen alan (mm^2).

Farklı oranlardaki guar miktarının bağ direncini etkisini belirlemek için ortalama bağ kuvvet değerleri SPSS 16 programı kullanılarak %95 güven düzeyinde ($p < 0.05$) tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiş istatistiksel olarak önem arz eden homojenlik grupları ise DUNCAN homojenlik testi ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Bir akışkanın viskozitesi, akışkanın kademeli deformasyona ve yayılmaya karşı direncinin bir ölçüsüdür. Kitosan çözeltilerinin viskozitesi, moleküler ağırlığı ($310000\text{-}375000$), konsantrasyon, pH'ları, sıcaklık ve deasetilasyon dereceleri ile ilgilidir (Kasaai vd., 2000). Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın ölçülen viskozite değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın viskozite değerleri

Guar sakızı konsantrasyonuna bağlı olarak kitosan bazlı tutkalın viskozitesi 1380 CP ile 5264 CP arasında değişmektedir. Çözeltiye %2 den daha fazla guar sakızı ilave edilmesi durumunda çözünmeme ve çökme gibi durumların ortaya çıktığı görülmüştür. %3 lük guar sakızı kullanılması sonucunda üretilen tutkal içerisindeki çözünmeme ve çökme durumu Şekil 3'te görülmektedir.

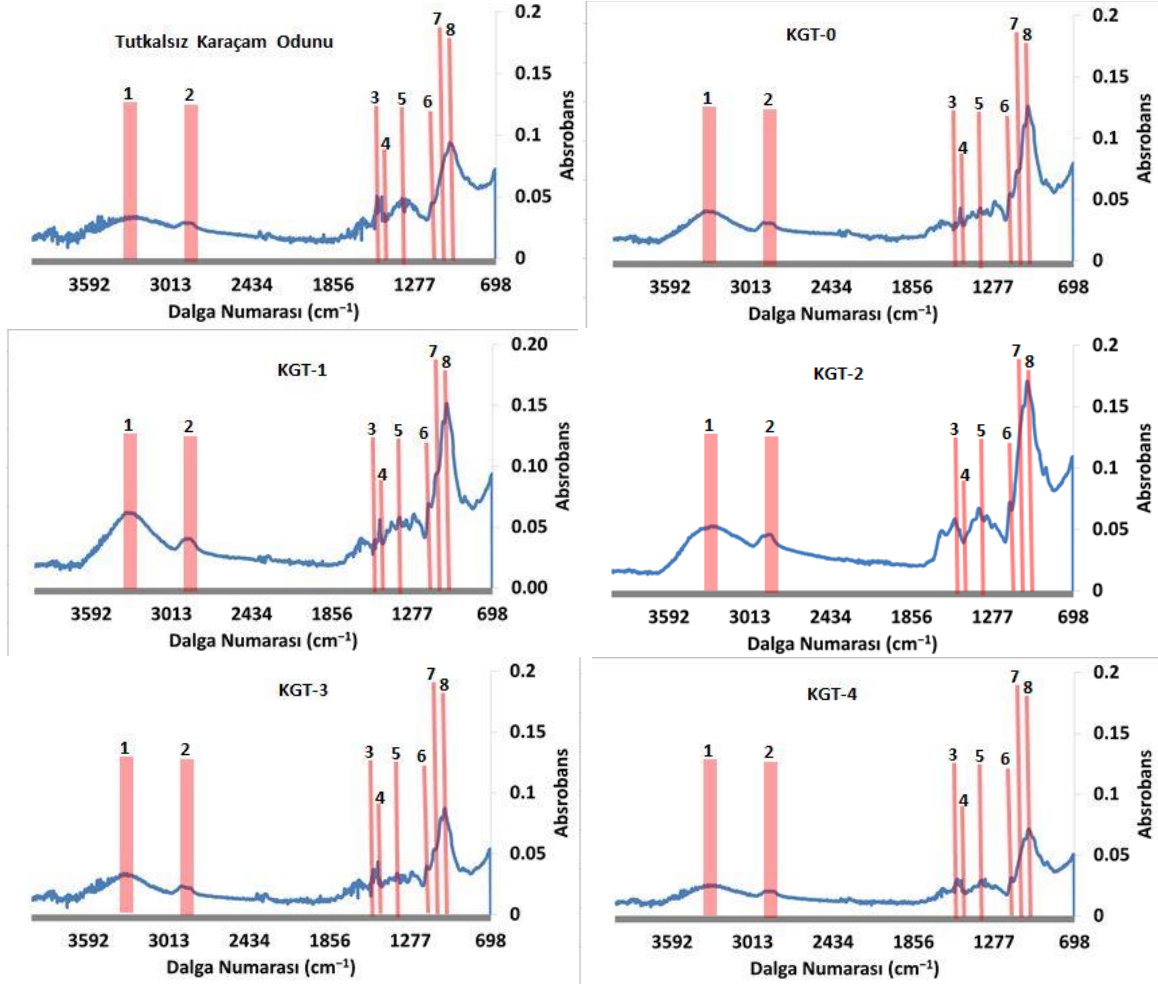
Homojen bir şekilde çözünen kitosan bazlı tutkal içerisindeki guar sakızı oranının özellikle toplam çözeltiye göre %1'e kadar olduğu durumlarda tutkalın viskozite değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın kitosan, guar sakızı ve borik asit arasında meydana gelen etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü kitosanda bulunan pozitif yüklü NH_3 ve guar sakızında bulunan negatif yüklü OH grupları arasında hidrojen bağı oluşumu meydana gelmektedir. Diğer taraftan borik asit suda çözüldüğünde tetrahidro borat iyonları oluşturmak üzere ayrışır (Prosanov vd., 2018). Tetrahidro borat iyonları ile selüloz, nişasta guar sakızı gibi nükleofilik dioller bulunan polimerler arasındaki reaksiyonun bir sonucu olarak çapraz bağlar meydana gelmektedir (Gadhavie vd., 2021). Sonuç olarak, kitosan, guar sakızı ve borik asitte bulunan gruplar, hidrojen bağı oluşumuna katıldığında oluşan hidrojen bağı miktarını etkileyebilir. Buna göre, kitosan ve guar sakızı arasında oluşan hidrojen bağlarının sayısının viskozite üzerinde etkili olduğu düşünülebilir. Biyo mürekkep üretiminde kitosan ve guar sakızı kullanılan bir çalışmada guar sakızı ilavesinin ilk başta viskoziteyi arttırdığı ancak yüksek oranlarda guar sakızı ilavesiyle viskozitede düşüş olduğu ifade edilmiştir (Cleymand vd., 2021). Mevcut çalışmada %1 ve üzerindeki guar sakızı ilavesiyle viskozite düşmesinin nedeni guar sakızı çözeltilerinin tiksotropik davranışı kaynaklı olabilmektedir (Rao vd., 2010).

Şekil 4'te 4000 ile 700 cm^{-1} 'de tutkalsız karaçam odununun ve odun yüzeyine sürülmüş farklı oranlarda guar sakızı ilaveli kitosan tutkalının FTIR spektrumları verilmiş olup Çizelge 2'de de bu karakteristik pikler gösterilmiştir.

Tutkalsız karaçam odunun FTIR sonuçları, Herrera vd. (2022), yapmış olduğu çalışmada verilen FTIR pikleri ile benzerlik göstermektedir. Guar sakızının FTIR spektrumları 3250 cm^{-1} OH grubuna, 2851 cm^{-1} alifatik C-H grubuna aittir. Ayrıca guar sakızına ait CH_2 grubunun düzlem dışı eğilmesi 1457 cm^{-1} 'de görülür ve 1025 cm^{-1} 'de eğilmesi $\text{CH}_2\text{-O-CH}_2$ fonksiyonel grubunu göstermektedir (Iqbal vd., 2020). Ancak guar sakızı ile kitosan piklerinin çakışmasından dolayı belirgin bir şekilde birbirinden ayırt edilememektedir.



Şekil 3. %3 lük guar sakızı içeren örnek



Şekil 4. Tutkalsız ve farklı oranlarda guar ilaveli kitosan tutkalı sürülmüş örneklerin FTIR spektrumları

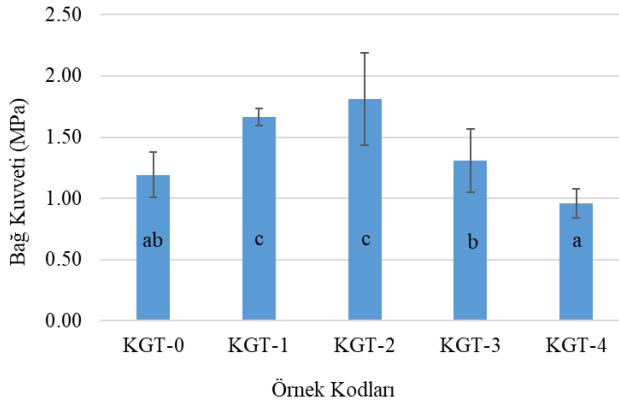
Çizelge 2. Tutkalsız karaçam odununun ve odun yüzeyine sürülmüş farklı oranlarda guar sakızı ilaveli kitosan tutkalının karakteristik FTIR spektrum bantları

No	Dalga numarası (cm ⁻¹)	FTIR spektrum bandı	Kaynak
1	3285-3250	N-H ve O-H gruplarının eğilmesi	Baran, 2020
2	2851-2825	Alifatik C-H grubunun eğilmesi	Herrera vd., 2022
3	1546	Amid II grubunun eğilmesi	Cirak vd., 2018
4	1457	CH ₂ grubunun eğilmesi	Iqbal vd., 2020
5	1372	NHCOCH ₃ grubunun gerilmesine	Baran, 2020
6	1125	C-O-C grubunun gerilmesine	Vino vd., 2012
7	1025	CH ₂ -O-CH ₂ grubunun eğilmesi	Iqbal vd., 2020
8	1017	C-O grubunun gerilmesi	Song vd., 2013

Kitosanda bulunan N-H ve OH grupları da 3285 cm⁻¹ civarında görülmektedir. Ayrıca alifatik C-H grubu 2825 cm⁻¹ pik vermektedir. Kitosanda bulunan amid II piki 1546 cm⁻¹ ve 1372 cm⁻¹'de NHCOCH₃ gerilmesine ait karakteristik pikler görülmektedir (Baran, 2020). 1125 cm⁻¹'deki absorpsiyon bandının, C-O-C bağlarının asimetrik gerilmesine bağlanabileceği ve 1017 cm⁻¹'deki bantların C-O gerilmesine karşılık geldiği farklı çalışmalarda da belirtilmiştir (Vino vd., 2012; Song vd., 2013). Odun yüzeyine sürülen tutkallarda kitosan ile odun yüzeyi arasında N-H ve O-H bağlarından kaynaklanan hidrojen

bağı artışından dolayı 3280 cm⁻¹ civarındaki pik şiddeti artmıştır. Bu gözlem hem odun ile tutkal arasında hem de kitosan ile guar sakızı arasındaki etkileşiminden dolayı yüksek pik şiddetine sahip %0.2 guar sakızı ilaveli KGT-2 kodlu örneğin en yüksek bağ kuvvet değerine sahip olması sonucunu desteklemektedir.

Farklı oranlarda guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkallarla yapılandırılmış deney örneklerinin bağ kuvveti değerleri ve tek yönlü varyans analizi sonucunda elde edilen Duncan homojenlik grupları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalların double lap shear örneklerinin bağ kuvvet değerleri (Verilerin ortalamaları verilmiş olup, hata çubukları da standart sapmaları göstermektedir. a, b ve c harfleri ise homojenlik gruplarını ifade etmektedir)

Şekil 5 incelendiğinde kitosan bazlı tutkalların bağ kuvvet değerlerinin 0.96 MPa ile 1.81 MPa arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer, %0.2 guar sakızı ilave edilen KTG-2 kodlu örnekte 1.81 MPa olarak elde edilmiş olup, bu tutkal karışımı %0.06 guar sakızı ilave edilen KGT-1 ile aynı homojenlik grubundadır. Diğer taraftan, 0.96 MPa ile en düşük bağ kuvveti değerini veren %2 guar sakızı ilave edilen KGT-4 kodlu örnek ise guar sakızı ilave edilmeyen KGT-0 ile aynı homojenlik grubunda olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin bağ kuvveti, büyük ölçüde odun ve tutkal arasındaki etkileşime bağlıdır. Kitosan bazlı tutkalların bağ kuvvet değerleri ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3'e bakıldığında elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir bir değer aralığında olduğu görülmektedir. Yüzey gerilimi ve viskoziteye bağlı olarak, kitosan bazlı tutkallar odunlara derinlemesine nüfuz edebilir. Tutkal akışkan haldeyken, pozitif yüklü kitosan (asit pH), elektrostatik kuvvetler, van der Waals kuvvetleri ve D-glukozamin ile yapışan veya hidratlanmış yüzey arasındaki hidrojen bağları aracılığıyla negatif yüklü yüzeyle güçlü bir şekilde etkileşime girdiği belirtilmektedir (Lee vd., 2013). Genellikle tutkallarda yüksek kohezyon mukavemetine ihtiyaç duyulduğundan aşırı miktarda dolgu malzemesi kullanılması istenmemektedir. Aşırı dolgu maddesi ilavesi tutkalın kohezyon kuvvetini azaltarak malzemenin mekanik özelliklerini düşürdüğü vurgulanmaktadır (Şenay, 1996).

Çizelge 3: Kitosan bazlı tutkalların bağ kuvvet değerleri ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması.

Kullanılan tutkal	Bağ kuvvet değeri (MPa)	Kaynak
Kitosan ve guar sakızı	0.96-1.81	Mevcut çalışma
Kitosan ve lignin	0.9-1.3	Ji ve Guo, 2018
Kitosan	3.4-6.1	Patel vd., 2013
Çeşitli karbonhidratlar, nişasta ve kitosan	0.55-1.65	Xi vd. 2022
Kitosan	1.5-1.8	Bumgardner vd., 2003
Tanen	0.006-0.036	Morandini vd., 2022
Soya fasulyesi, kitosan ve yoğunlaştırılmış tanen	1.12-2.44	Chen vd., 2022
Kitosan ve tanen	0.69-5.46	Jiang vd., 2023

4. Sonuç

Bu çalışmada, ahşap sektöründeki sentetik içerikli geleneksel tutkallara alternatif biyo polimer bazlı tutkallar üretilmiştir. Üretilen guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın viskozite değerleri 1380 CP ile 5264 CP arasında bulunmuştur. %0.2 guar sakızı ilavesine kadar viskozite değerlerinin arttığı ancak bu değerlerin üzerine çıktığında viskozite değerinin düştüğü belirlenmiştir. Guar sakızı ilaveli (%0.2) kitosan bazlı tutkalın bağ kuvvetinin guar sakızı ilave edilmeyen tutkal karışımına göre %88 oranında iyileştiği belirlenmiştir. Ayrıca %1 ve üstü guar sakızı ilavesinin bağ kuvveti üzerinde olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkal umut verici sonuçlar vermesine rağmen, geleneksel sentetik tutkallara göre elde edilen bağ kuvveti değerleri düşüktür. Ancak doğal bileşime sahip bir bağlayıcı olması açısından avantajlı olup, belli kullanım yerlerinde tercih edilebilir. Ayrıca çapraz bağlayıcı kimyasallar kullanılarak mekanik özellikleri daha da iyileştirilerek kullanım alanı genişletilebilir. Gelecek çalışmalarda guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın bağ kuvveti performansının soğuk ve sıcak suda değerlendirilmesinin yanında, farklı ahşap kompozit levhaların üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılmasının da önemli olduğu düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Abdelmoula, M., Ben Hlima, H., Michalet, F., Bourduche, G., Chavant, J.Y., Gravier, A., Delattre, C., Grédiac, M., Mathias, J.D., Abdelkafi, S., Michaud, P., de Baynast, H., 2021. Chitosan-based adhesive: Optimization of tensile shear strength in dry and wet conditions. *Polysaccharides*, 2: 110-120.
- Altuntas, E., Aydemir, D., 2019. Effects of wood flour on the mechanical, thermal and morphological properties of poly (L-lactic acid)-chitosan biopolymer composites. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 21(4): 611-618.
- ASTM D3528-96, 2016. Standard test method for strength properties of double lap shear adhesive joints by tension loading. *Annual Book of ASTM Standards*, USA.
- Baran, T., 2020. Highly active and robust palladium nanoparticles immobilized on biodegradable microcapsules containing chitosan-guar gum composite for synthesis of biaryl compounds. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1): 113-121.
- Brinker, A., 2007. Guar gum in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: The influence of quality and dose on stabilisation of faecal solids. *Aquaculture*, 267(1-4): 315-327.
- Bumgardner, J.D., Wisner, R., Gerard, P.D., Bergin, P., Chestnutt, B., Marini, M., Gilbert, J.A., 2003. Chitosan: Potential use as a bioactive coating for orthopaedic and craniofacial/dental implants. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 14(5): 423-438.
- Chen, H., Xu, Z., Mo, J., Lyu, Y., Tang, X., Shen, X., 2017. Effects of guar gum on adhesion properties of soybean protein isolate onto porcine bones. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 75: 124-131.
- Chen, Y., Lyu, Y., Yuan, X., Ji, X., Zhang, F., Li, X., Li, J., 2022. A biomimetic adhesive with high adhesion strength and toughness comprising soybean meal, chitosan, and condensed tannin-functionalized boron nitride nanosheets. *International Journal of Biological Macromolecules*, 219: 611-625.
- Cirak, O., Icyer, N.C., Durak, M.Z., 2018. Rapid detection of adulteration of milks from different species using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). *Journal of Dairy Research*, 85(2): 222-225.

- Cleymand, F., Poerio, A., Mamanov, A., Elkhoury, K., Ikhelf, L., Jehl, J.P., Mano, J.F., 2021. Development of novel chitosan/guar gum inks for extrusion-based 3D bioprinting: Process, printability and properties. *Bioprinting*, 21: e00122.
- Dunky, M., 2021. Wood adhesives based on natural resources: A critical review: Part III: Tannin- and lignin-based adhesives. *Progress in Adhesion and Adhesives*, 6: 383-529.
- Ergun, H., 2021. Segmentation of wood cell in cross-section using deep convolutional neural networks. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 41: 7447-7456.
- Ergun, M.E., 2023. Activated carbon and cellulose-reinforced biodegradable chitosan foams. *BioResources*, 18(1): 1215-1231.
- Gadhav, R.V., Mahanwar, P.A., Gadekar, P.T., 2021. Effect of addition of boric acid on thermo-mechanical properties of microcrystalline cellulose/polyvinyl alcohol blend and applicability as wood adhesive. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(10): 1072-1086.
- Gönültaş, O., Uçar, M., 2019. Doğu ladini ve meşe kabuk taneninin biyotutkal üretiminde kullanılması. *Turkish Journal of Forestry*, 20(4): 458-465.
- Herrera, R., Hermoso, E., Labidi, J., Fernandez-Golfin, J.I., 2022. Non-destructive determination of core-transition-outer wood of *Pinus nigra* combining FTIR spectroscopy and prediction models. *Microchemical Journal*, 179: 107532.
- Iqbal, D.N., Nazir, A., Iqbal, M., Yameen, M., 2020. Green synthesis and characterization of carboxymethyl guar gum: Application in textile printing technology. *Green Processing and Synthesis*, 9(1): 212-218.
- Istek, A., Bicer, A., Özlüsoy, İ., 2020. Effect of sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) added to urea-formaldehyde resinon particleboard properties. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(5): 526-532.
- Istek, A., Özlüsoy, İ., Onat, S.M., Özlüsoy, Ş., 2018. Formaldehyde emission problems and solution recommendations on wood-based boards. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20(2): 382-387.
- ISO 9665, 1998. Adhesives — Animal glues — Methods of sampling and testing. International Standardization Organization, Switzerland.
- Ji, X., Guo, M., 2018. Preparation and properties of a chitosan-lignin wood adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 82: 8-13.
- Jiang, S., Liu, S., Du, G., Wang, S., Zhou, X., Yang, J., Li, T., 2023. Chitosan-tannin adhesive: Fully biomass, synthesis-free and high performance for bamboo-based composite bonding. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123115.
- Kasaai, M.R., Arul, J., Charlet, G., 2000. Intrinsic viscosity-molecular weight relationship for chitosan. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 38(19): 2591-2598.
- Lee, D.W., Lim, C., Israelachvili, J.N., Hwang, D.S., 2013. Strong adhesion and cohesion of chitosan in aqueous solutions. *Langmuir*, 29: 14222-14229.
- Mathias, J.D., Grédiac, M., Michaud, P., 2016. Bio-based adhesives. In: *Biopolymers and Biotech Admixtures For Eco-Efficient Construction Materials* (Ed: Pacheco-Torgal, F., Ivanov, V., Karak, N., Jonkers, H.), Woodhead Publishing, Duxford, pp. 369-385.
- Mati-Baouche, N., Delattre, C., De Baynast, H., Grédiac, M., Mathias, J.D., Ursu, A.V., Michaud, P., 2019. Alkyl-chitosan-based adhesive: Water resistance improvement. *Molecules*, 24(10): 1987.
- Mohammadinejad, R., Maleki, H., Larraneta, E., Fajardo, A.R., Nik, A.B., Shavandi, A., Sheikhi, A., Ghorbanpour, M., Farokhi, M., Govindh, P., Cabane, E., Azizi, S., Aref, A.R., Mozafari, M., Mehrali, M., Thomas, S., Mano, J.F., Mishra, Y.K., Thakur, V. K., 2019. Status and future scope of plant-based green hydrogels in biomedical engineering. *Applied Materials Today*, 16: 213-246.
- Morandini, M.C., Kain, G., Eckardt, J., Petutschnigg, A., Tippner, J., 2022. Physical-mechanical properties of peat moss (sphagnum) insulation panels with bio-based adhesives. *Materials*, 15(9): 3299.
- Ozen, E., Yildirim, N., Dalkilic, B., Ergun, M.E., 2021. Effects of microcrystalline cellulose on some performance properties of chitosan aerogels. *Maderas. Ciencia y Tecnologia*, 23(26): 1-10.
- Özlüsoy, İ., İstek, A., 2015. Mobilya üretiminde kullanılan panellerden salınan formaldehit emisyonu ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2): 213-227
- Özlüsoy, İ., 2016. Üre formaldehit tutkalının sodyum-karboksimetilselüloz ile modifikasyonun yonga levhaların bazı özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Özlüsoy, İ., İstek, A., 2018. Sodyum karboksimetil selüloz (Na-CMC) takviyeli üre formaldehit tutkalının yonga levha özellikleri ve formaldehit emisyonuna etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(3): 317-322.
- Patel, A.K., Michaud, P., Petit, E., de Baynast, H., Grédiac, M., Mathias, J.D., 2013. Development of a chitosan-based adhesive. Application to wood bonding. *Journal of Applied Polymer Science*, 127(6): 5014-5021.
- Prosanov, I.Y., Abdulrahman, S.T., Thomas, S., Bulina, N.V., Gerasimov, K.B., 2018. Complex of polyvinyl alcohol with boric acid: Structure and use. *Materials Today Communications*, 14: 77-81.
- Rao, M.S., Kanatt, S.R., Chawla, S.P., Sharma, A., 2010. Chitosan and guar gum composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymers*, 82(4): 1243-1247.
- Rizhikovs, J., Brazdauskas, P., Paze, A., Tupciauskas, R., Grinins, J., Puke, M., Makars, R., 2022. Characterization of suberinic acids from birch outer bark as bio-based adhesive in wood composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 112: 102989.
- Solt, P., Konnerth, J., Gindl-Altmutter, W., Kantner, W., Moser, J., Mitter, R., Van Herwijnen, H.W., 2019. Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 94: 99-131.
- Song, C., Yu, H., Zhang, M., Yang, Y., Zhang, G., 2013. Physicochemical properties and antioxidant activity of chitosan from the blowfly *Chrysomya megacephala* larvae. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60: 347-354.
- Şenay, A., 1996. Lamine edilmiş ağaç malzemenin teknolojik özellikleri. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vino, A.B., Ramasamy, P., Shanmugam, V., Shanmugam, A., 2012. Extraction, characterization and in vitro antioxidative potential of chitosan and sulfated chitosan from Cuttlebone of *Sepia aculeata* Orbnigny, 1848. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(1): S334-S341.
- Xi, X., Pizzi, A., Lei, H., Zhang, B., Chen, X., Du, G., 2022. Environmentally friendly chitosan adhesives for plywood bonding. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 112: 103027.
- Yildirim, N., Ozen, E., Ergun, M.E., Dalkilic, B., 2022. A study on physical, morphological and antibacterial properties of bio polymers reinforced polyvinyl acetate foams. *Materials Research*, 25: e20210579.
- Yu, H., Cao, Y., Fang, Q., Liu, Z., 2015. Effects of treatment temperature on properties of starch-based adhesives. *BioResources*, 10(2): 3520-3530.
- Zeng, G., Zhou, Y., Liang, Y., Zhang, F., Luo, J., Li, J., Fang, Z., 2022. A hair fiber inspired bio-based adhesive with high bonding strength and mildew tolerance. *Chemical Engineering Journal*, 434: 134632.