

Türk yaylarının yapımında kullanılan geleneksel ve yeni nesil tutkalların yapışma performanslarının karşılaştırılması

Salih Parlak^{a,*} , Oktay Gönültaş^b 

Özet: İlkel toplumlardan günümüz modern ordularına kadar insanoğlu varoluşundan beri rekabet ve savaş halinde olmuş, bu mücadeleyi kazanmak için farklı silah sistemleri geliştirmiştir. İlk kullanılan ve geliştirilen silahlardan olan ok ve yayın ilk kez ne zaman, nerede kullanıldığı belli değildir fakat savaşlarda en etkili silahlardan biri olmuştur. Bütün kültürlerde ok ve yay kullanılmasına rağmen geliştirilmesi ve kompozit yay formunu alması göçebe Orta Asya kültürlerinde olmuştur. Kompozit yayın imalinde ana bileşenlerin en önemlisi olan hayvansal tutkalların işlevini vurgulamak gerekir. Ahşap, boynuz ve hayvan tendonlarından oluşan malzemeleri güçlü bir şekilde bir arada tutan tutkalların imali ve kullanımı kompozit yayların yapımını mümkün kılmıştır. Bu makalede yay yapımında kullanılan geleneksel tutkallar ile yeni nesil tutkalların yapışma performansları çekme testi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada Tatar akçağacından (*Acer tataricum* L.) hazırlanan ahşap yapışma örnekleri 10 farklı tutkalla 5 bar basınç altında sıcaklık uygulanmadan yapıstırılıp hazırlanmıştır. Çekme testlerinde elde edilen verilere göre en yüksek yapışma mukavemeti deri tutkalından elde edilmiştir. Hayvansal tutkalların kimyasal yapıları, yapısında bulunan fonksiyonel gruplar ve farklılıkları FTIR analizi ile incelenmiştir. Elde edilen spektruma göre hayvansal proteinler için karakteristik pikler belirlenmiştir. Ancak farklı kaynaklardan elde edilen örneklerin amid pik şiddeti farklılıkları ve dalga boyu kaymaları ortaya konulmuştur. Ayrıca lap shear yapışma testi örneklerinin yapışma hattı ışık mikroskobu altında tutkal penetrasyonu ve ahşap tutkal etkileşimi açısından incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yay, Protein tutkalı, FTIR, Yapışma performansı

Comparison of the adhesion performances of traditional and new generation adhesives used in the making of Turkish bows

Abstract: From primitive societies to today's modern armies, mankind has engaged in competition and warfare since its existence, developing various weapon systems for prevailing in these conflicts. Although it remains unclear when and where the bow and arrow, among the earliest weapons used and developed, were first employed, they have consistently been one of the most effective war instruments. The development of bows and arrows, particularly the transition to composite bows, is notably associated with nomadic Central Asian cultures. It is crucial to highlight the significance of animal adhesives, which are pivotal components in the production of composite bows. The utilization of adhesives to bind materials such as wood, horn, and animal tendons facilitated the creation of composite bows. This article compares the adhesion performances of traditional animal protein-based adhesives used in bow production and new-generation commercial adhesives with the tensile test. Tatar maple (*Acer tataricum* L.) wood adhesion samples were employed in the study, bonded with ten different adhesives under 5-bar pressure without applying heat. The tensile test results indicate that hide glue has the highest adhesion strength. The chemical structures of animal adhesives, the functional groups within the structure, and their variations were analyzed through FTIR analysis. Characteristic peaks for animal proteins were identified in accordance with the obtained spectrum. Furthermore, differences in amide peak intensities and wavelength shifts were detected among samples obtained from various sources. Additionally, the adhesion line of the lap shear adhesion test samples was examined under a light microscope to assess adhesive penetration and the interaction between wood and adhesive.

Keywords: Bow, Protein adhesive, FTIR, Adhesion performance

1. Giriş

Dünya tarihinde askerlik ve harp sanatı açısından dikkat çeken milletlerin başında Türkler gelmektedir (Eralp, 1993). Zorlu coğrafyada hayatta kalmanın tek yolu sağlam bir ordu ve üstün silahlara sahip olmaktır. Bu bakımdan silah yapımı Türklerde en üst düzeyde gelişme göstermiş, mükemmel yay üretmeleri ve bunları maharetli bir şekilde kullanmalarından dolayı "okçu/kemankeş millet" sıfatı ile anılmışlardır

(Göksu, 2013; Küçük, 2018). Bir savaş aleti olarak ok ve yay Türk kavimlerinin günlük yaşamında önemli bir rol oynamış (Bir vd., 2006) ve Türk tarihinde değerli izler bırakmıştır (Çetin, 2011).

Kazanılan zaferlerde okçular her zaman başat rol oynamışlardır. Düşmanla göğüs göğüse gelmeden etkili olabilmeleri, ustalıklı kullandıkları uzak mesafe silahı olan ok ve yaya bağlıdır (Yücel, 1999). Yayların kısa oluşu, gücünü ve atış mesafesini artırdığı gibi süvarilere at üstünde

* ^a Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

^b Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

* ^{Corresponding author} (İletişim yazarı): salih.parlak@btu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 04.09.2023, **Accepted** (Kabul tarihi): 25.12.2023



Citation (Atıf): Parlak, S., Gönültaş, O., 2024. Türk yaylarının yapımında kullanılan geleneksel ve yeni nesil tutkalların yapışma performanslarının karşılaştırılması. Turkish Journal of Forestry, 25(1): 89-99. DOI: [10.18182/tjf.1355170](https://doi.org/10.18182/tjf.1355170)

daha rahat hareket kabiliyeti ve her yöne manevra yapip ok atabilme imkânı sağlamıştır (Karpowicz, 2008; Göksu, 2013; Metin, 2014; Randall, 2016; Doğan, 2017).

Türk yaylarının da dâhil olduğu kompozit yaylar, ahşap bir iskelet, boynuz, sinir ve hayvansal tutkallardan oluşmaktadır (Asbell vd., 1993). Kompozit yay, teknolojik olarak en sofistike olanıdır ve yapımı yüksek düzeyde beceri gerektirir (Knecht, 1997). Kompozit yaylar, boynuz-ahşap-sinir-tutkal gibi farklı malzemelerin elastik ve mekanik mükemmelliğini birleştiren en iyi ve en kullanışlı yayları temsil etmektedir (Latham ve Paterson, 1970; Klopstek, 1987; Kooi, 1994; Grayson vd., 2007). Kompozit yaylarda, sinir kaplı dış yüzeyi gerilme, boynuz kaplı iç yüzey ise sıkışma kuvvetlerine maruz kalır (Randall, 2016). Uzun çekişli, kısa ve hafif yay kolları, kompozit bir yayın yüksek miktarda enerji depolamasını ve oka diğer yay türlerinden daha verimli aktarılmasını sağlar (Knecht, 1997). Boynuz ve sinir birim kütleden ahşaptan daha fazla enerji depolanmasını sağlar. Döşenen sinir esneklik sağlayarak yayın gücünü artırırken boynuz sıkışma kuvveti sayesinde kırılmaya karşı direnci artırır (Grayson vd., 2007; Karpowicz, 2008).

Birçok millet, boynuz ve sinirden yapılan kompozit yayları kullanmasına rağmen, yüksek gücü, etkinliği ve aynı zamanda küçük, zarif ve hafif yayların yapımında hiçbirisi Türkler kadar uzmanlaşmamıştır (Klopstek, 1934). İdeal yay, kolları kısa ve hafif olan yaylardır ve kompozit yayların içerisinde en gelişmiş olanı Türk yaylarıdır (Klopstek, 1987; Karpowicz, 2008). Yayda enerji depolanmasında prensip, yay kollarında en az materyalin kullanılması ve aynı zamanda sağlamlığın elde edilmesidir. Diğer kompozit yaylardan tasarım farklılıkları, malzeme ve yapım teknikleri Türk yaylarının performansını artırmaktadır (Karpowicz, 2008). Bu mükemmelliğe yüzyıllar süren deneme ve araştırmaların neticesinde ulaşılmış, maliyetli ve temini güç olsa da daima en uygun ve kaliteli malzeme kullanılmıştır (Yücel, 1999; Parlak, 2020). Kısa Türk yaylarında birim kütle başına depolanan enerji miktarı bu yayların üstün performansını meydana getirmiştir (Kooi, 1994).

Ahşap tutkalları İran, Çin ve Mısır gibi eski uygarlıklardan buyana kullanılan, muhtemelen insanoğlunun bildiği en eski yapıştırıcıdır (Petrie, 2007). MÖ 3000 yıllarında Sümerler'in hayvan derilerinden tutkal ürettikleri bilinmektedir (Mikhail, 2009). Hayvansal kökenli ahşap tutkalları epitel, bağ, kas ve sinir olmak üzere dört ana dokudan elde edilebilir (Haupt vd., 1990; Harrison vd., 2005; Schellmann, 2007; Tousi vd., 2014). Bu hayvansal tutkallar ahşap yüzeyler arasında esnek ve yüksek mukavemetli bağlar oluşturmakta, tamamen kuru tutulduklarında ise uzun süre yapışma gücünü koruyabilmektedir (Pizzi ve Mittal, 2003). Tutkallar yapıştırılan elemanlar arasında yükü dağıtarak ve transfer ederek ahşap elemanların gerilimini azaltır. Protein bazlı tutkallar yoğunluğu yüksek ahşaplarda uzun süreli suya veya sürekli yüksek neme maruz kalmaya dayanıklı değildir (Frihart ve Hunt, 2011). Yapıştırılacak yüzeyin tam ve eşit bir şekilde ıslanması, güçlü bir yapışma için önemli bir ön koşuldur. Tutkalın iyi yapışma özelliğinin bir göstergesi de temas açısidir. Temas açısının küçük olması, daha az yüzey gerilimi, daha iyi yayılım ve yapışma özellikleri gösterir (Habenicht, 2009; Kumar ve Pizzi, 2019). Hayvansal tutkallarda yavaş jelleşme ve daha düşük viskozite, tutkalın düzgün bir şekilde yayılarak yüzeyin yeterli derecede ıslanması sonucunda düzgün film oluşumu sağlar. Tutkal çözeltisinin yüzey gerilimindeki azalma ıslatma özelliğini iyileştirmektedir (Schellmann, 2007). Sıvının yüzey

üzerindeki ıslanma davranışı sadece viskozitesine değil, aynı zamanda yüzey gerilimine de bağlıdır (Habenicht, 2009). Yay yapımında kullanılan hayvansal kökenli tutkallar boynuz ve ahşap gibi yüzey özellikleri ve pürüzlülükleri farklı iki maddeyi mükemmel derecede yapıştırabilmektedir. Ahşap yüzeyler, doğası gereği eskime ve oksidasyon ile değişir. Ağacın özsuyu, ekstraktifler, reçineler veya koruyucular da yapışma gücünü etkiler. Genel olarak yeni kesilmiş ahşap yüzeyler gözenekli yapısı nedeniyle yapıştırma için idealdir (Adams ve Wake 1986; Petrie 2007).

Soğutulduklarında hayvansal tutkal sulu çözeltilerinin jelleşmesi önemli bir özelliktir (Pizzi ve Mittal, 2003). Bu tutkalların sertleşme süresi, jelleşme sıcaklığına, jel kuvvetine, ortam sıcaklığına ve bağlı neme bağlıdır. Hayvansal tutkallarda jelleşme sıcaklığının biraz üzerindeki sıcaklıkta kurutulduğunda doğal olarak oldukça kararlı ve elastik filmler geliştirir (Schellmann, 2007). Bu bakımdan yayın halkaya çekilmesinden sonra en az 6 ay süreyle kurumaya bırakılması yapışma özelliklerini en üst düzeye çıkardığı söylenebilir. Karpowicz (2008) tutkalın daha fazla süreyle kurumaya bırakılmasının sertleştirmeyi sağladığını ve yayın verimliliğini artırdığını bildirmektedir. Yaya Sinir ve tutkal vurulduktan sonra her iki malzeme de nem kaybindan dolayı kurumaya başlar ve birbirine iyice yapışır. Tutkal molekülleri bu aşamada hidrojen bağı oluşturur ve malzemeler her yönden büzülmeğe başlar. Tutkalın bu kuruma ve büzülme özelliği yaya refleks yapı kazandırmaktadır (Karpowicz, 2008).

Tutkalın esneyebilme özelliği sayesinde yaydaki gerilimlerde, hem malzeme hem de hayvansal tutkallar birbirlerine çok iyi uyum sağlamaktadır. Özellikle yayın çekişi esnasında sinir kısmında oluşan aşırı gerilimlere dayanma ve yay bırakıldığında oluşan kuvvetlere karşı koyabilme sağlam yapışma ve esneme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Kompozit yayların iskeletini oluşturan ahşapta aranılan özellikler; tutkalın kolayca yapışabilmesi ve sert fakat kırılğan olmaması, esnek ve kolay bükülebilir ve yayın çalışması esnasında burkulmalara karşı koyabilecek kadar sıkı dokulu ve yoğunlukta olmasıdır (Knecht, 1997). Yüzeyine kolay taşın çekilebilmeli, tutkal kolay penetre olmalı ve gerilimlere dayanabilmelidir. Yayda kullanılan ahşap gerilme ve sıkışma kuvvetlerinden daha fazla, boyuna oluşan makaslama kuvvetlerine dayanacak özellikte olmalıdır. En iyi ağaçlar yıllık halkaların rahatlıkla seçildiği gözenekli ağaçlardır. Tatar akçağacı da Türk yayları yapımında kullanılmıştır (Karpowicz, 2008). Akçağaç ahşap kısımların ve boynuzun yapıştırılmasında güçlü yapışma özelliği göstermektedir (Loades, 2016).

Lif haline getirilmiş sinirlerin ahşaba döşenmesinde kullanılan tutkal, lifleri bir arada tutmaktan ziyade, ahşap iskelete yapıştırma işlevi açısından daha önemlidir. Hayvansal tutkallar sinir (kolajen) ile aynı bileşime sahip olduğundan, vurulan sinirlerle son derece homojen bir tabaka haline gelir ve tutkalın bu işlevi eşsizdir (Klopstek, 1934). Ahşap, boynuz, sinir ve tutkal gibi dört farklı malzemeden yapılan kompozit yaylarda en önemli bileşen tutkaldır (Knecht, 1997; Karpowicz, 2008). Yay yapımında deri, balık ve sinirden elde edilen hayvansal tutkallar kullanılmaktadır (Schellmann, 2007). Sadece deri ve balık tutkalları, sinir ve boynuzu ahşap bir malzemeye yapıştırma gücüne ve esnekliğine sahiptir. Bu tutkalların esnekliği aynı zamanda kompozit yayların genel dayanıklılık ve esnekliğine de katkı sağlamaktadır (Loades, 2016). Yayda kullanılan malzemeleri

büyük gerilimlere rağmen bir arada tuttuğundan tutkal kalitesi çok önemlidir (Klopstek, 1987). Pizzi ve Mittal (2003) hayvansal tutkalların ahşaptan daha yüksek gerilme mukavemetine sahip olduğunu belirtmektedir. Bu bakımdan bükülmenin maksimum olduğu noktalarda ahşapta meydana gelen sürüklenme (Bergman, 2011) ve gerilme kuvvetlerine karşı mükemmel uyum sağlamaktadır. İyi bir tutkal yüksek kırılma mukavemetine ve esnekliğe sahip olmalıdır (Allely vd., 1992). Tutkalın daha esnek olması için yoğunluğunun azaltılması gerekir. Fakat yoğunluğun azaltılması çekme mukavemetini de azaltır (Petrie, 2006). Hayvansal tutkallarda uygulamanın dört temel esası, yüzeylerde ince bir film oluşturma, oluşturulan bu filmin yapışkan hale gelmesini sağlama, yüzeyler arasında tam temas sağlama ve eşit ve yeterince uzun süre basınç uygulamadır (Pizzi ve Mittal, 2003).

Yay yapımında hayvansal tutkalların önemli avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Başlıca dezavantajları, kullanımlarında hassas sıcaklık kontrolü gerekmesi ve yapışma yüzeylerinin düşük nem direncidir. Bu bakımdan hayvansal tutkalların hiçbiri neme, suya, küfe ve çürümeye karşı dirençli değildir (Pizzi ve Mittal, 2003; Schellmann, 2009; Mikhail, 2009) ve yüksek nem hayvansal tutkalların yapışma gücünü etkileyebilir (Bridarolli vd., 2022). Bu nedenle yayın kompozit yapısı, oldukça nemli iklime sahip yerler için uygun değildir (Randall, 2016). Yayın ıslanması veya uzun süre nemli havaya maruz kalması durumunda, sinir nemi emip gerildiğinden performans düşmekte ve yay kırılmaktadır (Allely vd., 1992). Yaylar ve kirişin ıslanması ve kullanılmaz hale gelmesi nedeniyle savaşın kaybedildiği örnekler vardır (Göksu, 2013).

Mekanik kuvveti sağlamanın en iyi yolu soğuduğu zaman jelleşen bir tutkal üretebilmektir. Hayvansal tutkallar ahşaba sıcak ve viskoz olarak uygulandıklarında, hızla soğuyarak jel mukavemeti geliştirirler. Kuruduğunda ahşaptaki gözenekli yapıya nüfuz ederek esnek ve yüksek dayanıklı bağlar oluşturur (Asbell vd., 1993; Pizzi ve Mittal, 2003). Sıcak suda dağılık halde bulunan protein molekülleri soğuduğunda ağ yapısı geliştirerek jelleşir. Jelleşme protein moleküllerinin kısmen tekrar şekil değiştirmesi sonucu meydana gelir. Hidrojen bağları sonucu oluşan jelleşme kuruduktan sonra sert ve güçlü hale gelir. Jel ne kadar kuvvetli olursa yapışma da o oranda güçlü olur. Yoğun tutkalda moleküller birbirine yakın olduğundan daha hızlı jelleşme görülür (Karpowicz, 2008). Tutkalın daha iyi nüfuz etmesi için düşük yoğunluklu tutkal sıcak halde uygulanmasına rağmen, nihai yapıştırmada daha yoğun tutkal tercih edilmektedir. Klopstek (1987) bu oranı kuru tutkalın ağırlıkça iki kısım tutkal ve beş kısım su ile karıştırılarak elde edilebileceğini bildirmektedir. Fakat tutkal jelleşmeden rahat çalışabilmek için ağırlıkça dört kısım tutkal ve bir kısım su oranında karıştırılması ve çözeltilerin 60°C civarında hazırlanması tavsiye edilmektedir (Klopstek, 1987; Schellmann, 2009).

Hayvansal tutkallar, memeli hayvan veya balık kolajeninden elde edilen doğal biyopolimerlerdir. Memeli hayvanlardan elde edilen jelatinler yaklaşık 30–35 °C'ye, soğuk su balıklarının jelatinleri ise yaklaşık 8 °C'ye kadar jelleşmeden kalabilmektedir. Ancak, tutkalın imalatı aşamasında sıcaklığı önemli ölçüde aşılırsa jelleşme sıcaklığı düşmektedir (Schellmann, 2007; 2009). Hayvansal tutkalların geniş bir kısmını oluşturan, memeli hayvanlardan elde edilen jelatinler, balık derisi, kemiği, yüzgecinden elde edilen deniz kaynaklı jelatinlerden daha güçlü yapışma özelliğine sahiptir ve daha yumuşaktır (Allely vd., 1992).

Kolajenin tutkal olarak kullanılabilen jelatine dönüşmesi için denatürasyon süreci gereklidir. Memeli hayvan kolajeni 40-41°C'de denatüre olurken, balık tutkalları ve diğer balık kolajenleri daha düşük sıcaklıklarda denatüre olur. Kolajen bazlı tutkalların hazırlama sıcaklıklarının genellikle 55-63 °C civarında olması tavsiye edilir. Balıklardan elde edilen tutkalları, kimyasal yapıları nedeniyle memeli hayvan tutkallarına göre ısıtıldığında daha kolay parçalanır (Schellmann, 2007, 2009). Memeli hayvan kolajenleri, balık kolajenindeki moleküller arası stabilize edici bağların azlığı nedeniyle, daha güçlü tutkallar verme eğilimindedir (Schellmann, 2007, 2009). Deri ve sinir tutkallarının özellikleri benzerdir. Hızlı jelleşirler ve yapışma daha güçlü meydana gelir. Bu tutkalların iyi ıslatma özelliği için sıcak ortamlarda düşük yoğunluklu olarak hazırlanırlar (Karpowicz, 2008).

1.1. Deri tutkalları

Farklı hayvanların derilerindeki kolajen dokularından elde edilmektedir. Memeli hayvan kolajenleri daha güçlü tutkallar verme eğilimindedir (Schellmann, 2007, 2009). Deri ve sinir tutkallarının özellikleri benzerdir. Hızlı jelleşirler ve yapışma daha güçlü meydana gelir. Bu tutkalların iyi ıslatma özelliği için sıcak ortamlarda düşük konsantrasyonlu olarak hazırlanırlar (Karpowicz, 2008). Memeli hayvan jelatinlerinin termal ve ultraviyole etkisiyle gerilme mukavemetinin arttığı, ancak değişken bağıl nem ve sıcaklıkta daha sert ve kırılğan hale geldiği belirlenmiştir (Schellmann, 2007).

1.2. Balık Tutkalları (isinglass)

Farklı türdeki balıkların hava kesesinden elde edilen tutkallardır. Saf beyaz, yarı şeffaf, kuru, sert dokulu ve kokusuzdur. 35-50 °C arasındaki suda bir kalıntı bırakmadan çözünür ve soğutulduğunda neredeyse renksizdir. Hazar ve Karadeniz'de yaşayan birkaç mersin balığı (*Acipenser*) türünden elde edilir. Göksu (2013) yay yapımında kullanılan balık tutkalının en çok talep edileni, Tuna, Dinyeper ve Volga nehirlerinin denize döküldüğü yerde yaşayan Mersin Morinasının damak derisi veya hava kesesinden imal edildiğini bildirmektedir. Balık tutkalları güçlü ve esnektir (Allely vd., 1992). Bu tutkalların yavaş jelleşmesi, ıslatma özelliğinin daha iyi olmasını sağlar ve hidrojen bağlarından dolayı kuruduğunda yüzeylere daha iyi yapışma özelliği gösterir. Deri tutkalları kuruduğunda ısıya karşı daha dayanıklı hale gelmektedir. Bu bakımdan yay yapımında sıcak iklimlerde deri tutkalı, daha nemli iklimlerde balık tutkalı kullanımı daha uygundur (Karpowicz, 2008).

1.3. Balık jelatini

Balığın derisinden, kemiklerinden veya pullarından elde edilen tutkallardır. Genelde morina balığının derisinden yapılır (Petrie, 2007).

1.4. Kemik tutkalları

Kemiklerden elde edilen tutkallardır. Suda deri tutkallarından daha fazla çözünürler. Kemiklerden elde edilen tutkallar, yüksek inorganik maddeler ve yağ içeriğinden hayvan derilerinden elde edilen tutkallara göre daha kalitesizdir (Pizzi, 1994) ve bundan dolayı yapışma mukavemetinin deri veya balık tutkalının yarısı olduğu ifade edilmektedir (Karpowicz, 2008).

1.5. Sinir tutkalları

Gelibolu yakınlarındaki Çağa adlı köyde üretildiğinden Çega veya Çağa tutkalları olarak bilinmektedir. Sinir liflerinin uzun süre kaynatılması ile elde edilmektedir. Türk yay ustaları sadece sinir tutkalları kullanarak da yay imal etmişlerdir (Kani, 1847).

1.6. Polivinil asetat (PVA)

"Beyaz tutkal" olarak bilinir. Uçucu bileşikler buharlaşarak PVA tutkalın sertleşmesini ve gerilme mukavemeti kazanmasını sağlar. Bu su bazlı tutkallar anında yapıştırma kabiliyetine ve kürlendiğinde, solvent bazlı yapıştırıcılar kadar nem direncine sahip değildir. Çapraz bağlanmada bile ağır yük altında sünme eğilimindedir. Tekrarlanan donma-çözülme döngüleri ile bozulabilir ve raf ömrü genellikle sınırlıdır. Polivinil asetat yapıştırıcı, özellikle düşük sıcaklıklarda nispeten esnekler. Ahşapı yapıştırmak için 20 C⁰'de 10 bar basınç uygulama ve 10 dakika ile 3 saat arasında kuruma süresi ve iyi yapışma için 1-7 gün arasında şartlandırma önerilmektedir (Oliver, 1981; Pizzi ve Mittal, 2003; Petrie 2007; Habenicht, 2009).

1.7. İki bileşenli epoksi reçine tutkalları

Çalışma kapsamında kullanılan iki bileşenli epoksi reçinelerden ticari ismi Pattex Kraft-Mix (Henkel, Germany) ve lamine yayların yapımında kullanılan tutkal (Smooth-on EA-40) kullanılmıştır. Soğuk sertleşen iki bileşenli epoksi reçine tutkalları güçlü ve fonksiyonel birleştirmeler sağlamaktadır. İki bileşenli tutkallarda bir bileşen diğerine çoğunlukla ekzotermik bir reaksiyonla çapraz bağlanır. Sıcaklık muamelesi kürlenme süresini kısaltır, ancak mutlaka yapılması gerekmez (Gierenz ve Karmann, 2001; Habenicht, 2009; Mikhail, 2009). Epoksi reçinelerin üstün fiziksel özellikleri; kürlenmede düşük büzülme, uçucu madde yaymaması, çok sayıda malzeme ile uyumluluk, mukavemet ve dayanıklılık, yapışma, korozyon ve kimyasallara direnç, elektrik yalıtımı, boşlukları iyi doldurma, viskozite ve sertleşme süresinin ayarlanabilmesidir. Epoksi reçineler kuru halde ahşapla güçlü bağlar oluşturur. Suda tekrar ıslatmaya ve kurumaya maruz kaldıklarında, dış ortamda kullanılan ahşap yapıştırıcılar kadar dayanıklı değildir (Kumar ve Pizzi, 2019). Uzun raf ömrüne sahiptir. Ayrıca, epoksi reçine hem ortam sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda kürlenebilir

ve kürlenmede minimum basınç gerektirir (Allely vd., 1992; Petrie, 2006).

Yay yapımında kullanılacak ağaçların taşınması gereken fiziki niteliklere ilaveten, botanik ve mekanik özellikleri de önem taşımaktadır (Parlak, 2020). Kompozit yayların iskeletini oluşturan ahşapta aranılan özellikler; tutkalın kolay penetre olması, kırılma olmaması, kolay taşın çekilebilmesi, esnek, kolay bükülebilir ve yayın çalışması esnasında burkulmalara karşı koyabilecek kadar sıkı dokulu ve yoğun olmasıdır (Knecht, 1997; Karpowicz, 2008). Yay yapımında farklı ağaçlar kullanılsa da en fazla tercih edilen ince dokulu akçaağaçtır (Klopstek, 1934; 1987; Karpowicz, 2008). Arkeolojik bulgular kompozit yay yapımında akçaağacın kullanıldığına dair bilgiyi desteklemektedir (Balogh, 2016). Kırık bir yaydan alınan parçada, kullanılan ağacın ova akçaağacı (*Acer campestre* L.) olduğu belirlenmiştir (Gündüz vd., 2013). Bu tercihte, rahat işlenebilme, kolay bükülebilme gibi özelliklerin yanında, tutkalın iyi derecede penetre olması, tutkala yatırıldığında esneklik kazanması gibi özellikler etkili olmaktadır (Klopstek, 1934; İrtem, 1939; Göksu, 2013). En iyi yaylık ağaçların Kastamonu ve Gerede civarında yetişen akçaağaçlardan elde edildiği ve bu akçaağacın tutkalı iyice "içtiği" belirtilmektedir. Laboratuvar testlerinde de tutkalın akçaağaca iyi penetre olduğu bildirilmektedir (Klopstek, 1934, 1987; Yücel, 1999). Akçaağaç, ahşap kısımların ve boynuzun yapıştırılmasında da güçlü yapışma özelliği göstermektedir (Loades, 2016). Ova akçaağacının yanında Tatar akçaağacı (*A. tataricum* L.)'da Türk yayları yapımında kullanılmıştır (Karpowicz, 2008).

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada, böcek ve mantari etmenlerin zarar vermesini önlemek için, vejetaston dönemi dışında Trakya Bölgesinden kesilen Tatar akçaağaçları (*A. tataricum* L.) kullanılmıştır. Kesilen tomruklar dalsız ve budaksız gövde kısımlarından alınmış ve 20-25 cm çapları arasında değişen kalınlıktadır.

Çalışmada kullanılan ticari ürün hayvansal tutkallar; deri (Kramer, 63020), balık, balık hava kesesi (Isinglass-Kremer Fish Glue blend, 63080), kemik (Yerel üreticiden) ve jelatin (Merck 1.04078.1000) tutkallardır (Çizelge 1). Sinir tutkalları ise laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Sinir vurma için ayıklanan sinirlerden artan lifler tutkal yapımında kullanılmıştır. Bu liflendirilmiş sinirler 24 saat süreyle saf suda bekletilip birkaç kez yıkanarak durulanmıştır. Daha sonra bir kap içerisinde konan sinirlerin üzerine saf su doldurularak doğrudan ateş üzerine konulup 8 saat süreyle kaynatılmıştır. Buharlaşmayla su azaldığında sürekli saf su ilavesi yapılmıştır. Kaynayan ve yumuşayan sinirler blendırla parçalanmıştır. Karışıma saf su ilave edilerek bir saat süreyle tekrar kaynatılmıştır. Viskozitesi artarak bal kıvamına gelen karışım 1-2 mm kalınlıkta plastik kalıplara dökülmüş ve üç günlük kuruma süresinden sonra plakalar halinde sinir tutkalları elde edilmiştir.

Çizelge 1. Tutkal grupları ve özellikleri

Grup	Tutkal tipi	Formülasyon / Özellik
T1	Smooth-On Epoxy- EA 40	(Karışım oranı: 1/2.44)
T2	Smooth-On Epoxy- EA 40	(Karışım oranı: 1/1)
T3	Deri protein tutkalı	(%30 oranında) (Kramer hide glue-63020)
T4	İki bileşenli epoksi tutkalı	(Pattex)
T5	Jelatin balık protein tutkalı	(%30 oranında) Kremer Fish Glue blend (63080)
T6	Balık protein tutkalı	(%30 oranında)
T7	Analitik kalite jelatin	Merck CAS- 9000-70-8 (%30 oranında)
T8	Kemik protein tutkalı	(%30 oranında) (Yerel üretici temin edilmiştir)
T9	Tanen tutkalı	(Kızılcım kabuk taneni)
T10	PVA tutkalı	(Wincell-ticari marka)
T11	Sinir protein tutkalı	(%30 oranında) (Laboratuvar şartlarında imal edilmiştir)
T12	Deri protein tutkalı-iki aşamalı uygulama*	(%30 oranında) (Kramer hide glue-63020)

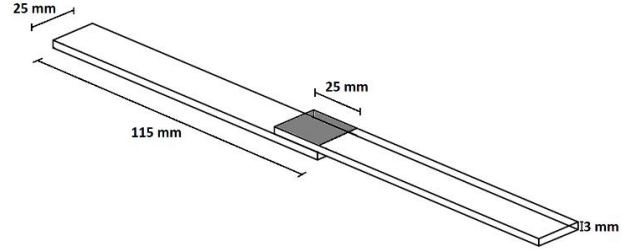
*Ardışık 10 kat %10'luk ve 1 kat %30'luk son tutkallama

2.2. Yöntem

2.2.1. Lap shear örneklerinin hazırlanması

Tatar akçaağaçları (*A. tataricum*) kış döneminde kesilmiş, hemen kabukları soyularak çatlamaması için baş kısımları beyaz tutkale (PVA-polivinil asetat) batırılmış gazete kâğıdı ile kaplanmıştır. En iyi tutkal performansı, nem içeriğinin %6-14 arasında elde edildiğinden (Mikhail, 2009; Frihart ve Hunt, 2011) tomruklar yaklaşık iki yıl süreyle kurutulmuş ve lif doğrultusunda yarılarak dört parçaya ayrılmıştır. Lif dönüklüğü, nokta budak oluşumu gibi kusurları olanlar ayrılarak yay yapımına uygun olanlar lata haline getirilmiş ve iki yıl süreyle kurutulmuştur. Bu latalardan da Şekil 1'de verilen ölçülerde lap-shear örnekleri hazırlanmıştır. Basit, ucuz olması, standart bir çekme test makinesi kullanması ve karşılaştırma için çok sayıda verinin mevcut olması gibi avantajları (Adams ve Wake, 1986) nedeniyle çalışma kapsamında hazırlanan tutkalların yapışma performansı lap shear testi ile belirlenmiştir. Optimal yapışmayı sağlamak için çalışmada kullanılan ahşap iki yıl süreyle kurutulmuş ve 30 lap shear örneğinde ortalama nem %8,8 olarak belirlenmiştir.

Lap shear örnekleri ahşap şerit testesinde (Makita LB 1200) kesilmiş ve kesim yüzeylerine herhangi bir işlem yapılmamıştır. Örneklerin kalınlığını ölçmek için bir mikrometre (Micrometer Mitutoyo, model: M317-25; ölçüm aralığı 0–25 mm; derecelendirme 0,01 mm) kullanılmıştır. Ahşabın kesim yönü de yapıştırmada önemli rol oynar. Gövdenin radyal simetrisi ve selüloz liflerinin yönü mekanik ve yapışma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Mikhail, 2009). Tutkal hücreye dik uygulandığında daha az nüfuz etmekte, hücre lümenlerine penetrasyona imkân verecek liflere paralel kesim yapıldığında daha fazla bağlanma yüzeyi oluşturduğundan daha iyi bir yapışma sağlanmaktadır (Lucas vd., 2012). Bu özellikler dikkate alınarak lap shear örneklerinin kesimleri radyal kesitler şeklinde hazırlanmıştır. Bunun için BS 1204 (1993) standardına uygun şekilde 3 mm kalınlık, 25 mm genişlik ve 115 mm uzunluğunda kusursuz Tatar akçaağacı (*A. tataricum*) kaplamalar kullanılmıştır. Kaplama örnekleri kullanılmadan önce iki hafta süre ile 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nemde bekletilerek klimatize edilmiştir.



Şekil 1. Lap shear örnek boyutları

2.2.2. Hayvansal tutkalların hazırlanması

Islatma özelliklerinin iyi olması ve ahşabın kapiler boşluklarına akabilmesi için tutkal uygun akıcılıkta olmalıdır (Frihart ve Hunt, 2011). Bu bakımdan genellikle kabza ve boynuzun yapıştırılmasında ve sinir vurulmasında %30 katı madde oranına sahip tutkal kullanılmaktadır (Karpowicz, 2008). Karşılaştırma yapabilmek için hayvansal tutkalların tümü %30 katı madde oranında hazırlanmıştır. Örneklerin yapıştırılması için tutkalların hazırlanmasında; deri, balık, kemik, sinir ve jelatin tutkalları bir gün önceden 30 g tutkale 70 ml saf su eklenerek 12 saat süreyle buzdolabında bekletilmiştir. Suyu emen ve şişen tutkalın özelliğinin bozulmaması için Benmari usulü (doğrudan ateş üstünde kaynatmak yerine, bir kabı sıcak suya oturarak içindekini ısıtma yöntemi) ısıtılarak sıvı hale getirilmiştir. Genellikle 60 °C civarında tutkal çözeltilerinin hazırlanması tavsiye edildiğinden (Schellmann, 2009) kullanım esnasında sıcaklığı ayarlanabilen elektrikli ocak üzerinde bekletilerek uygun sıcaklıkta sıvı halde kalmaları sağlanmıştır.

2.2.3. Tutkallama ve basınç uygulama

Akçaağaç kaplamaların tek yüzlerinde 25x25 mm alana yaklaşık 0,019-0,024 g/cm² sıcak halde tutkal sürülmüş ve tutkal uygulanmamış kaplama ile birleştirilmiştir. Hayvansal tutkallar köpüklenme ve hava kabarcıkları oluşturduğundan (Schellmann, 2007) daha iyi yapışma sağlamak için at kuyruğundan yapılmış fırça ile tutkal uygulanmıştır. Epoksi ve polivinil asetat (PVA) uygulamaları ise spatula ile yapılmıştır. Tutkal yapışma hattına uygulanan basınç yapışmayı olumlu veya olumsuz etkilemektedir. Uygulanan basıncın çok yüksek olması yapışma hattındaki tutkalı azaltacağından yeterli yapışma sağlanamamaktadır (Frihart ve Hunt, 2011). Pizzi ve Mittal (2003) 6,9-10,3 bar basınç uygulamayı yeterli görmektedir. Bu nedenle tutkallar sürüldükten hemen sonra, iki tabakalı test örneği laboratuvar tipi (Carver, 3969 Bench Top) pres kullanılarak 5 barlık basınç altında 10 dakika süreyle sıcaklık uygulanmadan

preslenmiştir. İşlem sonunda örnekler iki ay boyunca 20 °C'de %65 bağıl nemde klimatize edilmiştir. Örneklerde çekme mukavemeti değerleri 3 mm/dak çekme hızında universal test makinesinde (Shimadzu AG-IC) belirlenmiştir. Her örnek için 10 adet testin ortalama değerleri verilmiştir.

2.2.4. ATR-FTIR Analizi

Tutkal örnekleri 50 °C'deki etüvde 12 saat boyunca kurutulmuştur. Ardından öğütülerek toz haline getirilen örneklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar incelemek için FTIR spektrumları Bruker Tensor 37 cihazı ATR modülü kullanılarak alınmıştır. 4000-400 cm⁻¹ dalga boyu aralığında, 4 cm⁻¹ çözünürlükte, 32 ölçüm şeklinde yapılmıştır. Spektrumların değerlendirilmesi Bruker OPUS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.5. Işık mikroskobu (LM)

Işık mikroskobu çalışması için lap shear yapışma testi örnekleri yapışma hattından kesilerek 1 cm³ büyüklüğünde örnekler hazırlanmıştır. Bu örnekler laktofenol mavisi boya ile boyanmış ve ardından Irmeco IM SZ550-T-ST5-H Stereo Zoom mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Görüntüler Toupview 3.7 yazılımı kullanılarak çekilmiş ve işlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Yaylar, hammadde ve yapım yöntemlerine göre sadece ahşaptan yapılan basit yay, sinir takviyeli yay, kompozit yay ve lamine yay olarak ayrılmaktadır (Knecht, 1997). Kompozit yaylar diğerlerine göre daha fazla enerji depolar ve oka çok daha iyi transfer eder (Latham ve Paterson, 1970; Kooi, 1994; Grayson vd., 2007). Çünkü boynuz ve sinir birim kütlede ahşaptan daha fazla enerji depolamasını sağlar. Döşenen sinir daha fazla esneklik sağlayarak yayın gücünü artırırken boynuz sıkıştırma kuvveti sağlar ve kırılmaya karşı direnci artırır (Charles vd., 2007; Karpowicz, 2008). Türk yaylarında biçim mükemmelliği, malzeme kalitesi ve yapım üstünlüğü bir arada görülmektedir. Bu mükemmelliğe ulaşabilmek için yüzyıllar süren yorucu bir deneme ve araştırma çabası harcanmış, maliyetli ve temini güç olsa da daima en uygun ve kaliteli malzeme kullanılmıştır. Türk yaylarının diğer kompozit yaylardan form farklarının yanında malzeme ve yapım teknikleri bakımından da farklar bulunmaktadır (Yücel, 1999).

3.1. Tutkallar ve çekme dayanımı değerleri

Deri tutkallarının gerilme mukavemeti yaklaşık 39 MPa'dır (Schellmann, 2007). Allely vd. (1992) deri tutkalının 4,5 N/mm²'den fazla gerilme mukavemetine sahip olduğunu bildirmektedir. Çekme testleri uygulanan altı hayvansal, bir bitkisel ve üç modern tutkalın maksimum çekme kuvveti ortalaması Şekil 2'de görülmektedir. En yüksek çekme değerini ortalama 6,03 N/mm² ile deri tutkalı vermiştir. Değişen çevresel koşullarında deri tutkalı kemik tutkalına göre daha stabil davranmaktadır. Deri tutkalı mekanik yapışma bakımından balık tutkalı ile aynı, kemik tutkalından daha iyi yapışma sağlamaktadır. Esneklik bakımından ise hava kesesinden elde edilen (ısmglass) tutkalların deri tutkalına göre daha esnek özelliğe sahip olduğu, kemik tutkalının deri tutkalından esnek olmasına rağmen daha kırılabilir bir özellik gösterdiği bilinmektedir

(Schellmann, 2007). Hayvansal tutkalların yapışma kuvvetleri kıyaslandığında balık tutkalı 15 kg, sinir tutkalı 16 kg, kemik tutkalı 16 kg, deri tutkalı 17 kg, balık hava kesesi tutkalı 18 kg'lık yapışma kuvveti gösterdiği bilinmektedir (Allely vd., 1992).

Yapılan tek yönlü varyans analizinde tutkalların çekme mukavemetleri arasında istatistiksel fark bulunmuştur (Çizelge 2). Çalışmada, deri tutkalından (T3) alınan 6,03 N/mm² çekme dayanımının ardından en yüksek değer 5,60 N/mm² ile kemik ve analitik kalite jelatin tutkalından (T8) elde edilmiştir. Memeli hayvan jelatini, deniz türlerinden daha yüksek jel kuvvetleri üretmektedir. Yapılan testlerde, deri tutkalında (T3), balık tutkalına göre (T5), %30 daha fazla çekme dayanımı elde edilmiştir. Türk yaylarında boynuz yapılandırılmasında hem ahşaba hem de boynuz %10 gibi düşük yoğunluklu tutkal 8-10 kat sürülmektedir. Bunun amacı inceltirilmiş tutkalın küçük boşlukları doldurması ve ağacın gözeneklerine penetre olmasını sağlamasıdır. İlginç bir sonuç olarak bu uygulamada, tek seferde uygulanan deri tutkalından %25 daha düşük mukavemet değeri elde edilmiştir. Bunun nedeni ince sürülen film katmanlarının sertleşmesi sonucu son kat sürülen kıvamlı tutkal ile yeterince kaynaşmaması olabilir. Diğer tutkalların çekme mukavemetleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Deri tutkalı daha yüksek yapışma mukavemeti değerlerine sahip iken, kemik tutkalı düşük gerilme mukavemetine ve daha kırılabilir özelliklere sahiptir (Schellmann, 2007, 2009). Melià-Angulo vd., (2016)'de Kramer (63020 -BS: 230-280) deri tutkalının, Kramer 63010 (BS:240 ±20) balık tutkalından iki kat daha güçlü ve yaklaşık iki kat daha fazla uzama özelliğine sahip olduğunu bildirmektedir. Deri ve kemik tutkallarından sonra jelatin (Merk) tutkalından (T7) ortalama 5,33 N/mm² çekme dayanımı elde edilmiştir (Şekil 2).

Çizelge 2. Çekme mukavemet değerleri tek yönlü varyans analizi sonuçları

	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması	F	Sig.
Gruplar arası	94798413,599	11	8618037,600	137,868	0,000
Gruplar içi	6688478,354	107	62509,143		
Toplam	101486891,953	118			

Çizelge 3. Duncan testine göre tutkalların çekme mukavemetleri grupları

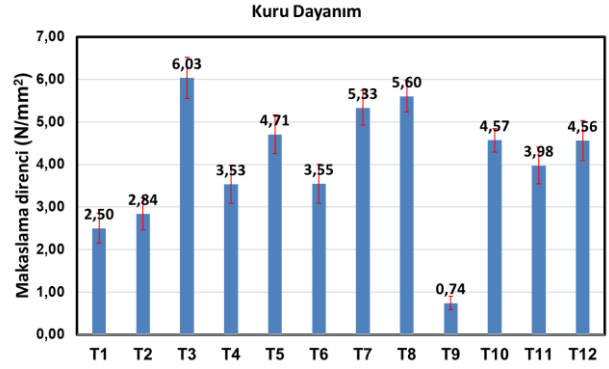
Tutkal cinsi	Örnek sayısı	Çekme mukavemeti (Newton)
Deri protein tutkalı	10	3771,5550 ^a
Kemik protein tutkalı	10	3501,4210 ^b
Analitik kalite jelatin	10	3331,2200 ^b
PVA tutkalı	10	2857,4000 ^c
Deri protein tutkalı-iki aşamalı uygulama*	10	2851,2322 ^c
Jelatin balık protein tutkalı	10	2942,2360 ^c
Sinir protein tutkalı	9	2447,7122 ^d
Balık protein tutkalı	10	2216,6040 ^e
İki bileşenli epoksi tutkalı	10	2209,2450 ^e
Smooth-On Epoxy- EA 40 (Karışım oranı: 1/1)	10	1774,1621 ^f
Smooth-On Epoxy- EA 40 (Karışım oranı: 1/2.44)	10	1562,2026 ^f
Tanen tutkalı	10	463,0158 ^g

*Ardışık 10 kat %10'luk ve 1 kat %30'luk son tutkallama

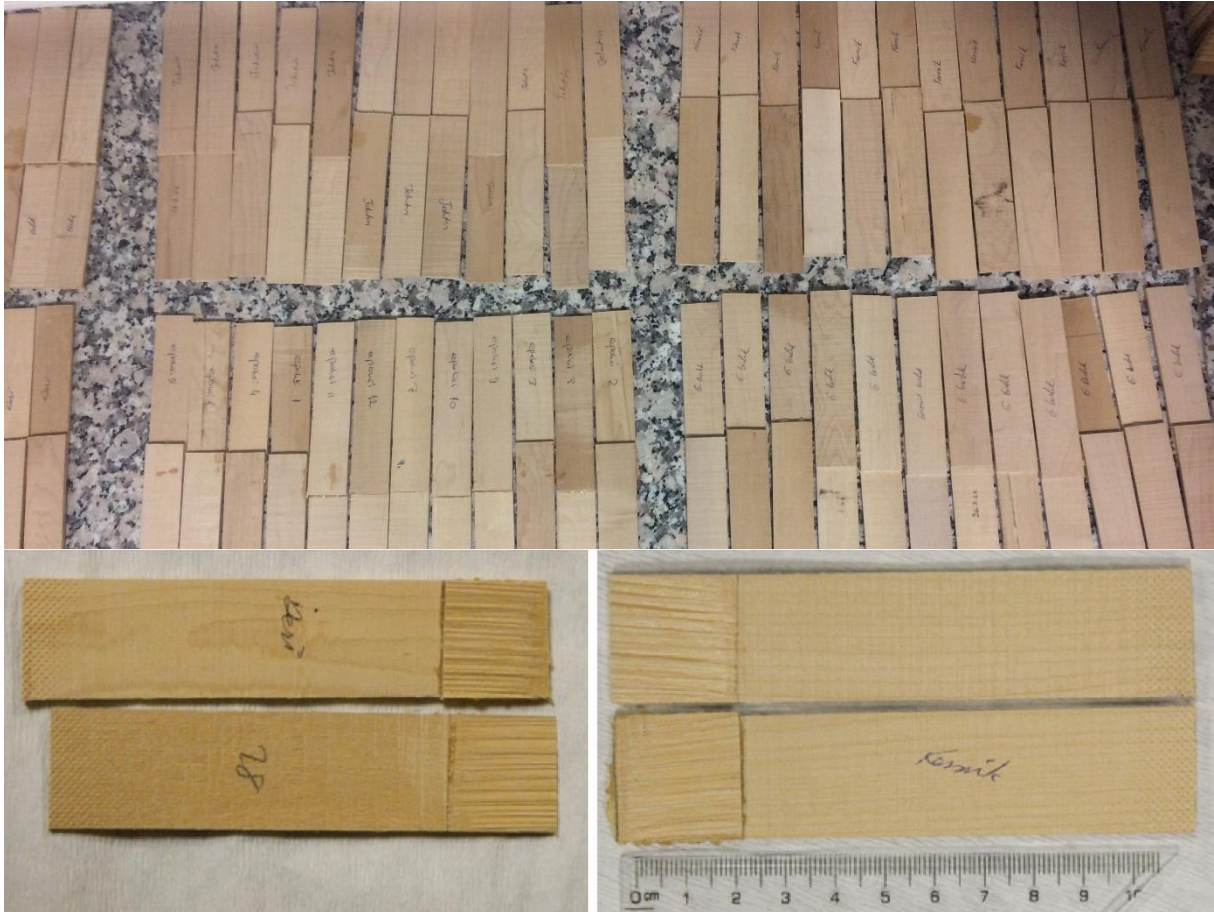
Balık tutkallarında ise deri ve kemik tutkallarından daha düşük çekme dayanımı elde edilmiştir. Jelatin balık tutkalı (T5) (Kremer Fish Glue blend (63080) ve balık protein tutkalı (T6) sırasıyla ortalama 4,71 ve 3,55 N/mm² çekme dayanımı elde edilmiştir. Yay yapımında balık tutkalları jelleşmenin geciktirilmesi ve çalışma süresinin uzatılması için deri veya sinir tutkalına %10 oranında ilave edilmektedir. Fakat balık jelatinleri diğer hayvansal tutkallarla kıyaslandığında genellikle daha zayıf ve daha kırılğan (Allely vd., 1992; Alfaro vd., 2014) olduğundan ilavesi uygun değildir. Çekme testlerinde memeli hayvan tutkallarının balık tutkallarından (Fish 080'in, Sturgeon ve Fish 550) daha yüksek bir gerilime ve kopma mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir. Balığın hava kesesinden elde edilen tutkal ise güçlü ve esnek. Sinir ve deri tutkalları kemik tutkalından daha güçlü yapıya sağlamaktadır (Allely vd., 1992). Kemiklerden elde edilen tutkallar, yüksek inorganik maddeler ve yağ içerdiğinden deri tutkallarına göre daha kalitesizdir (Pizzi, 1994).

Epoksi (Smooth-On, EA-40) tutkalında bileşenlerin hacmen 1/1 karışımı önerilmektedir. Bu karışım dışında yay yapıcılarının kullandığı hacmen 1/ 2,44 karışım oranı da çalışma kapsamında test edilmiştir. EA-40 epoksi tutkalının 1/1 ve 1/ 2,44 karışım oranlarından sırasıyla 2,84 ve 2,50 N/mm² çekme dayanımı elde edilmiştir. EA-40 epoksi

tutkalları deri tutkalının yarısından daha düşük bir çekme dayanımı vermiştir. İki bileşenli tutkal (T4) (Pattex) ise EA-40 tutkalından daha iyi çekme dayanımı göstermiştir. En düşük çekme dayanımını ise tanen tutkalı (T9) vermiştir. Sinir tutkalından (T11) 3,98 N/mm² çekme dayanımı, ön tutkallama yapılan deri tutkalından (T12) ise 4,56 N/mm² çekme dayanımı elde edilmiştir (Şekil 2). Kuvvetli çekme mukavemetine sahip tutkalların çekme testlerinde kopmaların bir kısmı ahşaptan meydana gelmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Lap shear yapışma testi sonuçları



Şekil 3. Çekme testinden önce ve testten sonra örneklerin görünümü

3.2. Tutkal hattı kalınlığı ve yapışma

Çekme testlerinde en iyi dayanım değeri deriden elde edilen protein tutkalı (T3) vermiştir. Deri tutkalının hemen ardından kemik tutkalı gelmektedir. Jelatin (Merck) (T7) ve jelatin balık (T5) sırasıyla en kuvvetli yapışma özelliği gösteren tutkallar olmuştur. Sinir tutkalının çekme mukavemeti balık tutkalından daha yüksek, deri ve kemik tutkalından daha düşük bulunmuştur. Kullanılan tutkalların yapışma hattı resimleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Çekme dayanımı ilk sıralarda yer alan tutkalların yapışma hattının çok ince olduğu görülmektedir. EA40 epoksi tutkalı en kalın yapışma hattına sahiptir. Deri tutkalının kesitinde yapışma hattının alt ve üst kısımlarında minik tutkal damlacıkları olduğu ve uygulanan basınç ile ahşabın gözeneklerine girerek mekanik olarak da yapışma sağladığı gözlenmiştir (Şekil 4-b).

Gözenekli malzemelerin yapıştırılmasında yüksek viskoziteye sahip tutkal yeterli penetrasyonu sağlayamayıp yapışan ve yapışmayan yüzeyler arasındaki stres gelişmesine neden olabilmektedir (Schellmann, 2007). Eski yay ustalarının uyguladığı usulde, %10'luk deri tutkalı ile 10 kat ön tutkalamadan sonra %30'luk tutkalla (T12) yapıştırma yapılmıştır. Bu yönde amaç tutkalın daha akıcı olduğunda odundaki gözeneklere daha kolay penetre olabilmesi ve bu sayede daha iyi yapışma özelliği gösterip göstermediğinin test edilmesidir. Fakat çekme testlerinde sadece bir kat %30 tutkal (T3) uygulanan örneklerin çekme dayanımı daha yüksek bulunmuştur.

EA-40 epoksi tutkallarında yapışma hattının daha kalın olduğu görülmektedir. Bu tutkalın orta derecede çekme mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir. Hayvansal tutkalların tamamı diğer tutkallardan daha güçlü çekme dayanımı göstermiştir. Polivinil asetat (PVA) tutkalı (T10) ise jelatin balık tutkalına yakın bir çekme mukavemeti göstermiştir.

Yapıştırılan yüzeylerdeki tutkal kalınlığı yüksek mukavemet gerektiğinde önemli bir parametre olabilmekte ve en yüksek çekme ve makaslama mukavemeti değerinin tutkal film kalınlığı minimum olduğu durumlarda elde edildiği bildirilmektedir. Tutkal film kalınlığının fazla olması ısıtma özelliklerini azaltmakta ve bağ oluşumunu zayıflatmaktadır (Allely vd., 1992). Optimum kalınlık kullanılan tutkal tipine bağlıdır. Optimum yapışma mukavemeti genellikle tutkal kalınlığı 0,05 mm ile 0,15 mm olduğunda elde edilir. 0,15 mm'nin üzerindeki tutkal kalınlıklarında, gerilim dağılımı eşit olmayacağından ayrılmalar olabilecektir. 0,025 mm'nin altındaki tutkal kalınlığında, alt tabakaların düzgünlüğüne ve boşluk toleransına bağlı olarak yapışma mukavemeti genellikle azalmaktadır (Petrie, 2007; Dillard, 2010; Frihart ve Hunt, 2011). Klopsteg (1987) yetersiz tutkal yapışma hattı kalınlığının buna bağlı olarak da zayıf yapışmaya neden olduğu ifade etmektedir. Yapışma hattının ince olması özellikle nem kaybindan dolayı meydana gelen boyutsal değişikliklere karşı stresleri yeterince transfer edemez. Maksimum soyulma ve yarıma mukavemeti için elastik tutkallar seçilmelidir. Bunun nedeni, daha büyük bir yapışma alanı üzerinde oluşan stresin elastik dağılımıdır (Petrie, 2007; Frihart ve Hunt, 2011).

Aynı mukavemet ve uzama oranına sahip iki tutkaldan, yüksek yoğunluklu olan daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir (Petrie, 2007). Viskozite çok düşükse, tutkal alt tabakaya daha fazla nüfuz edebilir. Tutkalın fazla

sulandırılması yeterli bağ oluşturmadığından zayıf bir yapışma gerçekleşir. Ayrıca aşırı seyreltilmiş tutkal, suya duyarlı malzemede alt tabakanın şişmesine ve akmasına neden olabilir. Bu gibi durumlarda, daha düşük jel kuvvetine sahip bir tutkal tercih edilmelidir (Schellmann, 2007). Yüksek viskoziteli tutkallar akararak boşluk oluşmasına, tutkal açılına ve temas yüzeyinin azalmasına ve sonuçta zayıf yapışmaya neden olur (Petrie, 2007). Çok kalın tutkaldaki iç gerilimler, tutkalın kuruma ve sertleşme özelliklerini değiştirebilir, böylece kısa ve uzun vadede yapışma performansını azaltır (Dillard, 2010). Tutkalın koyu veya kuru olması kalın bir yapışma hattı oluşturur ve yapışma zayıf gerçekleşir, tutkal esnekliğini kaybeder ve daha kırılğan hale gelir (Frihart ve Hunt, 2011).

Tutkalın makaslama ve çekme özelliklerini, sıcaklık ve nem, termal genişleme katsayısı, zaman, yükün sürekliliğine bağlı olarak sürüklenme, kimyasallara karşı direnç ve bağlı nem gibi faktörler etkilemektedir (Mittal ve Panigrahi, 2020). Bir tutkalın yüzeylere yapışması fiziko-kimyasal etkileşimlere ve mekanik yapışmaya bağlıdır. Gözenekli yüzeylerde daha büyük bir yapışma yüzeyi oluşur ve boşluklar, tutkalın yüzeyden alt katmanlara nüfuz etmesini sağlar (Mikhail, 2009). Mekanik yapışma, tutkalın yüzeyde bulunan mikro yapılara (gözenekler, çatlaklar, boşluklar, vb.) dolmasıyla meydana gelir. Ahşap yüzey aslında düz değildir ve mikro ölçekte küçük girinti ve çıkıntılardan oluşur. Bu yapı, tutkal ile yapıştırılan maddenin yapışma yüzeyini genişletir. Tutkal bu boşluk kısımlara girerek, mekanik yapışmayı sağlayan efektif yüzey alanı genişlemiş olur (Kumar ve Pizzi, 2019). Ahşabın yapışma performansını etkileyen en önemli özellikleri, gözenekli yapısı, yüzeyinin pürüzlülüğü, kimyasal bileşimi ve hidroskopik yapısıdır. Ayrıca tutkalın nüfuz etme modeli, ahşaptaki bağların performansını doğrudan etkiler (Wilkinson ve Ordonez, 2011). Mekanik yapışma ahşap gibi pürüzlü ve/veya gözenekli yüzeylerde meydana gelir (Habenicht, 2009). Tutkal ağaçta bu mikro boşlukları doldurup daha esnek olduğu için kırılmayı engeller (Karpowicz, 2008; Mittal ve Panigrahi 2020). Ahşap elemanların gözenekli yapısı nedeniyle tutkallar hem mekanik hem de kimyasal olarak yapıştırma özelliği gösterir. Odun dokusunun gözenekli yapısı, tutkalın bu kısımlara girerek mekanik olarak da yapışmayı sağlar. Tutkal yaklaşık 6-10 hücre çapı (yaklaşık 100 mikron) kadar odun dokusuna penetre olur ve bu sayede çok daha sağlam bir mekanik yapışma elde edilir (Frihart ve Hunt, 2011; Kumar ve Pizzi, 2019) (Şekil 4).

Yay imali bakımından değerlendirildiğinde tutkalın ince ve esnek olması ve çok kuvvetli yapışma sağlaması beklenir. Karpowicz (2008)'e göre boynuz ve ahşabın yapıştırılmasında tutkal hattı kalınlığı 0.05 mm'den daha fazla olmamalıdır. Kullanılan tutkalın esnek ve yapışma hattının ince olması gerilmelerde boynuz gibi davranmasını sağlar. Allely vd. (1992)'de genel olarak kuruyarak sertleşen tutkallarda daha ince tutkal hattı olması gerektiğini vurgulamakta ve nihai yapıştırmadan önce boynuz ve ahşaba ince tutkal uygulanmasını tavsiye etmektedir. Soyulma veya yarıma gibi dış yüklemeler, termal genişleme farklılıkları veya büzülme gibi iç stres nedeniyle yüksek gerilimli düzensiz yük dağılımlarında sert fakat esnek yapıştırıcılar genellikle daha kırılğan olanlardan daha iyi performans gösterir. Ayrıca esnek tutkallar daha düzgün stres dağılımı sağlar. Yüksek elastikiyetli tutkalların yorulma ömrü, kırılğan olanlardan çok daha yüksektir. Bunun nedeni hem

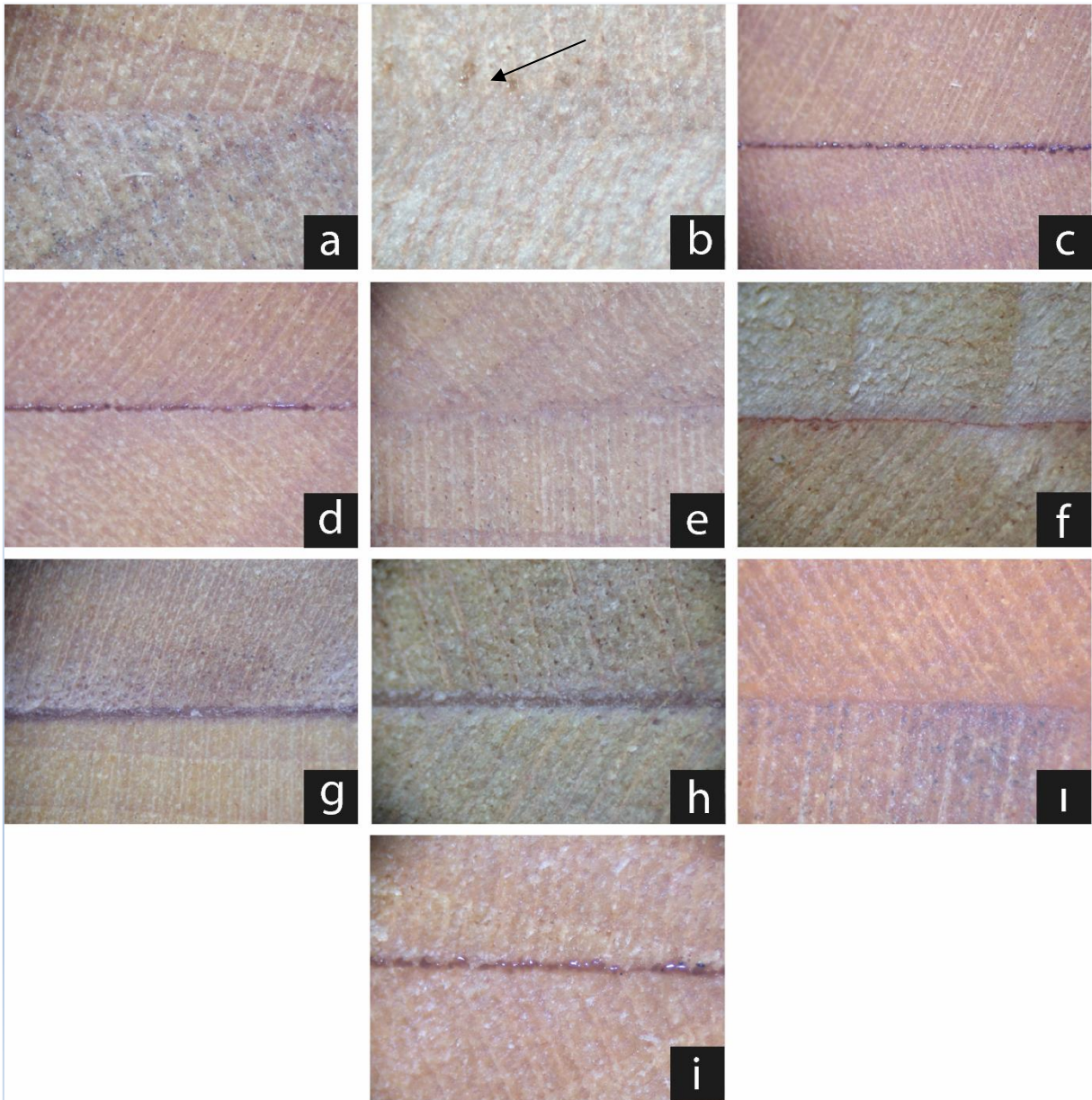
düzgün stres dağılımı hem de daha esnek tutkallarda yüksek dahili enerji sönümlemesidir (Petrie, 2007).

Yay yapılan ahşabın esnek olması yanında, kullanılan tutkal yüksek yapışma mukavemetine sahip olmalıdır (Allely vd., 1992). Modern tutkalların hiçbiri yeterince esnek olmadığından sinir vurmak için tatmin edici değildir (Klopstek, 1987). Islak sinir kurudukça yaklaşık %4 küçülür ve bir yayı refleks haline getirir (Allely vd., 1992). Kompozit yayların üstün taraflarından biri, sinir vurulduktan sonra tutkal ve sinirin kuruma esnasında büzülmesi ve bu suretle yayda ön gerilim ile daha refleks bir yapı oluşmasıdır. Epoksi tutkallarda %4-5 oranındaki büzülme (Petrie, 2006) ve kısa kürlenme süreleri bu refleks yapının oluşmasında yeterli olmayacaktır.

Kompozit yaylarda hem imalat hem de tımarlama esnasında sıcaklık uygulanmaktadır. Hayvansal tutkalın en değerli özelliklerinden biri istenildiği zaman sıvı hale

getirilebilmesidir. Bu nedenle kullanılan tutkalın sıcaklıkla bozulmaması ve özelliklerinin değişmemesi gerekir. Fakat birçok kez kürlenmiş ve modifiye edilmiş epoksi bileşimleri kırılğan bir özellik gösterdiğinden (Dillard, 2010) kompozit yayların yapım aşamalarında ve kullanımında uygun nitelikte olmayacaktır.

Kompozit yaylarda enerjinin çok büyük bir kısmı boynuzun sıkıştırılması ve sinirin esnemesi sayesinde elde edilmektedir. Yay yapımına kullanılan tutkalların yayın çekilmesi ve bırakılması esnasında oluşan gerilme ve esnemelere dayanıklı ve uyumlu olması gerekir. Sinir ahşaptan yaklaşık 10 daha esnektir (Allely vd., 1992) ve birim kütle başına daha fazla enerji depolayabilir. Hayvansal tutkalların film halindeyken çok iyi esneme özelliği göstermesi kompozit yayların yapımında diğer tutkallara göre üstün özelliklerinden biri olarak görülmektedir.



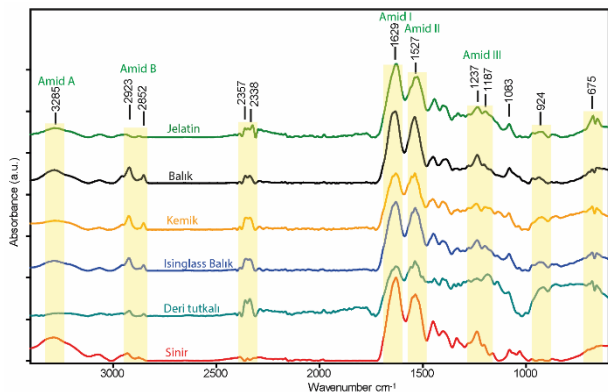
Şekil 4. Yapışma hattı ışık mikroskobu görüntüleri (a: balık; b: deri; c:g balık; d;jelatin; e:kemik; f:PVA; g: EA40 1/1; h:EA40 1/2.44; i:epoksi; i: sinir)

3.3. Tutkalların FTIR testleri

Farklı çalışmalardan elde edilen protein örnekleri için karakteristik FTIR spektrumları incelendiğinde; 3 283–3 357 cm^{-1} bölgesi amid-A ve serbest su, 2 850–2 980 cm^{-1} bölgesi amid-B, 1 633–1 651 cm^{-1} bölgesi amid-I, 1 522–1 548 cm^{-1} bölgesi amid-II ve 1 228–1 259 cm^{-1} bölgesi de amid-III bölgeleri olarak tanımlanmaktadır (Kaewprachu vd., 2016; Baty vd., 1996; Fant vd., 2010; Farhat vd., 1998; Saraswathy vd., 2001). Bu bölgelerin tamamı bu çalışma örneklerinde belirlenmiştir. Bu bölgeler incelendiğinde amid-A, hidrojen bağı ile birleştirilmiş $-\text{NH}$ gerilmesini temsil eder. Amid-B, C-H esnemesine ve NH_3 gruplarını ifade eder. Amide-I, $-\text{COO}$ ile birleştirilmiş $\text{C}=\text{O}$ esneme gerilimi ve hidrojen bağı temsil eder. Amid-II, N–H gruplarının eğilme titreşimlerinden ve C–N gruplarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanır. Amid-III, bağıl amidin C–N ve N–H gruplarının düzlemindeki titreşimlerle veya glisinin CH_2 gruplarının titreşimleriyle ilgilidir (Kaewprachu vd., 2016). Çalışma kapsamında incelenen farklı protein örnekleri benzer FTIR spektrumlarına sahiptir. Protein örneklerdeki farklılıklar genellikle amid piklerinin büyüklüğü ve dalga boyu farklılıkları şeklinde gerçekleşmiştir. Bu farklılıkların sebeplerinin ekstraksiyon aşamasında kullanılan organik asidin etkisi ve kolajendeki bozunma olduğu bildirilmektedir (Khiari vd., 2011).

2930 cm^{-1} belirlenen pik CH_2 gerilim piki olarak bilinmektedir. Khiari vd. (2011) tarafından bu pikin daha küçük bir pik halinde düzleşerek amid A piki ile birleşmesinin protein bileşimlerinin stabilitesinin daha iyi olduğunu gösterdiği bildirilmektedir. Bu pik incelendiğinde deri tutkalı ve jelatin örneklerinde oldukça küçük olarak neredeyse amid A piki ile birleşik olarak belirlenmiştir. Bu durum lap shear yapışma testi sonuçları ile örtüşmektedir.

Amid I band pikinin daha düşük dalga boyunda doğru kayması ve söz konusu pikin daha dar bir pik halinde belirlenmiştir. Bu daralma, protein zincirlerinin esnekliğinin azaldığını ve dolayısıyla düzenli yapılarının arttığını gösterdiği Clausen vd. (2013) tarafından bildirilmektedir. Çalışma kapsamında en iyi yapışma dayanımı gösteren örnekler olan jelatin ve deri tutkalı örneklerinde en düşük amid I band piki değerleri jelatin örneğinde 1 629 cm^{-1} ve deri protein tutkalı örneğinde 1 630 cm^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Tutkal örnekleri FTIR spektrumu

4. Sonuçlar

Yay yapımında kullanılan altı hayvansal, bir bitkisel ve üç modern tutkalın yapışma özellikleri çekme testleri yardımıyla incelenmiştir. Çekme dayanımı testine göre en yüksek yapışma dayanımı değeri deri tutkalında 6,03 N/mm² olarak bulunmuştur. Bu örneği kemik tutkalı ve analitik kalite jelatin örneğinden hazırlanan tutkal formülasyonları takip etmiştir. Organik bileşikler olması nedeniyle nem ve suya dayanıksız olma gibi bazı zayıf yönleri bulunmasına rağmen hem yapışma performansı hem de yay yapım ve kullanımında istenilen özellikler nedeniyle geleneksel kompozit yayların yapımında hayvansal tutkalların hatırı sayılır düzeyde üstünlükleri bulunmaktadır. Yapışma dayanımı değerleri ile bu durum net bir şekilde ortaya konulmuştur. FTIR analizinden elde edilen spektrumlar incelendiğinde protein örnekleri için karakteristik amid pikleri belirlenmiştir. Ancak protein tutkalının hazırlanmasında kullanılan proteinin eldesinde kullanılan organik asit farklılığı ve kolajendeki farklı bozunma özelliklerinden kaynaklı pik şiddetleri ve dalga boylarında kaymalar görülmüştür. Spektrumlar detaylı incelendiğinde protein komplekslerinin stabilitesi ile ilişkilendirilen 2930 cm^{-1} pikinin lap shear yapışma testi sonuçları ile örtüşen pik değeri verdiği görülmüştür. Kompozit yaylar ahşap bir iskelet üzerine boynuz ve sinir gibi farklı malzemeleri bir araya getiren ve esneme ve sıkışma özellikleri ile enerji depolayan silahlardır. Bu bakımdan yayların kullanımını esasında bu malzemeleri bir arada tutan tutkalın maruz kaldığı kuvvetlere dayanıklı olması gerekir. Yay yapımında kullanılacak tutkalların kolay çalışmaya imkân vermesi, ahşap ile güçlü bağlar yapabilmesi için etkili bir penetrasyon özelliği göstermesi, ayrıca istenilen vizkositede hazırlanabilmesi kritik önemdedir. Modern tutkalların rutubet dayanım özellikleri gibi üstün yönleri olmasına rağmen performans özellikleri açısından hayvansal protein tutkallarının gerisinde oldukları ortaya konulmuştur.

Kaynaklar

- Adams, R.D., Wake, W.C., 1986. Structural Adhesive Joints in Engineering. Elsevier Applied Science Publishers London and New York.
- Alfaro, A.T., Balbinot, E., Weber, C.I., Tonial, I.B., Lunke, A.M., 2014. Fish Gelatin: Characteristics, Functional Properties, Applications and Future Potentials. Food Eng Rev DOI 10.1007/s12393-014-9096-5.
- Allely, S., Baker, T., Comstock, P., Hamm, J., Hardcastle, R., Massey J., Strunk, J., 1992. The Traditional Bowyer's Bible, Volume one. The Lyons Press Guilford, Connecticut Canada.
- Asbell, G.F., Baker, T., Comstock, P., Grayson, B., Hamm, J., Herrin, A., Massey, J., Parker, G., 1993. The Traditional Bowyer's Bible, Volume two. The Lyon S Pres S Guilford, Connecticut Canada.
- Balogh, C., 2016. Karpat Havzası'nda bir Avar yay ustasının mezar kalıntılarını Eski Türklerde bileşik (Kompozit) yay yapımına ilişkin arkeolojik bulgular. Art-Sanat 6: 109-120.
- Baty, A.M., Suci, P.A., Tyler, B.J., Geesey, G.G., 1996. Investigation of mussel adhesive protein adsorption on polystyrene and poly (octadecyl methacrylate) using angle dependent XPS, ATR-FTIR, and AFM. Journal of Colloid and Interface Science, 177(2), 307-315.
- Bergman, S., 2011. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. Forest Product Society. USA.
- Bir, A., Kaçar, M., Acar, Ş., 2006. Türk Menzil Okçuluğu, Yay ve Okları. Osmanlı Bilimi Araştırmaları VIII/1: 40-67.

- Bridarolli, A., Freeman, A.A., Fujisawa, N., Łukomski, M., 2022. Mechanical properties of mammalian and fish glues over range of temperature and humidity, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 53, Pages 226-235, ISSN 1296-2074, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.12.005>.
- BS 1204:1993. Specification for type MR phenolic and aminoplastic synthetic resin adhesives for wood.
- Claussen, K.U., Lintz, E.S., Giesa, R., Schmidt, H. W., Scheibel, T., 2013. Protein gradient films of fibroin and gelatine. *Macromolecular Bioscience*, 13(10), 1396-1403.
- Çetin, A., 2011. Memlûk Devletinde Okçuluk. *Gazi Türkiyat*, 1 (9), 67-86 <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gaziturkiyat/issue/6722/90347>.
- Dillard, D.A., 2010. Advances in Structural Adhesive Bonding. Woodhead Publishing Limited CRC Press, Washington p 643.
- Doğan, A., 2017. Osmanlıda Kemankeşlik (Okçuluk) ve Ahilik Ritüelleri. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Samsun.
- Eralp, T.N., 1993. Tarih Boyunca Türk Toplumunda Silâh Kavramı ve Osmanlı İmparatorluğunda Kullanılan Silâhlar. Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Atatürk Kültür Merkezi Yayını-Sayı: 68. Türk Tarih Kurumu Basımevi-Ankara.
- Fant, C., Hedlund, J., Höök, F., Berglin, M., Fridell, E., Elwing, H., 2010. Investigation of adsorption and cross-linking of a mussel adhesive protein using attenuated total internal reflection Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR). *The Journal of Adhesion*, 86(1), 25-38.
- Farhat, I.A., Orset, S., Moreau, P., Blanshard, J.M., 1998. FTIR study of hydration phenomena in protein-sugar systems. *Journal of Colloid and Interface Science*, 207(2), 200-208.
- Frihart, C.R., Hunt, C.G., 2011. Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance Chapter 10- (10-24) (Bergman, S., 2011. *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*. Forest Product Society. USA).
- Gerhard, G., Karmann, W., 2001. Adhesives and Adhesive Tapes. WILEY-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim, Federal Republic of Germany.
- Göksu, E., 2013. Okla Yükselen Millet (Türklerde ok ve okçuluk). Okçular Vakfı yayınları. Alioğlu Matbaacılık Basım Yay. ve Kağ. San. Tic. Ltd. Şti. İstanbul
- Grayson, C.E., French, M., O'Brien, M.J., 2007. *Traditional Archery From Six Continents*. University of Missouri Press, Columbia, Missouri.
- Gündüz, G., Yaman, B., Özden, S., Dönmez, S.C., 2013. Anatomy of wooden core of Ottoman composite archery bows. *Sains Malaysiana* 42(5)(2013): 547-552.
- Habenicht, G., 2009. *Applied Adhesive Bonding a Practical Guide for Flawless Results*. Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-32014-1.
- Harrison, S.M., Kaml, I., Prokhorova, V., Mazanek, M., Kenndler, E., 2005. Animal glues in mixtures of natural binding media used in artistic and historic objects: identification by capillary zone electrophoresis. *Anal Bioanal Chem* 382: 1520-1526 DOI 10.1007/s00216-005-3319-9.
- Haupt, M., Dyer, D., Hanlan, J., 1990. An investigation into three animal glues, *The Conservator*, 14:1, 10-16, DOI: 10.1080/01410096.1990.9995051.
- İrtem, S.K., 1939. Sultan II. Mahmud Devri Türk Kemankeşleri. (Hazırlayan: Kocahanoğlu, O.S., 2005. Bayrak Matbaacılık Ltd. İstanbul.
- Kaewprachu, P., Osako, K., Benjakul, S., Tongdeesontorn, W., Rawdkuen, S., 2016. Biodegradable protein-based films and their properties: a comparative study. *Packaging Technology and Science*, 29(2), 77-90.
- Kani, M., 1847. *Telhis-i Resailü'r-Rumat*, s. 159-160, İstanbul (Matbaa-i Amire) 1263 (Çeviren, Yavuz, K., Canatar, M., 2010. *Okçuluk Kitabı Telhis-İ Resailat-İ Rumat*). İstanbul Fetih Cemiyeti İstanbul.
- Karpowicz, A., 2008. *Ottoman Turkish Bows: Manufacture and Design*. Ottawa: Canada Cataloguing.
- Khiari, Z., Rico, D., Martin-Diana, A.B., Barry-Ryan, C., 2011. The extraction of gelatine from mackerel (*Scomber scombrus*) heads with the use of different organic acids. *Journal of Fisheries Sciences*. com, 5(1), 52.
- Klopsteg, P., 1987. *Turkish Archery and the Composite Bow*. Manchester: Simon Archery Foundation, The Manchester Museum.
- Klopsteg, P.E., 1934. *Turkish Archery and the Composite Bow*. Printed and bound in Great Britain by Butler & Tanner Ltd, Frome and London.
- Knecht, H., 1997. *Projectile Technology*. Chapter 6 Sinew-Reinforced and Composite Bows Technology, Function, and Social Implications Christopher A. Bergman And Edward Mcewen 143-160. Springer Science+Business Media, LLC.
- Kooi, B.W., 1994. *Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 97(3): 1-27.
- Kumar, R.N., Pizzi, A., 2019. *Adhesives for Wood and Lignocellulosic Materials*. John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA Scrivener Publishing LLC.
- Küçük, M.A., 2018. İslâm Öncesinden Sonrasına Türk Geleneğinde Bir Yaşam Stili: "Okçuluk. *International Journal of Cultural and Social Studies (IntJCSS)* June 2018: Volume 4 (Issue 1) e-ISSN : 2458-9381.
- Latham, J.D., Paterson, W.F. 1970. *Saracen Archery*. Latham Publisher: The Holland Press, London, ISBN: 0900470046.
- Loades, M., 2016. *The Composite Bow*. Osprey Publishing Ltd. USA.
- Lucas, F.M. da Silva, Dillard D.A., Blackman, B., Adams, R.D., 2012. *Testing Adhesive Joints Best Practices*. Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany.
- Melià-Angulo, L., Fuster-López and A. Vicente- Escuder., 2016. Study of the mechanical properties of selected animal glues and their implication when designing conservation strategies. Education and Research in Conservation-Restoration European Network for Conservation-Restoration Education - Symposium 15-16 April 2016. <https://doi.org/10.4000/ceroart.5152>.
- Metin, T., 2014. Selçuklularda okçuluğa genel bir bakış. *Tarih Okulu Dergisi (TOD) Journal of History School (JOHS) Yıl 7, Sayı XVII*, ss. 131-153. Year 7, Issue XVII, pp. 131-153. DOI No: <http://dx.doi.org/10.14225/Joh457>.
- Mikhail, B., 2009. *Adhesive Bonding Materials, Applications and Technology* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Mittal, K.L., Panigrahi, S.K., 2020. *Structural Adhesive Joints Design, Analysis and Testing*. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Oliver, J.F., 1981. *Adhesion in Cellulosic and Wood-Based Composites*. Published in cooperation with NATO Scientific Affairs Division Plenum Press· New York And London, 1981. Plenum Press, New York.
- Parlak, S., 2020. Türk yaylarında kullanılan ağaç türleri ve özellikleri. *Ağaç ve Orman*, 1(2) 25-34.
- Petrie, E.M., 2006. *Epoxy Adhesive Formulations*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Petrie, E.M., 2007. *Handbook of Adhesives and Sealants*. The McGraw-Hill Companies.
- Pizzi, A., 1994. *Advanced Wood Adhesives Technology*. CRC Press.
- Pizzi, A., Mittal, K.L., 2003. Chap. 28. In: Pizzi, A., Ed., *Handbook of Adhesive Technology*, 2nd Edition, Marcel Dekker, New York.
- Randall, K.C., 2016. *Origins and Comparative Performance of the Composite Bow*. Phd. Thesis, University of South Africa pp 289.
- Saraswathy, G., Pal, S., Rose, C., Sastry, T.P., 2001. A novel bio-inorganic bone implant containing deglued bone, chitosan and gelatin. *Bulletin of Materials Science*, 24, 415-420.
- Schellmann, N., 2009. Animal Glues – Their adhesive properties, longevity and suggested use for repairing taxidermy specimens *NatSCA News*, Issue 16, 36-40.
- Schellmann, N.C., 2007. Animal glues: A review of their key properties relevant to conservation. *Studies in Conservation*, 8, 55-66.
- Tousi, E.T., Hashim, R.,Bauk, S.,Jaafar, M.S.,Al-Jarrah, A.M.,Kardani, H.,Abu Arra, A.M.H.,and Aldroob, K.S.A., 2014. A Study of the properties of animal based wood glue. *Advanced Materials Research* Vol. 935 pp 133-137 (2014) *Trans Tech Publications*, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.935.133.
- Wilkinson, K.A., Ordonez, D.A., 2011. *Adhesive Properties in Nanomaterials, Composites and Films*. Nova Science Publishers, Inc.
- Yücel, Ü., 1999. *Türk Okçuluğu*, Atatürk Kültür Merkezi Başkanlığı Yayınları, Ankara.