

# Türk Yaylarının Yapımı ve Kullanılan Hayvansal Tutkalların Fonksiyonları

Salih PARLAK



## Türk Yaylarının Yapımı ve Kullanılan Hayvansal Tutkalların Fonksiyonları

 <https://doi.org/>

10.55107/turksosbilder.1262380

**Salih PARLAK**

Bursa Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü

[salih.parlak@btu.edu.tr](mailto:salih.parlak@btu.edu.tr)

[0000-0003-3808-3297](https://doi.org/10.55107/turksosbilder.1262380)

### Özet

İnsanoğlu avlanmak ve savaşlarda galip gelmek için silah kullanmış ve sürekli geliştirme ihtiyacı duymuştur. Antik dönemlerden bu yana, ateşli silahların gelişimine kadar kullanılan en etkili silahlardan biri ok ve yay olmuştur. Türk tarihinde kazanılan zaferlerde ve yapılan fetihlerde ok ve yayın katkısı konusunda tarihçiler hemfikirdir. Özellikle yay yapımı ve kullanımındaki ustalık savaşlarda zafere götüren ana unsurlardan biri olmuştur. İslamiyeti kabulünden sonra okçuluk ve yay yapımı ibadet olarak telakki edilmiş, mükemmelleştirmek için adeta yarışılmıştır. Devlet tarafından da desteklenen bu çalışmalar sonucunda emsalleri arasında form ve yapı bakımından en üstün kabul edilen Türk yayları imal edilmiştir. Bu yayların yapımında kullanılan ahşap, boynuz ve sinirleri bir arada tutan hayvansal tutkallardır. Bu tutkalların özellikleri sayesinde kompozit yayların imali mümkün olabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Okçuluk, Türk Yayları, Hayvansal Tutkallar

## Making Turkish Bows And Functions Of Animal Adhesives Used

### Abstract

Mankind has used weapons to hunt and be victorious in wars and has always needed improvement. Since ancient times, until the development of firearms, one of the most effective weapons used has been the bow and arrow. Historians agree on the contribution of bows and arrows to the victories and conquests in Turkish history. Especially his mastery of bow making and use has been one of the main elements that lead to victory in wars. After the acceptance of Islam, archery and bow making were considered as worship and almost competed to perfect them. As a result of these studies supported by the state, Turkish bows, which are considered to be the most superior form and structure among their peers, were manufactured. The animal glues used in making these bows hold wood, horns and nerves together. Thanks to the properties of the glues used, it became possible to manufacture composite bows.

**Keywords:** Archery, Turkish Bows, Animal Glues,

### 1. Giriş

Ok ve yayın ilk defa ne zaman, nerede kullanıldığı belirli değildir. Tüm toplumlarda kullanılmasına rağmen, Türkler ok ve yayı savaşlarda her zaman en etkili kullanan millet olmuştur. Turan savaş taktığının başarı ile uygulanmasının arkasında ok ve yay yatmaktadır. Daha uzak mesafeye ok atabilmeleri sayesinde en az kayıpla, düşman orduları yıpratılmış, yayların uzun menzili ve usta okçular sayesinde birçok savaş zaferle sonuçlanmıştır. Türk'ün atla bütünlüğünü tamamlayan silah, ok ve yay olmuştur. Ok ve yay, bir hayat tarzı olarak Türklerde avlanma, savaşma ve toplumsal hayatı düzenleyen bir yaşam biçimi, günlük hayatın bir parçası olarak benimsenmiş unsurlardır. Bu makalede savaşın seyrini değiştiren bir silah olan kompozit yayın önemi vurgulanmıştır. Bu yayların yapımında kullanılan malzemeleri bir arada tutan tutkalların özellikleri ve yay yapımı bakımından olumlu ve olumsuz yönleri ortaya konulmuştur.

### 2. Türk Kültüründe Ok ve Yay

Dünya tarihinde askerlik ve harp sanatı açısından dikkat çeken milletlerin başında Türkler gelmektedir (Eralp, 1993). Bulunduğu zorlu coğrafyada hayatta kalmanın, ülke sınırlarını düşmanlarına karşı korumanın tek yolu sağlam bir ordu ve üstün silahlara sahip olmaktır. Bu bakımdan Türklerde en üst düzeyde gelişen sanayi ve sanat silah yapımı olmuştur. Türklerin ok ve yayı ustalıklı yapmaları ve maharetli bir şekilde kullanmalarından dolayı "okçu/kemankeş millet" olarak anılmalarını sağlamıştır (Göksu, 2013; Küçük, 2018). Toplumun her kesimi tarafından benimsenen okçuluk, hiçbir yerde Osmanlı Türklerinde olduğu kadar saygı görmemiştir (Loades, 2016). Okçuluk Türk kimliğine öylesine nüfuz

etmiştir ki, bu iki kavramı birbirinden ayırmak mümkün değildir (Tunç vd, 2017). Türk toplumunda askerlik ruhu diğer bütün gelenek ve değerlerin üstünde yer almış, oyunlar, müsabakalar ve organizasyonlar adeta bir savaşa hazırlık provası olmuştur. Hatta savaşta ölmek gurur, hastalık sonucu ölmek ise utanılacak bir kusur olarak görülmüştür (Göksu, 2013).

Türk toplumunda silâh; savunma veya taarruz, rütbe ve makamı temsil, güç sembolü olarak toplumun kültür hayatında yer almıştır (Eralp, 1993). 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). Türklerin kendilerine özgü silahlarının başında gelen kompozit yapıya sahip yayları ve okları her devirde en etkili silah olmuştur. Malazgirt savaşında Selçuklu kuvvetlerini zafere götüren temel etkenin Türk savaş stratejisini başarı ile uygulayan Türk okçuları olmuştur. Anadolu’da hâkimiyet sağlandıktan sonra ok ve yay sayesinde sağlamlaştırılmıştır Göksu, (2013). Kaegi, (2001) Malazgirt savaşında Selçuklu okçularına önemli rol yüklemektedir Metin (2014). Türklerin dehşet verici okçulara sahip olmaları savaşın sonucunu ve Anadolu’nun kaderini belirlediğini ve Anadolu’nun Türk yurdu haline gelmesinde başarılı Selçuklu okçularının büyük katkısı olduğunu vurgulamaktadır. Bizans kaynakları da birçok Türk zaferini Selçuklular’ın yay kullanmadaki ustalıklarına dayandırmaktadır (Kaegi, 2001; Karpowicz, 2007). Türkler bu silahları günün koşullarına göre “sürekli mükemmelleştirdiklerinden” Çin, Roma, Bizans gibi devletlere karşı savaşlarda üstünlük sağlamışlardır (Göksu, 2013). Türklerin Asya, Ortadoğu ve Avrupa’da yaptıkları fetihlerin arkasında şüphesiz yayın büyük katkısı bulunmaktadır (Karpowicz, 2007). Selçuklulardan sonra Osmanlılarda okçuluk daha sistematik hale gelmiş, ok meydanlarını kurulmuş ve Osmanlı Devleti’nin kuruluşunda ve yükselmesinde büyük katkı sağlamıştır (Eser, 2022).

Türk savaş taktiğinin (Turan taktiği) üç aşamalı stratejisi; “yıldırma ve yıpratma”, “sahte geri çekilme”, “pusuya düşürme ve imhadır”. Bunların içinde en meşhuru “baskın” ve “kısa muharebe” taktiği gösterilmektedir. Bu taktiğin uygulanmasında silahların form ve özelliklerinin yanında, süvarilerin hareket kabiliyeti, ok atma beceri ve üstünlükleri etkili olmuştur. Yayların kısa oluşu yayın gücünü ve atış mesafesini artırdığı gibi süvarilere at üstünde daha rahat hareket kabiliyeti sağlamıştır (Karpowicz, 2008; Göksu, 2013; Metin, 2014; Randall, 2016). At üstünde her yöne manevra yapıp ok atılabilmeyi sağlayan en iyi yayın, Türk kompozit yayı olduğu batılı uzmanlar tarafından da kabul edilmektedir Doğan (2017). Savaşlarda düşmanı yıpratma taktiğinin uygulanabilmesi için hızlı ve dayanıklı atların yanında, düşman menziline daha uzağa atabilen yaylara sahip olma, at üzerinde her yöne ok atabilme ve yayı rahatça kullanabilme özelliklerinin olması gerekir. Aksi halde bu taktiğin başarıyla uygulanması mümkün olmayacaktır. Bu bakımdan yayların menzili ve kullanım kolaylığı göz önüne alındığında Türklerin bu taktiği başarıyla uyguladıkları ve düşmanlarına karşı zayıf vermeden üstünlük sağladıkları söylenebilir.

Türkler kendilerini korumanın ötesinde, askeri başarılarının minneti olarak ok-yay ve ata duygusal bir anlam yüklemişlerdir (Yılmaz, 2020). Edebi metinlerde, Türk halk edebiyatında, atasözlerinde, deyimlerde ve türkülerde ok yay ile ilgili zengin bir edebi birikim oluşmuş, sanat eserlerine ve mezar taşlarına işlenmiştir (Eralp, 1993; İz, 1962). Türkler ok ve yayı sadece savaşlarda kullanmamış, önemli bir kültür öğesi olarak benimsemişlerdir. Ok ve yay Türk tarihi boyunca siyasi ve hukuki bir sembol

olarak devlet düzeni içerisinde hiyerarşik yapı oluşturulmasında kullanılmış, yay her zaman oka üstün kabul edilmiş, Türk devlet geleneğinde yay “hâkimiyet”, ok ise “davet ve tabiiyet” sembolü olarak kabul edilmiştir. Hakan tahtta otururken ok ve yay tutmuş, savaflara komutanları çağırarak için ok ve yay gönderilmiştir. Padişah tuğralarında ve bayraklarda da ok ve yay sembollerinin kullanıldığı görülmektedir (Turan, 1945; Eralp, 1993; Özgen, 2010; Koca, 2012; Göksu, 2013; Makul; 2022). Hatta Anadolu'nun bazı bölgelerinde düğün ve merasimlere davetlerde bayram şekeri verilmekte ve bu davet usulüne “okuntu dağıtmak” veya “okuntu vermek” denmektedir. Ayrıca Göksu, (2013) ve İnan, (1992) özellikle bayram, düğün, toy ve kurultaylarda yapılan merasimlerde okçuluğun Türk sosyal hayatında önemli işlevleri olduğunu vurgulamaktadırlar. Gençlerin boş vakitlerinde ok atarak eğlendiği, yiğitliklerini ok yarıştırmak gösterdikleri hatta evlenen bir gencin, attığı okun düştüğü yere gerdek çadırını kurduğu Dede Korkut hikâyelerinde anlatılmaktadır (Tulu, 2021). Okçuluk yarışmaları bazen halkın bağlılık ve bütünlüğünü sağlamak için kullanılmıştır (Özgen, 2010). Tunç (2000) ok ve yay üzerine içilen anıların ayrı bir önemi olduğunu vurgulamaktadır. Türk ordusunda silah üzerine yapılan yeminler de bu geleneğin devamı olmalıdır.

İnan, (1992)'a göre Osmanlı'da okmeydanları için çıkarılan fermanlar okçuluğa verilen önemin göstergesidir. Bu meydanlar, sınırlarına kimsenin dokunmadığı kutsal mekânlar kabul edilmiştir (Özgen, 2010). Osmanlı devletinin kuruluşundan beri padişahlar, günümüz spor kulübü niteliğinde olan okçuluk tekkelerini her zaman desteklemişlerdir. Okçuluğun savafla hazırlık için yapılan bir spor unsuru olarak da kullanıldığı görülmektedir. Okçuluk tekkeleri aynı zamanda ahlak ve kişilik gelişimi için bireysel eğitim verilen, sevginin temel alındığı kardeşlik kurumları olmuştur. Kemankeş tekkelerinde yapılan tüm ritüeller ile Ahilik teşkilatlarında yapılan ritüeller arasındaki benzerlik ve örtüşme bu hususu ispatlamaktadır. Yemek ve sohbet toplantılarında kıdem sırasına titizlikle uyulduğu hâlde, meydana ve atışlarda meslek ve rütbenin önemsenmediği bir eşitlik ortamı sağlanmıştır. “Burası er meydanıdır. Burada şah'ü gedâ birdir” sözü bu eşitlik inancını dile getirmektedir (Güven, 2003; Bir vd., 2006; Atalay ve Akbulut, 2013; Dever ve İslam, 2015; Yönel ve Türkmen, 2017; Arslan, 2017; Doğan, 2017; Gölbaşı, 2018).

Türklerin ok ve yay verdiği önem, inanç dünyalarını da etkilemiş (Pulur, 2017) okçuluğa dini anlamlar yüklemişlerdir. Ok atmadan önce abdest alınması (Klopsteg, 1987) ok atmanın nafîle ibadet gibi telakki edilmesi okçuluğa verilen önemin dini temellerini göstermektedir. Hz. Peygamber kırka yakın hadisinde okçuluğu teşvik etmiş, kendine ait altı adet yayla ok atmıştır (Klopsteg, 1987; Yücel, 1999; Eser, 2022). Göksu, (2013) Türklerin savaşçı ruhlarına uygun bir din olan (Turan, 1945) İslamiyet'i kabulünden sonra savaş ve savaşçılık mefhumlarının yeni bir şekil kazandığını, ayet ve hadislerde, din uğruna ölmeyi “şehit” kabul edip cennetle müjdelenmesinin büyük önemi olduğunu belirtmektedir. Acar ve Özveri (2007-2008) İslamiyetin ok atmayı teşvik eden bir din olmasının okçuluğun gelişmesindeki ana unsurlardan biri olduğunu vurgulamaktadır. Türklerin İslam dinine geçtikten sonra yay ve okla ilgili ayet ve hadislerin etkisiyle bir ibadet şuuru ile yaptıkları yayları mükemmel hale getirmek için çabalamışlardır. Bu hadisler nedeniyle atıcılık “Peygamber sünneti” (Kahraman, 1995) olarak kabul edilmiştir. Hz. Peygamber tarafından dile getirilen hadislere dayanarak ok atmanın “sünnet”, hatta “farz-ı

kifaye” sayıldığı olmuştur (Yücel, 1999). Öngel (2001), ok ve yay yapımının ustadan çırağa aktarıldığı, ustalara ve ailesine sosyal hayatta seçkin bir yer kazandırdığı görüşündedir.

### 3. Yay Çeşitleri ve Kompozit Yaylar

Yaylar, hammadde ve yapım yöntemlerine göre sadece ahşaptan yapılan basit yay, sinir takviyeli yay, kompozit yay ve lamine yay olarak dört ana gruba ayrılır. Geometrik şekil ve elastikiyetlerine göre ise basit yaylar, uçbükümlü yaylar ve kompozit uçbükümlü yaylar olarak sınıflandırılmaktadır (Knecht, 1997).

İskitler, Asurlular, Avarlar, Partlar, Hititler, Mısırlılar, Hunlar, Babürler, Moğollar, Çinliler, Persler, Tatarlar, Araplar, Koreliler, Macarlar ve Türkler kompozit yaylar kullanmışlardır (Loades, 2016). Türk yaylarının da dahil olduğu kompozit yaylar, birkaç materyalin birleşimiyle yapılan yaylardır. Bir kompozit yay, ahşap bir iskelet, basınç yüklerine dayanabilen boynuz, yüksek gerilme kuvvetine sahip sinir ve tüm bunları yapıştırmak için hayvansal tutkallardan meydana gelir. Boynuz keratinden yapılmıştır ve kırılmadan önce yaklaşık 1800 kg’lık bir kuvvete dayanabilmektedir (Asbell vd, 1993). Sinir % 8 kadar esneyebilir. Boynuzun sıkışmaya mukavim ve sinirin esneme özelliği sayesinde kırılma riski olmadan daha kısa yayların yapımı mümkün olmuş ve çekiş kuvveti artırılmıştır. Bütün bunların sonucunda nispeten küçük bir yaydan uzun bir çekiş mesafesi ve yüksek hızlı ok çıkışları elde edilmiştir (Mustafa kani, 1836; Reisinger, 2010; Karpowicz, 2008).

Kompozit yaylarda, yay çekildiğinde sinir kaplı dış yüzeyi gerilme, boynuz kaplı iç tarafı ise sıkışma kuvvetlerine maruz kalır (Randall, 2016). Uzun çekişli, kısa ve hafif yay kolları, kompozit bir yayın yüksek miktarda enerji depolamasını ve bunu diğer yaylardan daha verimli bir şekilde oka aktarılmasını sağlar. Kompozit yay, teknolojik olarak en sofistike olanıdır ve yapımı yüksek düzeyde bilgi ve beceri gerektirir (Knecht, 1997). En iyi ve en kullanışlı yayların ağaç, sinir boynuz ve tutkaldan oluşan kompozit yaylar olduğu kabul edilmektedir. Kompozit yaylar diğerlerine göre daha fazla enerji depolar ve bu enerjiyi oka çok daha iyi transfer ederler (Paterson, 1970; Kooi, 1994; Grayson vd, 2007). Çünkü boynuz ve sinir birim kütlede ahşaptan daha fazla enerji depolanmasını sağlar. Döşenen sinir daha fazla esneklik sağlayarak yayın gücünü artırırken boynuz sıkışma kuvveti sayesinde kırılmaya karşı direnç sağlar. Bu yaylar ters bükümlü ve uçları geri kıvrık olduğundan daha fazla çekiş mesafesi sağlar (Grayson vd, 2007; Karpowicz, 2008). Kompozit yayların bir diğer özelliği ise yasıldıklarında, yani kirişleri çözülmesinde, yay kollarının her zaman geri dönme özelliği olarak tanımlanan “refleks” yapıda olmalarıdır. Refleks yaylar ön gerilimli olduğundan çekildiğinde daha fazla enerji depolanmasına imkân vermektedir (Knecht, 1997).

Kompozit yaylar sürekli itinalı bakım ve dikkatli kullanım gerektirir. Sıcak ve kuru tutulmaları, doğrudan güneş ışığına maruz kalmamaları gerekir. Sıcaklıktaki aşırı dalgalanmalar bozulmaya veya performans düşmesine neden olabilir. Kompozit yaylar, basit yaylardan daha uzun süre gergin kalabilse de, zarar görmemesi için yasılmaları (kirişlerin çözülmesi) ve düzenli olarak gevşemelerine izin verilmeleri gerekir, aksi takdirde güçlerini kaybeder (Loades, 2016). Yay bir hafta kurulu bırakıldığında çekiş

gücünde % 5 gibi bir azalma olmaktadır. Yayın uzun süre gerili tutulduğunda malzemenin alabileceği geçici şekil “sürüklenme” olarak tanımlanmaktadır. Malzemedeki aşırı sürüklenme, yayda geçici olarak performansı düşerebilir, ancak birkaç saat dinlendirildikten sonra orijinal durumuna geri dönebilir (Karpowicz, 2007). Sıcak havalarda yayda meydana gelen sürüklenme buna örnek verilebilir. Yay yapımında kullanılan tutkalların bu sürüklenme kuvvetlerine uyum sağlaması ve bu özelliğini çok uzun süreler devam ettirmesi gerekir (Klopsteg 1987). Kullanılan tutkalının sertlik modülü tendon ve boynuz yakındır ve kurduğunda boynuz kadar esneyebilme özelliği kazanır. Tutkalın bu özelliği kırılmadan ve çatlama olmadan yayın bükülebilmesini sağlamaktadır (Karpowicz, 2008). Kompozit yaylar, boynuz-ahşap-sinir-tutkal kombinasyonunun elastik ve mekanik mükemmelliğini temsil eder (Klopsteg, 1987).

### 3.1. Türk Yayları

Birçok millet boynuz ve sinirden yapılan kompozit yayları kullanmasına rağmen, olağanüstü gücü, etkinliği, aynı zamanda küçük, zarif ve hafif yayların yapımında hiçbiri Türkler kadar uzmanlaşmamıştır (Klopsteg, 1934). Türk okçuluğunu emsallerine göre üstün kılan, mühendislik harikası olarak kabul edilen kompozit yaylardır (Doğan, 2017). İdeal yay, kolları kısa ve hafif olan yaylardır. Bu açıdan kompozit yaylar içerisinde en gelişmiş olanı en kısa kollara sahip Türk yaylarıdır. Verimlilikleri emsallerine göre daha fazladır (Klopsteg, 1987; Karpowicz, 2008; Randall, 2016).

Yayda enerji depolanmasında prensip, yay kollarında en az materyalin kullanılması ve aynı zamanda sağlamlığın elde edilmesidir. Özellikle menzil yaylarında, baş kısımlara doğru mümkün olduğu kadar kütle azaltılması gözetilmiştir. Türk yaylarının diğer kompozit yaylardan tasarım olarak da farklılıkları bulunmakta ve bu tasarım tipi yayların performansını artırmaktadır (Karpowicz, 2008). Birim kütle başına depolanan enerji miktarı bu yayların üstün performansını meydana getirmektedir (Kooi, 1994). Aynı ağırlığa sahip farklı yayların enerji depolamaları kıyaslandığında, daha kısa olan Türk yaylarının diğerlerine göre sadece maksimum enerjiyi depolamakla kalmayıp, tam çekişte çıpa noktasında sabit tutmanın daha kolay olduğu belirtilmektedir (Klopsteg, 1987). Bu özellik Türk yaylarının kullanım kolaylığı yanında, tam çekişte okçunun fazla enerji harcamadan nişan alabilme ve yorulmadan daha fazla ok atabilme imkânı sağlamaktadır.

Türk yaylarının diğer kompozit yaylardan form farklarının yanında malzeme ve yapım teknikleri bakımından da farkları bulunmaktadır. Biçim mükemmelliği, malzeme kalitesi ve yapım üstünlüğü bir arada görülmektedir. Bu mükemmelliğe ulaşabilmek için yüzyıllar süren yorucu bir deneme ve araştırma çabası verilmiş, maliyetli ve temini güç olsa da daima en uygun ve kaliteli malzeme kullanılmıştır (Yücel, 1999). Eski ve modern yaylar kıyaslandığında, kısa Türk yaylarının en iyi malzemelerin bir kombinasyonu ile yapıldığı görülmektedir (Kooi, 1994). Türk yaylarını mükemmel yapan, seçilen materyallerin gelişigüzel değil, binlerce yıllık bilgi, tecrübe ve emeğin ürünü olmasıdır (Parlak, 2020). Doğal malzemelerle imal edildiğinden yapım süresi kullanılan malzemelerin özelliklerine göre çok uzun olup, iyi bir yayın yapımı üç yılı bulabilmektedir. Yapım sürecindeki bu meşakkat, kullanılan malzemelerin

özenle seçilmesini zorunlu kılmaktadır. Kullanılan malzemelerin en üst kalitede olmasının yanında, yay yapımının tüm aşamalarına hakimiyet ve ustalık ve el becerisi gerekmektedir.

Sinir-ağşap-boynuz kombinasyonunun mekanik özellikleri, sadece 25 cm uzunluğunda olan ve gerilen salı, Türk yaylarını tasarım ve yapımın zirvesine çıkarmıştır (Knecht, 1997). Karpowicz, (2007). Türk yaylarında yaptığı çalışmada yay çekiş güçlerinin 90-130 libre arasında değiştiğini bildirmektedir. İyi bir yayın babadan oğula miras kaldığı (Göksu, 2013) ve 200 yıldan fazla kullanılabilirdiği (Klopsteg, 1987; İrtəm, 2005; Yücel, 1999) göz önüne alındığında malzeme seçiminde ve işlemede gösterilen titizlik anlaşılabilir. Ağacın uygun zamanda kesilmesi, kurutulması, sinirlerin hazırlanmasında gösterilen titizlik en kaliteli çega tutkalının (sinirlerin artan uçlarından yapılan sinir tutkalı) (Yücel, 2015) kullanılması ve yayı oluşturan bu bileşenlerin doğru ölçülerde kullanım hünerleri birleştiğinde bu dayanıklılık ortaya çıkmaktadır (Klopsteg, 1987). Ancak en iyi malzeme ve ustalığın birleşmesiyle üstün performanslı yayların imali mümkün olabilmektedir. Yay yapımında ustalığın yanında, malzemelerin özelliklerini tanıma ve en üst kullanım limitlerine kadar zorlamak suretiyle performansları sürekli geliştirilmiştir. Sinir vurma, yay yapımı için gereken süreyi iki katına çıkarmasına rağmen (Allely vd, 1992) boynuz ve sinir tabakaları yapıştırıldıktan sonra çok uzun süre bekletilmiş, zamanın kısaltılmasına izin verilmemiştir (Klopsteg, 1987; Yücel, 1999). Uzun bir zaman gerektiren yay yapım sürecinde, malzemelerden maksimum performans elde edilmesi ancak bu halde mümkün olabilmektedir. Kullanılan ağşap, tutkal, boynuz, sinir, ipek gibi malzemelerin seçiminde gösterilen titizlik, hassasiyet ve özen, ustalık ve tecrübeyle birleştiğinde, Türk yayları, aynı kökenden gelen diğer yaylara kıyasla devrinin en üstün silahları olmuştur.

#### **4. Yayın Çekiş Kuvvetini Etkileyen Faktörler ve Potansiyel Enerji Depolama**

Bükülen bir malzemenin dış bükey kısmı uzamaya içbükey kısmı sıkışmaya, orta kısmı ise makaslamaya maruz kalmaktadır (Klopsteg, 1987). Basip ağşap yaylarda kirişin çekiş mesafesi ağacın esneme kabiliyeti ile sınırlıdır. Kompozit yaylarda ağşabın asıl fonksiyonu yayın iskeletini oluşturarak boynuz ve sinir için iyi bir yapışma zemini oluşturmasıdır. Ağşabın kırılma dayanıklılığını önlemek için kompozit yaylarda ağşap, yayın iskeleti olarak kullanılmış, dış kısmına sinir, iç kısmına boynuz yapıştırılarak çok daha esnek ve dayanıklı yaylar yapılmıştır. Yayda enerjinin büyük bir kısmı ağşaptan ziyade boynuzun sıkışması ve sinirin gerilmesi suretiyle depolanmaktadır. Yayın çekilmesi esnasında, özellikle sal kısmı çok büyük gerilme ve makaslama kuvvetlerine maruz kalır. Ağşabın oluşan bu kuvvetlere karşı yeterli dayanıma, aynı zamanda yayın çekilmesi ve bırakılması esnasında ortaya çıkan gerilme, büzülme ve makaslama kuvvetlerine dayanabilecek esnekliğe sahip olması gerekir. Boynuz ve sinir, nem, sıcaklık gibi dış şartlardan daha kolay etkilendiğinden, ağşabın boynuz ve sinire göre daha kararlı olması, çekiş kuvvetlerine karşı yayın stabilitesine katkı yapan bir unsurdur.

Üç parmak çekişi yapılan yaylardan farklı olarak, zihgir kullanılarak yapılan başparmak çekişi çıpa noktasının 8-10 cm daha geride olmasını sağlar (Randall, 2016). Bu bakımdan kompozit yaylarda çekiş mesafesi, dolayısıyla depoladığı enerji daha fazladır. İyi bir yay, kiriş bırakıldığında potansiyel enerjinin

çoğunu okun kinetik enerjisine aktarmalıdır (Meyer, 2015). Yayların verimliliği depoladığı enerjinin oransal olarak okta aktardığı güçle değerlendirilmektedir. Kiriş bırakıldıktan sonra yay kollarının geri dönüşü esnasında bir miktar enerji kaybı meydana gelir. Bu kayıp basit ahşap yaylarda yay kollarının uzunluğu ve kütlesi nedeniyle daha fazladır (Klopsteg (1987). Randall, (2016)'a göre yay kollarının geri dönüşünde ve hızlanmasında harcanan enerji, okta transfer edilecek enerji miktarını azaltmaktadır. Yay kollarının kütlesi ok hızı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve enerji transferinde verimsizliğin başlıca nedenidir. Bu bakımdan verimli bir yay yapımı, yay kollarının kütlesini en aza indirmek ve yay kolunda kütle yerleşimini optimize etmekle mümkün olabilir. Yay kollarının daha kısa geri dönüş süresi için daha fazla enerji gerekir. Ancak daha önemlisi, yay kolunun kütlesi tek başına, yay kollarının bırakıldıktan sonraki kütle değişimi kadar önemli değildir. Kısa kollara sahip yaylar diğer kompozit yaylardan enerji transferinin daha verimli olmasını sağlar. Bunun birinci sebebi, yay kollarının kütlesi azaltıldığından kiriş bırakıldıktan sonra geri dönüşte daha az enerji harcar (Randall, 2016). İkincisi, yayın baş kısmına keskin açı verilmesi, yayın kısaldığı halde yay kollarının başlangıçta daha yüksek bir çekiş gücü elde edilmesini sağlar. Bu suretle enerji depolaması artırılarak, daha ağır bir ok, daha verimli bir şekilde atılabilir (Klopsteg, 1987; Knecht, 1997).

Yaylarda verimliliği çeşitli faktörler etkilemektedir. Potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşme hızı, yay profili, malzeme seçimi, çekme gücü, sıcaklık ve nem gibi çevresel koşullardan dolayı verimlilik yaydan yaya değişir. Verimliliği artırmak için yay kolları kısaltılmış, uzun çekiş mesafesinde kırılma veya burkulmasını önlemek ve hafifletmek için boynuz ve sinir kullanılmıştır. Bu nedenle kompozit yaylar birim kütle başına daha fazla enerji depolarlar. Boynuz ve sinir sıkışma ve gerilimde ahşaptan daha güçlü fakat daha az sertliğe sahiptir. Boynuz ve sinirin bükülmesi daha kolaydır ve ahşaptan daha fazla stres altına girebilir. Çekişteki aşırı gerilim salın kırılmasına neden olabilir. Ancak bükülen sal kısmının daha yüksek gerilimlere dayanması için boynuz ve sinir eklenmesi kırılmayı engellemektedir (Randall, 2016). Kompozit yaylar gibi yüksek gerilime sahip olan yaylarda kırılmayı dışbükey kısma döşenen elastik sinir önlemektedir. Yay sırtının (sal kısmının) dışbükey gerilime maruz kalan en üst yüzeydeki %10'luk kısmı depolanan enerjinin yaklaşık %50'sini oluşturur. Sinir katmanı ahşaptan gelen gerilimi alır ve kırılma tehlikesi olmadan daha fazla çekiş mesafesi sağlar. Deri tutkalı ve sinir lifleri yayın sırt kısmının çatlamasını engeller (Allely vd, 1992). Yayın sırtına döşenen sinir çekme gerilimini artırırken, sıkışmaya maruz kalan boynuz, ahşaptan 3.5 kat daha fazla basınca dayanabilmektedir. Boynuz yaklaşık %4, ahşap ise yaklaşık %1 sıkıştırılabilmektedir. Örneğin manda boynuzu kırılmadan boyuna sıkışmada yaklaşık iki tonluk bir kuvvete dayanabilmektedir. Ayrıca boynuz bu sıkışmadan sonra tekrar bozulmadan orijinal formuna dönebilme özelliğine sahiptir. Boynuzun sıkışma ve sinirin gerilme direncinin benzer olduğu ve yay çekildiğinde eşit miktarda enerji depoladıkları iddia edilmektedir. Bu konuda daha fazla bilimsel araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır (Allely vd, 1992; Knecht, H., 1997).

Çekiş kuvveti sal kalınlığının kübü ile doğru orantılıdır. Sinir katmanı ile sal kalınlığını çok az artırma yayı daha kuvvetli yapar. Salın kalın olması yay kollarının daha hızlı geri dönmesini ve okun daha hızlı çıkışını sağlar (Karpowicz, 2008). Bu bakımdan Türk yaylarında, yayın gücünü artırmak için salın eni yerine, katman halinde sinir döşenerek kalınlığı artırılmıştır. Salın eni iki katına çıktığında çekiş gücü iki



kat, kalınlığını iki katına çıktığında % 800 artmaktadır. Bu nedenle çekiş gücünü artırmak için yay kalınlığı artırılır fakat bu gücü elde ederken, salın makaslama direnci düşer ve burkulmalar meydana gelebilir (Randall, 2016). Bu nedenle yayların çok iyi tımar edilmesi bu tür dengesizlikleri gidermektedir. Türk yaylarının bir diğer yapıım farkı sal kenarları boyunca fitil halinde sinir dōşenmesidir. Bu sinir dōşeme, yay kollarının ağırlık ve kütesini fazla artırmadan refleksini artırır ve daha fazla çekiş gücü elde edilir. Fakat bu durumda ortaya çıkan bir diğer sorun yay kollarının stabilesinin azalması ve daha kolay burkulmasıdır. Aynı zamanda kütenin azaltılması için salın kalınlığının kabzadan itibaren azaltılması gereklıği ortaya çıkar. Boynuz, sinir gibi malzemelerin fazla kullanımı yayın refleksini artırabilir. Fakat artan refleks yanal instabilite ve salın bükölme potansiyelini de artırır. Bu dengesizlik salın enini artırarak giderilebilir fakat yüksek refleksli bir yaydaki mükemmel dengelenmiş sal bile aniden tersine dönebilir. Yayın bükölmesini ve ters dönmesi kasanın piramidal şekle sahip tasarımıyla aşılmıştır (Randall, 2016). En iyi kompozit yay sadece en kısa olan değil, aynı zamanda daha fazla enerji depolanmasını ve yay kollarının daha hızlı olmasını sağlayan en hafif yaydır. Yay başlarının geri kıvrık olması refleksini artırır ve bu refleks yapı sayesinde daha fazla enerji depolar. Türk yaylarında baş kısımlarının kısaltılması verimliliği ve refleksini artırmakta, yay kolları bırakıldığında geri dönüş esnasında daha fazla yol katettiğinden daha fazla enerjiyi oka aktarabilmektedir. Yaylardaki verimi etkileyen bir diğer husus ise kasanın kısmının daha uzun yapılması sonucu saldaki bükölmenin kabzaya yakın yerden olması ve kirişin bırakılmasından sonra yay kollarının daha uzun bir mesafede salınım göstermesidir (Karpowicz, 2008). Boynuz ve sinirin bükölmesi ahşaba göre daha kolaydır ve ahşaptan daha fazla stres altına girebilir. Verimliliği artırmak için kısaltılan yay kollarının kırılma veya burkulmasını önlemek ve hafifletmek için oransal olarak daha fazla boynuz ve sinir kullanılmıştır. Bu nedenle kompozit yaylar birim kütle başına daha fazla enerji depolarlar. Kısa kola sahip yay daha yüksek bir çekiş kuvvetine ulaştığı gibi bırakıldıktan sonra kolların geri dönüşünde harcadığı enerji azaldığından yayın verimliliği artmaktadır (Randall, 2016).

Yaylar refleks halde olduklarında oka aktarılan enerji daha fazla olmaktadır (Klopsteg, 1987). Bu nedenle tirkeş yayları “tekne kuram” formunda yapılırken, oku daha fazla uzağa atması için yapılan yasılı haldeyken daha refleks olan menzil yayları “hilal kuram” formunda yapılır (Karpowicz, 2006). Bu şekil yayın refleksini artırarak daha yüksek bir başlangıç gerilimi ve çekiş gücü sağlayarak daha fazla enerji depolamaktadır (Randall, 2016).

Sinir ve tutkal yaya vurulduktan sonra her iki malzeme nem kaybından dolayı birbirine iyice yapışır. Sinirin nemli olan üst kısmı kururken, alt katmanındaki henüz kurumamış kısım, ahşapla temas halinde kurumaya devam eder. Tutkal molekülleri bu aşamada sürekli artan hidrojen bağı oluşturur ve malzemeler her yönden büzölmeğe başlar. Tutkalın bu kuruma ve büzölme özelliği yaya refleks yapı kazandırır (Karpowicz, 2008). Kurutma sırasında sinir büzölürken meydana gelen ön gerilim yayda istenen bir özelliktir ve daha fazla enerji depolanmasını sağlar. Yayı halkaya çekme ve bu şekilde uzun süre kurutulma yay kollarına fazladan kütle eklemekten ön gerilimi artırır ve yayın daha verimli olmasını sağlar. Tutkalın kuruması esnasında boyuna ve yanal büzölmeler o kadar büyük ve güçlüdür ki bazen ahşabın çatlaması veya ahşap parçalarının sinire yapışık halde kopmasıyla sonuçlanabilir. Gerilme,

sıkıştırma ve makaslama kuvvetlerindeki bu ön gerilim, yay kollarında birim kütle başına daha fazla enerji depolanmasını sağlar. Bu özellik Türk tipi yayların olağanüstü performansını kazandırır. Güçlü refleksi ulaşmak için yay yaklaşık bir yıl halkaya çekili halde bırakılmaktadır (Klopsteg, 1987; Yücel, 2015). Kuruma esnasında sinir ve tutkalın her yöne büzülmesiyle yay halka pozisyonuna gelmeye çalışır ve kullanılan tutkal da bu büzülmeye uyum sağlar. Bu nedenle sinirin ve tutkalın bu ön gerilimi oluşturulmasında birbiriyle eşzamanlı ve aynı oranda kurumaları çok önemlidir. Türk yaylarındaki halkaya çekme, yayın ön gerilim almasını ve daha refleks olmasını sağlar. Özellikle menzil yaylarının daha refleks olması arzu edildiğinden, halkaya çekme aşamasında başın uç kısımları birbirine değecek kadar yaklaştırılır. Bu suretle daha fazla ön gerilim sağlanmış olur. İşte bu ön gerilimlere de dayanabilecek ve sinirle uygun gerilim oranına sahip olan hayvansal tutkallar diğerlerine göre avantaj sağlar. Tutkalın yavaş kuruması ve tam kurumunun yaklaşık altı ay sürmesi yayın ön gerilimin sağlanmasında önemli rol oynar. Eğer sinir veya tutkal farklı kuruma özelliklerine sahip olsa ve kurudukça büzülen bir yapısı olmasaydı, yayın halkaya çekilmesi ve ön gerilim verilmesi, dolayısıyla yayda refleks yapının oluşması mümkün olmayabilirdi.

Kompozit yayların bir diğer özelliği de sürekli kurulu ve çekili konumda beklediği taktirde deforme olabileceğidir. Bu bakımdan hızlı gezleme, çekiş ve atış becerileri geliştirilmiş ve bu tekniklerle düşmana karşı üstünlük sağlanmıştır. Bu tekniklerin geliştirilmesinde ve uygulanmasında, kullanılan malzemelerin özellikleri de etkili olmuştur. Tendon ve boynuz, çok hızlı stres altına girdiğindeki sertliği, yavaş stres altına alındığından daha fazla olan viskoelastik malzemelerdir. Yani yay hızla çekilip beklenmeden bırakıldığında malzeme deforme olmaz ve daha fazla elastikiyet özelliği gösterir. Bu nedenle okçular yayı hızlı çekip bırakırlar (Karpowicz, 2008) ve malzeme deforme olmadan kendini toparlar. Bu özellik kompozit yayların kullanımında nişan olarak değil, sürekli eğitim sonucu kazanabilen “hissi atış” tekniklerinin de geliştirilmesini sağlamıştır.

## 5. Yapışma Teorisi

Tutkal ile yapıştırılan malzeme arasındaki yapışma; “kimyasal“, “mekanik” ve “kimyasal ve mekanik” yapışma olarak üç temel şekilde gerçekleşmektedir. Tutkalın kendi içerisindeki moleküler yapışma kuvveti olarak tanımlanan “koheziv” ile başka maddeye yapışma özelliği olan “adeziv” kuvvetleri, birlikte daha iyi bir yapışmanın gerçekleşmesini sağlar (Kumar ve Pizzi, 2019). Başarılı bir yapışmanın meydana gelmesi için gerekli olan şartlar, yapışma yüzeyinin temizliği, yüzeyin ıslanabilirliği, tutkalın katılaşması ve “derz” oluşturularak yapışma yüzeyinin genişletilmesi, çalışma stresine ve çevreye dayanıklılık, birleşim tasarımı, malzeme ve yapışma süreçlerinin seçimi ve kontrolüdür. İdeal bir yapıştırma yüzeyi için genel olarak temizlik, süreklilik, stabilite ve yüzeyin ıslanabilirliği olmak üzere dört kriter kabul edilmektedir (Petrie, 2007). Makaslama ve çekme özellikleri, sıcaklık ve nem, termal genleşme katsayısı, zamana, yükün sürekliliğine ve sıcaklığa bağlı olarak sürünmeye, tutkalın özelliklerini değiştirebilecek kimyasallara karşı direnç ve bağıl nem gibi tutkalın bazı özellikleri yapışma mukavemetini etkileyebilmektedir (Mittal ve Panigrahi, 2020).

Bir tutkalın yüzeylere yapışmasının fiziko-kimyasal etkileşimlere ve mekanik yapışmaya bağlı olduğu iyi bilinmektedir. Gözenekli yüzeylerde daha büyük bir yapışma yüzeyi oluşur ve boşluklar, tutkalın yüzeyden daha alt katmanlara nüfuz etmesini sağlar (Brockmann vd, 2009). Mekanik yapışmada tutkallar, yüzeylerde bulunan mikro yapılara (gözenekler, çatlaklar, boşluklar, vb.) dolmasıyla meydana gelir. Ahşap yüzeyler 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 olarak yapışmayı sağlar ve efektif yapışma yüzey alanı genişlemiş olur (Kumar ve Pizzi, 2019). Mekanik yapışma ahşap gibi pürüzlü ve gözenekli yüzeylerde meydana gelir, düz yüzeylerde başarılı olmaz (Habenicht, 2009). İki yüzey arasında oluşan ve bağ kuvvetini artıran gözenekli yapı mekanik aşındırma ile oluşturulabilir. Tutkal, ağaçta meydana gelen bu mikro boşlukları doldurup daha esnek olduğu için kırılmayı engeller (Karpowicz, 2008; Mittal ve Panigrahi 2020). Ahşap elemanların gözenekli yapısı sayesinde tutkallar hem mekanik hem de kimyasal olarak yapıştırma özelliği gösterirler. Tutkal ahşabın gözenekli iç yapısına 2-6 hücre derinliğe kadar nüfuz ederek kuvvetli bir mekanik yapışmanın meydana gelmesini sağlar (Frihart ve Hunt, 2011).

Kimyasal yapışmada; kimyasal bileşim, yüksek moleküler ağırlık, yüksek çözelti yoğunluğu ve düşük sıcaklıkta yavaş kuruma, tutkalın yüksek derecede renatürasyonu düzenli bir ağ yapısı gelişimini teşvik eder. Hidrojen bağlarının sayısı, jel gücünü, tutkalın sertliğini ve elastikiyetini belirler (Schellmann, 2007). Kovalent bağlar tutkal ile ahşap arasındaki yapışmayı iyileştirir. Tutkalın ahşapla kovalent bağ oluşturması için ahşap polimer hidroksilleri ile yüksek oranda reaktif olmalı ve hücre duvarına nüfuz edebilmelidir (Kumar ve Pizzi, 2019). Protein zincirindeki birçok iyonlaşabilir ve polar gruplar veya tek zincirler, genellikle hidrojen bağı ile üç iplikli sarmallar oluşturur (Schellmann, 2007). Tutkal kurduğunda moleküller daha da yaklaşır ve aralarında yeni hidrojen bağlar oluşur. Bu bir polimerizasyon süreci değil, moleküller arasında oluşan hidrojen bağlar olup kovalent bağdan daha güçlüdür. Hidrojen bağlarının daha fazla meydana gelmesi tutkalı daha kuvvetli hale getirdiğinden istenilen bir durumdur (Karpowicz, 2008).

Tutkallar yapıştırılan elemanlar arasında yükü dağıtarak ve transfer ederek ahşap elemanların gerilimini artırır. Sağlam ve stabil bir tutkal, yapışma ömrü boyunca aynı yapışma kalitesini korumalıdır. Fakat zamana bağlı olarak sıcaklık, nem, stres koşulları, tutkal kimyasında meydana gelen yoğunluk değişimleri, mikroorganizmalar gibi sebeplerden dolayı ahşap, tutkal veya yapıştırılan malzemeler bozulabilmektedir. Örneğin bazı tutkalların 38 C<sup>0</sup>'den fazla sıcaklığa uzun süreli maruz kalmaları bozulmalarına neden olmaktadır. Protein bazlı tutkallar yüksek yoğunluklu ahşaplarda uzun süreli suya veya sürekli yüksek neme karşı dayanıklı değildirler (Frihart ve Hunt, 2011).

Tutkalın iyi yapışma özelliğinin bir göstergesi de ıslatma açısıdır. Yapıştırılacak yüzeyin tam ve eşit bir şekilde ıslanması, güçlü bir yapışma için vazgeçilmez bir ön koşuldur. Temas açısının küçük olması, su itici alanların azalışı anlamına gelir ve daha az yüzey gerilimi, daha iyi yayılım ve yapışma özellikleri gösterir. Temas açısının büyümesi ise su itici alanların fazlalığını ve yapışma yüzeylerinin azalmasını ifade eder. Viskozitesine ve ıslanabilirliğine bağlı olarak, bir yüzeye uygulanan sıvı damlaları farklı

biçimler alır. Bu bağlamda, sıvı yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzey arasında temas açısı ne kadar küçük olursa, ıslanma o kadar iyi olur. Bu açı 30°nin altındaysa iyi ıslanmadan söz edilir. Bir yapıştırıcı kendiliğinden, yani dış etkiler olmadan bir yüzey üzerinde eşit olarak yayılabiliyorsa ıslanma davranışı çok iyidir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü, katı bir yüzeyin ıslanabilirliğinde önemli bir rol oynar. Ahşapta bulunan ekstraktifler ve işlendikten sonra zamana bağlı olarak yüzeylerde meydana gelen yaşlanmaya bağlı oluşan yüzey inaktivasyonu zayıf yapışmaya neden olmaktadır (Habenicht, 2009; Kumar ve Pizzi, 2019). İdeal bir yapıştırıcı, derz yüzeylerinin kritik yüzey geriliminden daha düşük yüzey gerilimine ve iyi ıslatma özelliğine sahip olmalıdır. Uygun bir ıslanma, tutkalın derz yüzeylerine ve boşluklara girebildiğinde elde edilir. Yetersiz ıslanma durumunda tutkalda hava kabarcıkları oluşur ve böylece tutkal ile derz yüzeyleri arasındaki temas alanı azalır. Hem yüzey topografyası hem de yüzeyin kimyasal yapısı tutkalın ıslanma davranışı etkiler. Uygun ıslanma ve yüksek mukavemetli bir yapışma, uygun yüzey hazırlama yöntemleri kullanılarak sağlanabilir (Mittal ve Panigrahi, 2020).

Sıvının yüzey üzerindeki ıslanma davranışı sadece viskozitesine değil, aynı zamanda yüzey gerilimine de bağlıdır (Habenicht, 2009). Tutkal çözeltisinin yüzey gerilimindeki azalma ıslatma özelliğini iyileştirmektedir. Hayvansal tutkallarda yavaş jelleşme ve düşük viskozite, tutkalın düzgün bir şekilde yayılarak yüzeyin yeterli derecede ıslanmasını ve düzgün film oluşumunu sağlamaktadır (Schellmann, 2007). Yay yapımında da kullanılan hayvansal kökenli tutkallar boynuz ve ahşap gibi yüzey özellikleri ve pürüzlülükleri farklı iki maddeyi mükemmel derecede yapıştırabilmektedir. Yapışmanın sağlam olması için yüzeyler temiz olmalıdır. Ahşap yüzeyler, doğası gereği eskime ve oksidasyon ile değişir. Ağacın özsuyu, zift, reçineler veya koruyucular da yapışma gücünü etkiler. Genel olarak yeni işlenmiş ahşap yüzeyler, gözeneklilikleri nedeniyle yapıştırma için idealdir (Adams ve Wake 1986; Petrie 2007). Ahşap yüzeyin eskimesi veya oksidasyonu yapışma performansını etkilediğinden yüzey tazelenmeli veya temizlenmelidir. Basitlik ve uygulama kolaylığı nedeniyle “mekanik aşındırma” uygun bir yüzey temizleme yöntemidir. Zımparalama, raspalama gibi mekanik aşındırma yöntemleri ahşapta kararma ve oksitlenme gibi yüzey birikintilerini ortadan kaldırır ve güçlü yapışma bağlarının oluşmasını sağlar. Yüzeylerinin kimyasal olarak temizlenmesi de kimyasal bağların oluşmasını artırır. Korona, plazma ve aleve tutma şeklinde kimyasal işlemlere alternatif yüzey hazırlama yöntemleri de aynı yüzey modifikasyonlarını sağlar (Mittal ve Panigrahi 2020). İdeal olan, tutkal uygulamadan en geç 24 saat önce ahşabın yüzey işlemleri bitirilmiş olmalıdır (Frihart ve Hunt, 2011). Yayıllarda yapışma yüzeylerinin temizlenmesinde sert odun külü de kullanılmıştır. Dört ölçek su ve bir ölçek kül karıştırılarak yay kolu bu solüsyonla fırçalanır. Tamamen temizlemek için yay kolları kaynar su ile temizlenir ve kurumaya bırakılır. Tamamen kuruyunca sıcak tutkal sürülebilir. Ahşabın tutkala doyurulması önemlidir çünkü sinir vurma esnasında ahşap tutkala doyurulmadığında sinirdeki tutkalı emer ve zayıf yapışmadan dolayı yay kırılmaları veya sinir tabakasının ahşaptan ayrılması gibi durumlar ortaya çıkabilir (Allely vd, 1992).

Yüzeyin yağlı olması ıslanmayı ve yapışmayı etkilemektedir. Deriden yüzeylere olası yağ transferi nedeniyle, yüzeyler yağdan arındırıldıktan sonra hiçbir şekilde çıplak elle temas edilmemelidir. Organik çözücüler veya sıvı temizlik maddeleri (yaklaşık %1–3) eklenmiş sıcak saf su (yaklaşık 60–80 °C) vasıtasıyla yağ temizleme işlemi yapılabilir. Alternatif olarak aseton, metiletiketone (MEK), etilasetat

veya ayrıca metil ve izopropilalkol gibi kimyasallar iyi yağ giderme özelliklerine sahiptir (Brockmann vd, 2009; Habenicht, 2009). Derzli yüzeylerinin yağdan arındırılması, buharla yağ alma, ultrasonik yağ alma ve daldırma/sprey/solvent ile yağ alma gibi birçok yolla yapılabilir. Diğer bir seçenek de nafta sabunu ile temizlemektir (Mittal ve Panigrahi 2020; Allely vd, 1992). Jelatinimsi bir çözeltinin yüzey gerilimindeki azalma, doğrudan yağların varlığıyla bağlantılıdır. Serbest yağ asitleri ve nötr yağlar, küçük konsantrasyonlarda da olsa yüzey gerilimini artırır (Schellmann, 2007). Eski ustaların yay atölyelerinde yağlı yemek dahi yememelerinde (Mustafa Kani, 1836; Klopstek, 1987; İrtem, 2005) bu özelliği bilmeleri yatmaktadır. Tutkalın daha iyi yapışmasını temin etmek için yüzey geriliminin azaltılması gerekir. Yüzey gerilimini düşürmek ve kolajen bazlı tutkalların ıslatma ve yapışma özelliklerini geliştirmek için balık tutkalına % 9 oranında etanol eklenebilir. Alkol aynı zamanda jelleşmeyi geciktirerek çalışma süresini uzatmaktadır. Yüzey temizleyicileri de aynı işlevi görmektedir (Schellmann, 2007).

## **6. Hayvansal Tutkallar ve Türk Yayları Yapımında Kullanılan Tutkalların Fonksiyonel Özellikleri**

Ahşap yapıştırıcılar biyobazlı ve sentetik olarak iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Biyobazlı ahşap tutkallar bitki ve hayvan bazlı olarak iki ana gruba ayrılabilir: Hayvan bazlı ahşap tutkalları epitel, bağ, kas ve sinir dokuları olmak üzere dört ana hayvan dokusundan elde edilebilir (Haupt vd, 1990; Harrison vd, 2005; Schellmann, 2007; Tousei vd, 2014). Hayvanlardan veya bitkilerden elde edilen biyobazlı ahşap tutkallar Hitit, Mısır, Çin ve İran gibi eski uygarlıklardan beri kullanılmaktadır. Bu tutkallar muhtemelen insanoğlunun bildiği en eski yapıştırıcılardır (McPherson ve McPherson, 1991; Petrie, 2007). MÖ 3000 yıllarında Sümerlerin hayvan derilerinden tutkal ürettikleri bilinmektedir (Brockmann vd, 2009). Hayvan kemiklerinden veya derilerinden elde edilen kolajen, erken dönemde kullanılan tutkallardır. Bu tutkallar ahşap yüzeyler arasında esnek ve yüksek mukavemetli bağlar oluşturmakta, tamamen kuru tutulduklarında ise uzun süre yapışma gücünü koruyabilmektedir (Pizzi ve Mittal, 2003). Bu dokulardan elde edilen jelatin, hayvanların kıkırdak, tendon ve bağ dokularında bulunan kolajenin kimyasal ve fiziksel olarak parçalanmasıyla elde edilen bir protein tutkalıdır (Bridarolli vd, 2022). Kollajen doğal halde suda çözünmez ve proteini çözündürmek için şartlandırılmalıdır. Kolajenin suda çözünebilir hayvansal tutkala (jelatin) dönüştürülmesi, asit, alkali ve ısı kullanımı ile molekül içi ve moleküller arası polipeptit bağlarının kırılmasıyla oluşturulur. Protein molekülleri arasında çapraz bağ, hidrojen, iyonik ve kovalent bağların oluşması mümkündür. Hayvansal tutkallar amfoteriktir (oksit ve hidroksitleri asidik ve bazik karakterleri bir arada taşıyan element veya bileşikler). Çünkü polipeptit protein zincirinde bulunan amin ve karboksil grupları reaktif ve iyonlaşabilir. Polipeptit zincirleri değişen uzunluklarda ve çok farklı moleküler ağırlıklardadır (Pizzi ve Mittal, 2003).

Soğutulduklarında hayvansal tutkalların sulu çözeltilerinin jelleşmesi önemli bir özelliktir. Jelleşme sonucu hem molekül içi hem de moleküller arasında birincil ve ikincil bağların rastgele oluşumundan dolayı yeniden biçimlenirler. Moleküller arası ağ oluşumu, öncelikle moleküller zincirleri arasında hidrojen bağları ile çapraz bağlanma mekanizmasının sonucudur (Pizzi ve Mittal, 2003). Hayvansal tutkalların sertleşme süresi öncelikle jelleşme sıcaklığına (sıvılaştırılması için gerekli sıcaklık) ve jel kuvvetine bağlıdır. Jelleşme sıcaklığı ve jel gücü ne kadar düşükse, çözeltinin jelleşme süresi o kadar uzun olur.

Taze deri tutkallarının jelleşmesi nispeten yüksek sıcaklıklarda meydana geldiğinden, hızla jelleşme eğilimindedir (Schellmann, 2007). Jelleşme ve kuruma süresi genellikle ortam sıcaklığına ve bağıl neme bağlıdır. Jelleşmeden sonra, tutkal matrisi suyun buharlaşmasıyla kurur ve bu işlem, sıcaklığın yükseltilmesiyle hızlandırılabilir. Bununla birlikte, jelleşmeden sonra ve kurutma sırasında daha uzun bir moleküler hareketlilik süresi oldukça düzenli ağ yapılarının gelişimini teşvik ettiğinden, kolajen bazlı tutkalların mümkün olduğunca yavaş kurumasına izin verilmelidir. Bu uzun kuruma süresi elde edilen yapışkan filmin esnekliğini ve gücünü en üst düzeye çıkarır. Jelleşme sıcaklığının biraz üzerindeki oda sıcaklığında kurutulduğunda doğal olarak oldukça kararlı ve elastik filmler geliştirir (Schellmann, 2007). Bu bakımdan, Türk yaylarında yayın halkaya çekilmesinden sonara en az 6 ay süreyle kurumaya bırakılması yapışma özelliklerini en üst düzeye çıkardığı söylenebilir. Karpowicz (2008)'de tutkalın daha fazla süreyle kurumaya bırakılması sertleştirmeyi sağladığını ve yayın verimliliğini artırdığını bildirmektedir.

Esnek tutkallar gerilim altında malzemenin de esnemesine izin vererek yapışma yüzeyindeki gerilmelerin daha geniş bir alana dağılımını sağlar (Petrie 2006). Türk yayları refleks yaylardır. Ters yöne doğru kurulma şekli yayın gücünü artıran önemli bir özelliktir (Göksu, 2013). Dolayısıyla malzemenin ters yöne bükülmesi gerilimi artırmakta ve depoladığı enerjiyi en üst düzeye çıkarmaktadır. Karpowicz (2008) bu tür refleksi fazla yaylarda yayın kurulması ve çekilmesi esnasında meydana gelen bükülme nedeniyle, aksi yönünde oluşan kuvvetler yapışan parçalar üzerinde çok büyük ayrılma baskısı oluşturduğunu belirtmektedir. Malzemelerin limitlerine kadar zorlanması, delaminasyona hatta bazen kırılmalara yol açabilir. Tutkalın kırılma olmaması ve esneyebilme özelliği sayesinde, yaydaki gerilmeleri karşılayabilmekte, hem malzeme hem de hayvansal tutkallar birbirlerine çok iyi uyum sağlamaktadır. Özellikle yayın çekişi esnasında sinir kısmında oluşan aşırı gerilmelere dayanma ve yay bırakıldığında oluşan kuvvetlere karşı koyabilme sağlam yapışma ve esneme özelliklerinden kaynaklanır. Yeterli yapışmanın olmaması durumunda yayın gerilimden sonra bırakış aşamasında sinir tabakasının ahşaptan ayrılması (delaminasyon) meydana gelebilir. Dolayısıyla sinirin ahşaptan ayrılmaması için tutkalın soyulma mukavemetinin yüksek olması gerekir. Tutkal kurduğunda 700 kg/cm<sup>2</sup> psi'yi aşan çekme mukavemeti ve yüksek esneklik (Pizzi ve Mittal, 2003) kazanmaktadır. İyi bir yayın 200 yıldan daha fazla kullanım ömrü olduğu (McPherson ve McPherson, 1991; İrtem, 2005) göz önüne alındığında, iyi muhafaza edildiği takdirde çok uzun yıllar tutkalın bu özelliklerini muhafaza ettiği söylenebilir.

Lifli sinir dokusunun ahşaba döşenmesinde kullanılan tutkal, lifleri bir arada tutmaktan ziyade, ahşap iskelete yapıştırma işlevi açısından daha önemlidir. Hayvansal tutkallar sinir ile aynı bileşime sahip olduğundan son derece iyi yapışma sağlayarak homojen bir tabaka haline gelir ve tutkalın bu işlevi hemen eşsizdir (Klopstek, 1934). Yaya ilk kat sinirden 2-3 hafta sonra ikinci kat sinir vurulur. Toplam sinir kalınlığı yayın kuvvetine göre en fazla 6 mm olabilir (Klopstek, 1987). Yay kolunun % 20 kalınlığını oluşturan sinir katmanı gerilim yükünün büyük bir kısmını üstlenir ve bu sayede ahşabın gerilmesini önemli ölçüde azaltarak çatlamasını engeller (Allely vd, 1992). Sinir kalınlığı arttıkça daha fazla gerilime maruz kalır ve daha fazla enerji depolar. Ahşap iskeletin kalın veya ince olması da ahşabın dışbükey yüzeyindeki gerilmeleri değiştirir. Ahşabın gerilime maruz kalmayan, yani nötr olan

merkezinden uzaklaştıkça dışbükeydeki yüzey gerilimi artar ve ahşap bu gerilime dayanmak zorundadır, aksi halde kırılır. Yayda en fazla dışbükey gerilime maruz kalan sal kısmıdır ve yay yapımı esnasında bu kısım mümkün olduğu kadar inceltip, sinirle ve boynuzla desteklenerek gerilimden kaynaklanan kırılmaların önüne geçilir.

Ahşap, boynuz, sinir ve tutkal gibi dört farklı malzemeden yapılan kompozit yaylarda en önemli bileşen tutkaldır (Knecht, 1997; Karpowicz, 2008). Tutkal, yapışan yüzeylerde dolgu görevi görmeli ve hava boşluğu kalmayacak şekilde kaplamalıdır. Odun dokusunun gözenekli yapısından dolayı hem mekanik hem de kimyasal bağlanma sağlayabilmelidir. Karpowicz (2008) sinir vurmada tutkalın hızlı jelleşmemesi gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca özellikle sinir vurma esnasında elle çalışmaya ve kolay şekil vermeye imkân vermelidir. Yayın çalışması esnasında oluşan gerilme ve büzülme kuvvetlerine maruz kaldığında çatlammamalı, zamana bağlı deformasyonlar olmamalıdır. Kompozit yayın sağlamlığı malzemeleri bir arada tutan tutkala bağlı olduğundan, en iyi tutkalın ve en uygun yapıştırma tekniğinin kullanılması önemlidir (Klopsteg, 1987). 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). Türk yayları ters bükümlü, reflex yaylar olduğundan, yay kollarının rijit bir şekilde tam ters yönde bükülmesi sonucu enerji depolarlar. Bu nedenle yayların yapımında kullanılan tutkalların, ağaç, boynuz ve sinir gibi üç farklı özellikte malzeme ile mükemmel yapışma sağlaması gerekir. Yayın maruz kaldığı, basınç, gerilme ve makaslama kuvvetlerine dayanabilecek derecede esnek ve yüksek kırılma mukavemetine sahip olmalıdır (Allely vd, 1992). Pizzi ve Mittal (2003) hayvansal tutkalların yapışma ve sertleşme özelliklerine ek olarak, yüksek gerilme mukavemetine (ahşaptan daha yüksek) sahip olduğunu belirtmektedir. Bu bakımdan bükülmenin maksimum olduğu noktalarda ahşapta meydana gelen sürüklenme (Bergman, 2011) ve gerilme kuvvetlerine karşı çok iyi uyum sağlamaktadır. Yayda kullanılan malzemeleri büyük gerilimlere rağmen bir arada tuttuğundan tutkal kalitesi çok önemlidir (Klopsteg, 1987).

Tutkalın daha esnek olması için yoğunluğunun azaltılması gerekir. Fakat yoğunluğun azaltılması çekme mukavemetini de azaltır (Petrie, 2006). Hayvansal tutkalların uygulanmasında temel esaslar; yapıştırılacak yüzeylerde ince bir film tabakası oluşturma, basınç uygulamadan önce oluşturulan bu filmin jelleşmesini sağlama, yapıştırılacak yüzeyler arasında tam temasın sağlanması için eşit ve yeterince uzun süre basınç uygulamadır (Pizzi ve Mittal, 2003). Yay yapımında bu tutkallama prensiplerine tamamen uyulmaktadır. Ahşabın sinir vurulacak kısmına boynuzdaki kadar derin olmasa da yapışma yüzeyini genişletmek için taşın çekilmektedir. Yaylara sinir vurulmasında ilk uygulanan husus yayın ahşap kolunun hafifçe ısıtılarak % 3 gibi düşük yoğunluklu tutkalın hemen kristalize olmasını engelleyerek ağacın mikro gözeneklerine girmesinin ve mekanik yapışmanın sağlanmasıdır. 8-10 kat düşük yoğunluklu tutkaldan sonra sinir demetlerinin % 30 kıvamda tutkala yatırılarak doyurulması, sinir vurmadan önce yayın ahşap yüzeyinin ısıtılarak, düşük yoğunluklu tutkalla kaynaşmasının sağlanması gerekir. Sinir demetindeki tutkalın fazla olması, kuruduktan sonra daha kolay çatlama ve kırılma olmasına neden olacağından sinir vurma yay yapımının en kritik safhasıdır. Bu nedenle tutkalın yayın çalışması esnasında

yeterli derecede esnek ve oluşan kuvvetlere dayanabilmesi, aynı zamanda çatlamamasını sağlayacak kıvam ve miktarda uygulanması kritik önem arz etmektedir. Yay kurulduğunda boynuz kısmı sıkışmaya, gerilen dış kısmı ise daha fazla yüke maruz kalmaktadır. Ahşap ve sinir benzer kırılma mukavemetine sahiptir ancak sinir, ahşaptan yaklaşık on kat daha fazla esneyebilir. Ahşabın yarı ağırlığına sahip olduğundan, kütle birimi başına daha fazla enerji depolayabilir (Allely vd 1992).

Çekilen bir yayda, sinirle beraber tutkalın da belirli bir oranda esnemesi, bırakıldıktan sonra da esneklik özelliğini muhafaza etmesi gerekir. Aksi halde malzeme deformasyonu nedeniyle yayların kullanım ömürlerinin çok kısa olması icab ederdi. Sal kısmında sinir gerilmeye karşı çok kabiyetlidir ve gerilmeden önceki elastikiyetini muhafaza eder. % 5-6'lık gerilmede sadece % 10 gibi küçük bir oranda elastikiyet kaybı meydana gelir. Bu nedenle sinirlerin % 10'dan fazla uzama gerilimine maruz kalması sinirin elastikiyetinin azalmasına neden olabilir (Karpowicz, 2008). Muhtemelen eski ustalar yayın kullanılmaya başlamasından itibaren malzemenin az da olsa deforme olduklarını bildiklerinden menzil atışlarında kullanılan yayların sadece birkaç ok atımında maksimum verim alınabildiğini fark etmişlerdi. Odun lifleriyle karşılaştırıldığında, sinir lifleri daha büyük bir gerilme kapasitesine sahiptir. Ayrıca, kuruma esnasında sinirlerin % 4 gibi büzülme özelliği nedeniyle (Allely vd 1992) tutkalın da bu büzülmeye uyum sağlaması gerekir. Özellikle yaya sinir vurulduktan sonra halkaya çekme aşamasında kuruyan tutkal ve büzülen sinir tabakası, ağaç liflerinin de büzülmesini ve yay kollarının kapanarak halka şeklinde birbirine yaklaşmasını sağlar. Bu şekil yayın daha reflex hale gelmesini sağlar. Eğer sinirin büzülme ve tutkalın da uyum sağlama özelliği olmasa bu kadar refleks yaylar elde edilemeyebilirdi.

Hayvansal tutkalların özellikleri, elde edildiği hayvana, yetiştirme koşullarına ve tutkalın yapıma sürecine göre farklılaşmaktadır. Hayvansal tutkallar, jel kuvveti, viskozite, penetrasyon kabiliyeti, jelleşme hızı ve bağ kuvveti gibi yapıştırıcının fiziksel ve mekanik özelliklerini moleküler ağırlığı belirlemektedir. Ancak bu doğal polimerin kimyasal bileşimi kollajen kaynağına ve üretim sırasındaki yöntemlere göre değişir. Memeli jelatinleri deniz kökenlilerden daha yüksek jel mukavemetine sahiptir (Schellmann, 2009). Tutkalın Moleküler ağırlığı, protein çözelti viskozitesini ve jel kuvvetine ve jelleşme sıcaklığını doğrudan etkileyen bir faktördür. Hidrojen ve diğer kimyasal bağlarla protein matrisinin stabilizasyon derecesi, aminoasit bileşimi, hazırlama prosedürleri ve kuruma süresi ile belirlenir. Bu faktörler tutkalın performansı üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir ve mukavemetini, mekanik davranışını, ortam duyarlılığını ve yaşla birlikte stabilitesini önemli ölçüde etkiler (Schellmann, 2007). Jelatin tutkalların kolajenin kimyasal bir türevi olduğu göz önüne alındığında, yapıştığı maddeyle iyi kimyasal yapışma geliştirebildiklerinden genellikle uygun bir tutkal olarak kabul edilebilir. Uzun protein zincirlerine sahip deri ve balık tutkalı gibi jelatin bazlı tutkallar, yüksek jel kuvvetine sahip olduklarından çok güçlü yapışma özelliği gösterirler (Schellmann, 2009).

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 hiçbirine neme, suya, küfe ve çürümeye karşı dirençli değildir (Pizzi ve Mittal, 2003; Schellmann, 2009; Brockmann vd, 2009). Yüksek nem hayvansal



tutkalların yapışma gücünü de etkileyebilir (Bridarolli vd, 2022). Bu nedenle yayın kompozit yapısı, oldukça nemli iklime sahip yerler için uygun değildir (Randall, 2016). Yay yapımında kullanılan tutkallar hayvansal kökenli ve su bazlı olduklarından nem ve sudan kolay etkilenmekte, bu nedenle yayların saklanmaları ve kullanımları ihtimam gerektirmektedir. Yayda kullanılan diğer malzemeler mükemmel olsa dahi, su ve neme maruz kalması durumunda tutkalın fonksiyonunu kaybetmesi yayı kullanılamaz hale getirebilmektedir. Bu özellik kompozit yaylar için bir handikap teşkil etmektedir. Yayın kısa süreli ıslanmasından ziyade muhtemelen uzun süre yağmur altında kullanılması veya bir sudan geçilmesi esnasında aşırı ıslanması sonucu bu tür tutkallarda bozulma görülebilir. Yayın ıslanması veya uzun süre nemli havaya maruz kalması durumunda, sinir nemi emip gerildiğinden performans düşmekte ve yay kırılabilir (Allely vd, 1992). Yaylar ve kirişlerin ıslanması ve kullanılmaz hale gelmesi nedeniyle savaşın kaybedildiği örnekler vardır (Göksu, 2013). Bu mahsurun giderilmesinde, huş ağacının zar şeklindeki kabuğu kullanılmıştır. Yay bu kabukla kaplanarak hava geçirgenliği sağlanıp nem geçişi engellenerek dış etkilere karşı daha dayanıklı hale getirilmiştir (Karpowicz, 2008). Özellikle savaş yaylarının yağmura ve suya karşı korunmasında dış kısımlarının çok ince olan atın sağrı derisiyle kaplanması ve üzerine de bir tür doğal vernik olan gomalak sürülmesi suretiyle su alımının engellenmesi amaçlanmıştır. Bazı yay kirişlerinin deriden (Göksu, 2013) veya hayvan bağırsağından (Mustafa Kani, 1836) yapıldığı bilinmektedir. Bu nedenle kirişin ıslanması deri veya bağırsağın esnemesine neden olacağından kısa sürede kullanılamaz hale gelmesi büyük bir ihtimaldir. Yay ve kirişin ıslanması nedeniyle kullanamama ihtimaline karşı süvarilerin yedek yay ve kiriş taşıdıkları bilinmektedir (Göksu, 2013).

Neme karşı duyarlılık, protein moleküllerini çapraz bağlayan ve onları hidrasyona daha az duyarlı hale getiren; formaldehit, paraformaldehit, heksametilen-tetramin, glioksal ve dialdehit nişastası gibi farklı çözünmeyen maddelerin eklenmesiyle azaltılabilir (Pizzi ve Mittal, 2003). Gliserin, sorbitol, glikoller ve sülfonatlı yağlar gibi suda çözünür plastikleştiriciler ilave edilerek de hayvansal tutkalların film esnekliği artırılabilir (Pizzi ve Mittal, 2003).

Hayvansal tutkalların olumsuz bir diğer özelliği köpüklenme ve hava kabarcıkları oluşturmalarıdır. Bu kabarcıklar yapışmada zayıf noktaları oluşturur (Schellmann, 2007). Özellikle taşın çekilen yüzeylerde köpük oluşumunun engellenmesi yapışmanın daha sağlam olmasını temin eder. Bu nedenle tutkal düşük yoğunluklu sürülerek köpüklenmenin azaltılması ve iğne ucu ile taşın kanalları çizilerek oluşan köpüklerin giderilmesi mümkündür.

Mekanik yapışma kuvveti sağlamanın en iyi yolu soğuduğunda jelleşen bir tutkal üretebilmektir. Hayvansal tutkallar ahşaba sıcak ve viskoz olarak uygulandıklarında, hızla soğuyarak jel mukavemeti geliştirirler. Kurduğunda ahşaptaki gözenekli yapıya nüfuz ederek esnek ve yüksek mukavemetli bağlar oluşturur (Asbell vd, 1993; Pizzi ve Mittal, 2003). Sıcak suda dağılık halde bulunan protein molekülleri soğuduğunda ağ bağlantısı geliştirerek jel yapıyı oluşturur. Jellejme protein moleküllerinin kısmen tekrar şekil değiştirmesi sonucu meydana gelir. Hidrojen bağları sonucu oluşan jelleşme kurduktan 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 yapıştırma daha yoğun tutkal tercih edilmektedir. Klopsteg (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 (Klopsteg, 1987; Schellmann, 2009).

Hayvansal tutkalların istenilen yoğunlukta hazırlanması yay yapımında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu tutkalların en değerli niteliklerinden biri olumsuz etkiler olmaksızın tekrarlanan donma ve çözülme döngülerine haiz olmalarıdır. Sıcak tutulduğunda sıvı kalır, soğumaya bırakılırsa sert bir jöle kıvamına gelir. Bu özellik kompozit yaylarda boynuzu ahşaba yapıştırırken oldukça önemlidir. Yapıştırma işlemi zaman alır ve tutkalın jelleşmemesi için hafif ısıtmak gerekebilir (Allely vd, 1992; Petrie 2007). Hayvansal tutkallar ısıtıldıklarında yumuşarlar (Pizzi ve Mittal, 2003). Yeniden ısıtma ile tekrar sıvılaştırılabilen, soğutulduklarında tekrar sert bir jel oluşturma yeteneği, kolajen bazlı tutkalların benzersiz özelliklerinden biridir (Schellmann, 2007).

Yay formunun düzeltilmesi, yani tımarlaması esnasında yayın ısıtılması tutkal moleküllerini tekrar aktif hale getirir (Karpowicz, 2008). Bu özellik, sinir katmanlarının kaynaştırılmasında, boynuzun ve ahşabın ısıtılarak yumuşatılması ve yayların tımarlanmasında, yay kollarının dengelenmesinde hayvansal tutkalları yay yapımında eşsiz kılan bir özelliktir. Yayın halkadan çıkarılıp asa gezinde açmaya başlamadan önce ısıtma nemini atmasını sağlamaktadır. Her seferinde ısıtılıp sonraki kertiğe çekilmektedir. Bu, ancak tutkalın ısıyla zarar görmediğinde uygulanacak bir yöntemdir (Mustafa Kani, 1836). Yapışmada tutkalın yeterli derecede akışkanlığı da önemlidir (Habenicht, 2009). Bu akışkanlığı sağlamak için yapıştırılacak parçalar ısıtılır (Klopsteg, 1987). Yayların yapımı sırasında yayı ısıya maruz bırakma sık başvurulan bir yöntemdir ki, modern tutkallarda ısınma sonucu oluşacak deformasyonlar bilinmemektedir. Hayvansal tutkalların kurduğunda tekrar kristalize olması birçok kez kullanımlarını mümkün kılmaktadır. Bir diğer üstün özellikleri ise sınırsız raf ömrüne (Allely vd, 1992) sahip olmalarıdır. İyi emdirilmiş tutkal ahşabın kırılma dayanıklılığını azalttığı gibi iyi kalitede bir tutkal kullanıldığında boynuzun da kırılma dayanıklılığını azaltabilmektedir (Klopsteg, 1987).

Hayvansal kökenli malzemelerle imal edilen yaylar az ya da çok nem çeker. Yay neme maruz kaldığında hızla esnekliğini kaybeder ve aşırı nem çürümeyi teşvik eder. Yay kollarını dengelemede esneklik sağlanması ısıtılarak yapılmaktadır. Bu işlem yay kusursuz olana kadar dört-beş kez tekrarlanmaktadır (Klopsteg, 1987). Boynuz ve sinirlerin bu nem çekme özelliğinden dolayı atışlardan önce tımarlanması, güneşte veya tımar sandığı içinde bekletilerek yayın içindeki nemin düşürülmesi gerekir. Bu nem kaybı yaydaki refleksi artırarak daha gevrek hale getirmektedir. Tüm bu tımarlama işlemlerinde, tutkalın sıcaklığı yayın iç kısımlarına iletilebilmesi ve uygulanan sıcaklık değişimlerine uyum sağlaması önemlidir.

Boynuz vurma esnasında sonradan tutkal ilave edebilme imkânı vardır (Karpowicz, 2008). Özellikle sinir vurma aşamasında tutkalın inceltmesi, ahşabın yüzeyinin ısıtılarak tutkalın daha iyi nüfuz etmesinin

sağlanması gerekir. Bu bakımdan hayvan tutkaları istenilen kıvamda hazırlanabildiğinden diğer standart tutkalara göre daha fazla imkân sunmaktadır. Türk yaylarında ince lifler halinde sinir döşenmesi birkaç katman halinde yapılmakta ve sinir uçları birbirlerine bindirmeli olarak yapıştırılarak sinir katmanının devamlılığı sağlanmaktadır. Bu sinir katmanlarının birbirine kaynaşması için, eski katmanın ısıtılınca yumuşama özelliği sinir vurma esnasında kolaylık sağlamakta ve katmanların kuvvetli kaynaşmasını temin etmektedir.

### **6.1. Yay Yapımından Kullanılan Hayvansal Tutkallar**

Hayvansal tutkallar eriyebilir termoplastikler olarak kabul edilen tutkallar içerisinde yer alır. Mısırlılar ve Hititler tarafından mobilya ve arkaik kompozit yaylarda kullanıldığı bilinmektedir (McPherson ve McPherson, 1991). Deriden, kemikten, balık derisi ve hava kesesinden, tendonlardan elde edilebilir fakat tümü yay yapımına uygun değildir. Bu tutkaların jellejme özelliği, yapıldığı hayvana ve iklime göre değişmektedir. Kullanılan tutkalın çok güçlü yapıştırma özelliği ve gerilimlere dayanıklı olması istenir (Karpowicz, 2008). Hayvansal tutkalların üretiminde önemli bir protein olan kolajen, tendonların, bağların, kıkırdakların ve kemiklerin bağ destek dokusunun ana bileşenidir (Brockmann vd, 2009). Kullanılan hammaddelerin türüne göre deri ve kemik olmak üzere iki ana hayvansal tutkal türü vardır. İşlem koşulları farklılık gösterse de her ikisi de kolajenin hidrolizi ile elde edilir. Hayvansal tutkallar için temel üretim prosedürleri genellikle deri tutkalları için alkalın ön işlem, kemik tutkalları için asidik ön işleme içerir. Hayvansal tutkalların; soğurken sert bir jel oluşturma, hızlı, güçlü bir bağ sağlama sıcak sulu bir çözeltiden viskoz yapışkan bir film oluşturma, hazırlama kolaylığı, yüksek yapışkanlık, hızlı yapışma uygulamalarında kullanımı gibi üstün özellikleri bulunmaktadır (Pizzi ve Mittal, 2003).

Memeli hayvanlardan elde edilen jelatinler yaklaşık 30–35°C'ye, soğuk su balıklarının jelatinleri ise yaklaşık 8°C'ye kadar jelleşmeden kalabilmektedir. Ancak, tutkalın hazırlama sıcaklığı önemli ölçüde aşılırsa jelleşme sıcaklığı düşmektedir (Schellmann, 2007). 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. Balık jelatinleri genellikle daha zayıf ve daha kırılmandır. 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 belirlenmiştir (Allely vd, 1992). Ayrıca değişen çevresel koşullarda 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 (isinglass) tutkaların deri tutkalına göre daha esnek özelliğe sahip olduğu, kemik tutkalının deri tutkalından esnek olmasına rağmen daha kırılğan bir özellik gösterdiği bilinmektedir (Schellmann, 2007).

Memelilerden ve ılık su balıklarından elde edilen kollajen ve jelatinler, soğuk su balıklarından elde edilenlere göre genellikle neme karşı daha az hassastır. Bu durum düzenli kollajen yapıların rastgele sarmallar halinde açıldığı sıcaklık farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Memeli kollajeni için (39-40 °C) olan denatürasyon sıcaklığı, çoğu balık türünden elde edilen kollajenlerde 5 °C'den 25–30 °C'ye kadar

değişmektedir (Bridarolli vd, 2022). Soğuk suda tutkal parçacıkları suyu emer ve şişerek jöle benzeri bir yapı oluşturur. Soğutulduktan sonra solüsyonlar elastik bir jele dönüşür. Jelleşme, termal olarak tersine çevrilebilir bir reaksiyondur ve ısı uygulandığında jel tekrar sıvı forma döner. Hayvansal tutkalların yoğunluğu yaklaşık 1.27'dir. Ticari tutkalların pH aralığı 5.5 ila 8.0 arasındadır. Hayvansal tutkallar hidrofilik kolloidlerdir ve sadece suda çözünürler (Pizzi ve Mittal, 2003).

Tablo-1. Hayvansal tutkaların göreceli yapışma özellikleri (Schellmann, 2007).

| Tutkal                                | Mekanik direnç            | Elastikiyet                                     | Değişken nem koşullarında basınç (stress) gelişimi | nispi (stress) kararlılık | Değişken şartlarında çevre         | Yaşlanmayla birlikte çözülme        |
|---------------------------------------|---------------------------|---|--|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Kemik tutkalı                         | Düşük-orta                | Deri tutkalından daha esnek fakat daha kırılğan | orta   |                           | Deri tutkalından daha az stabil    | Deri tutkalından daha fazla çözünür |
| Deri tutkalı                          | Yüksek (yaklaşık 390 bar) | Kemik ve balık tutkalından daha az elastik      | yüksek   |                           | Kemik tutkalından daha stabil      | Genel olarak çözünebilir özellikte  |
| Balık hava kesesi tutkalı (Isinglass) | Yüksek                    | Deri tutkalından daha elastik                   | Çok yüksek   |                           | Memeli jelatinlerinden daha yüksek | Veri yok                            |

### 6.1.1. Deri Tutkalları

Farklı hayvanların derilerindeki kolajen dokularından elde edilmektedir. Daha düşük bir gerilme mukavemeti sahip ve daha kırılğan olan kemik tutkallarından daha fazla yapışma mukavemetine sahiptir. Memeli kollajenleri, balık kollajenindeki moleküller arası stabilize edici bağların azlığı nedeniyle, daha güçlü tutkallar verme eğilimindedir. Deri tutkallarının gerilme mukavemeti yaklaşık 39 megapaskal (inç kare başına 5700 pound, psi) olabilmektedir (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 jelatinlerinin termal ve ultraviyole etkisiyle gerilme mukavemetinin arttığı, ancak değişken bağıl nem ve sıcaklıkta daha sert ve kırılğan hale geldiği belirlenmiştir (Schellmann, 2007).

Sinir ve balık tutkalı karışımı sertleşme süresini geciktirmekte ve daha uzun süre çalışmaya fırsat vermektedir. Deri tutkallarının jelleşme süresi balık tutkallarından daha hızlıdır. Bu nedenle, özellikle sinir vurma esnasında jelleşmenin geciktirilmesi ve sinirin rahatlıkla vurulabilmesi için deri tutkalının içerisine % 10 oranında balık tutkalı karıştırılmaktadır. Balık tutkalı (kurutulmuş balık keselerinden elde edilen tutkal-isinglass) jelleşme süresini uzatır fakat yapışma gücünü zayıflatacağından oranı %10'dan fazla olmamalıdır. Boynuz yapıştırılmasında ise balık tutkalı ilavesi tavsiye edilmemektedir. Balık tutkalları iyi yapılmış deri tutkallarının yapıştırma gücünden yoksundurlar. Bu nedenle Türk yay ustaları balık tutkalı yerine jelleşme süresini uzatmak için sinir tutkalı kullanmışlardır. Hava sıcaklığına göre

jelleşme süresi farklılaşacağından ilave edilecek balık tutkalı miktarı değişiklik gösterebilir (Klopstek, 1934; 1987; McPherson ve McPherson, 1991; Asbell vd, 1993; Karpowicz, 2008). Deri tutkalı nemli veya yağmurlu havalarda yumuşar. Bu mahsuru ortadan kaldırmak için deri tutkalı içerisine tannik asid, formalin, formaldehid eklenmesini tavsiye edilmektedir. Eski kaynaklarda da deri tutkalına % 40 keten tohumu yağı eklendiğinde suya dayanıklı hale geldiği bilgisi yer almaktadır (Allely vd, (1992).

### 6.1.2. Balık Tutkalları (İsinglass)

Farklı türdeki balıkların hava kesesinden elde edilen tutkallardır. Saf beyaz, yarı şeffaf, kuru, sert dokulu ve kokusuzdur. 35 - 50 °C arasında suda bir kalıntı bırakmadan çözünür ve soğutulduğunda neredeyse renksizdir. Esas olarak Hazar ve Karadeniz'de yaşayan birkaç mersin balığı (*Acipenser*) türünden elde edilir (Dawidowsky, 1905). Acar ve Özveri (2007-2008) bu balığın bilimsel adının *Acipenser gueldenstaedtii* olduğunu ileri sürmektedir. Yay yapımında kullanılan balık tutkalının en meşhuru Tuna, Dinyeper ve Volga nehirlerinin denize döküldüğü yerde yaşayan mersin morinası balığının damak derisi veya hava kesesinden imal edilmektedir (Göksu, 2013). Acar ve Özveri (2007-2008) Tuna mersin balığının bilimsel adının *Huso huso*, Klopstek, (1934) ise (*Danube sturgeon*) olduğunu bildirmektedir.

Balık tutkalları güçlü ve esnektir (Allely vd, (1992). Bu tutkalların yavaş jelleşmesi, ıslatma özelliğinin daha iyi olmasını sağlar ve hidrojen bağlarının yapısından dolayı kurduğunda yüzeylere daha iyi yapışma özelliği gösterir. Deri tutkalları kurduğunda ısıya karşı daha dayanıklı olduğundan sıcak iklimlerde deri tutkalı, daha nemli iklimlerde ise balık tutkalı kullanımı daha uygundur (Karpowicz, 2008). Balık tutkallarının düşük ısıda jelleşmeleri yapışkanlık özelliğini geciktirdiğinden, oda sıcaklığında sertleşmeleri daha uzun sürmektedir. Bu bakımdan eşdeğer yoğunluktaki memeli jelatini veya deri tutkallarından daha az yapışkan görünebilir. Eşdeğer yoğunlukta ve sıcaklıkta, deri tutkalından çok daha yüksek bir viskoziteye sahiptir. Yüksek moleküler ağırlığı olmasına rağmen, düşük jelleşme sıcaklığı, tutkalın oda sıcaklığında gözenekli maddelere nüfuz etmesi için daha fazla zaman sağlar ve benzer moleküler ağırlıklı jelatinlere kıyasla daha iyi penetrasyon kabiliyeti gösterir (Schellmann, 2007). Yay yapımında Türkler deri tutkalının içerisine jelleşmeyi geciktirmesi için % 10 oranında balık tutkalı ilave ediyorlardı (McPherson ve McPherson, 1991).

Jelatin filmler yaşlanmaya bağlı olarak şişip akıcı (sürünücü) özellik gösterirken, diğer hayvansal tutkallar daha karardır. Tüm hayvansal tutkallar arasında, Mersin balığı tutkalı yaşlanmaya bağlı olarak, mekanik özelliklerini en iyi şekilde korumakta, diğer jelatin tutkallarından çok daha sert ve elastik kalmakta ve daha düşük boyutsal değişiklik göstermektedir (Schellmann, 2009). Bu özellik yayların çok uzun bir süre kullanımını mümkün kılmaktadır. İyi bir yayın 200 yıl kadar kullanılabilirdiği cihetle kullanılan tutkalın da sağlam olması gerekir.

Kollajenin tutkal olarak kullanılabilen jelatine dönüşmesi için denatürasyon süreci gereklidir. Memeli kolajeni 40-41°C'de denatüre olurken, balık tutkalları ve diğer balık kollajenleri daha düşük sıcaklıklarda denatüre olur. Kollajen bazlı tutkalların hazırlama sıcaklıklarının genellikle 55-63°C civarında olması tavsiye edilir. Balıklardan elde edilen tutkallar, kimyasal yapıları nedeniyle memeli tutkallarına göre

ısıtıldığında daha kolay parçalanır. Bununla birlikte, balık tutkal çözeltisi birkaç dakikadan fazla tutulmadığı sürece 80–90°C yüksek sıcaklıklarda bile jel gücünde çok az kayıp olur. Özellikle soğuk su balık jelatini, sığır kemiği jelatini ile karşılaştırıldığında nispeten düşük gerilme mukavemeti gösterirken, düşük oranda karıştırılmış Mersin balığı tutkalı, deri tutkalına benzer yüksek bir gerilme mukavemeti göstermektedir. Özellikle soğuk su balık jelatinleri, aminoasit türevlerinin küçük oranları nedeniyle sarmal yapıları düzeltme eğilimi daha düşüktür. Bu nedenle 22 MPa (3200 psi) civarında nispeten düşük bir gerilme mukavemeti gösterirler (Schellmann, 2007, 2009). Balık jelatini, erime ve jelleşme sıcaklıkları ve jel gücü gibi özellikleriyle memeli jelatinlerinden farklıdır. Farklılık aminoasit bileşimlerine, özellikle prolin ve hidroksiprolin içeriğinden kaynaklanmaktadır (Norziah vd, 2009).

### **6.1.3. Balık Jelatini**

Balığın derisinden, kemiklerinden veya pullarından elde edilen tutkallardır. Genelde morina balığının derisinden yapılıdır (Petrie, 2007). Ticari olarak jelatinlerin sertlik değeri 50 N/mm<sup>2</sup> ila 300 N/mm<sup>2</sup> arasında değişir (Mariod ve Adam, 2013). Balık derisinden elde edilen tutkallar orta derecede güçlü tutkallardır ancak en zayıf deri veya sinir tutkalına kıyasla daha zayıf ve daha kırılımandır. Eski kaynaklar balık tutkalının hayvan tutkalından daha zayıf ancak daha esnek olduğunu bildirmektedir (Allely vd, 1992). Balık türlerine göre jel kuvvetleri değişmektedir (Alfaro vd, 2014). Kimyasal yapısı gereği balıklardan elde edilen jelatin tutkalların düşük jelleşme sıcaklığından dolayı jelleşmeleri için uzun sürelere ihtiyaç vardır (Schellmann, 2007). Herhangi bir kolajenden türetilmiş yapıştırıcının (saf denatüre kolajen) saflaştırılmış aktif bileşeni olan ticari jelatin, deri veya kemiklerden elde edilebilir (Schellmann, 2007). Daha az miktarda prolin ve hidroksiprolin içerdiklerinden balık jelatininin erime ve jelleşme sıcaklıkları sığır jelatinlerinden daha düşüktür. Bu bakımdan balık derisinden elde edilen tutkallar jelleşmediğinden yay yapımına uygun değildir (Karpowicz, 2008). Balık derisi tutkalları daha iyi ıslanabilirlik için hayvansal tutkallarla karıştırılırlar (Pizzi ve Mittal, 2003).

### **6.1.4. Kemik Tutkalları**

Kemiklerden elde edilen tutkallardır. Suda deri tutkallarından daha fazla çözünürler. Bu tutkallar yüksek inorganik maddeler ve yağ içerdiğinden, 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).

### **6.1.5. Sinir Tutkalı**

Hayvan tendonlarının veya sinir ayıklama esnasında ortaya çıkan kısa sinirlerin kaynatılması ile elde edilmektedir. Gelibolu yakınlarındaki Çağa adlı köyde üretildiğinden Çega veya Çağa tutkalı olarak bilinmektedir (Mustafa kani, 1836). Türk yay ustaları sadece sinir tutkalı kullanarak da yay imal etmişlerdir.

## **7. Yay Yapımında Kullanılan Ağacın Yapısal Özellikleri ve Yapışmaya Etkisi**

“Yayların eskisi makbuldür; meğerki yüz yirmi sene ve daha ziyade yaşamış olup eczası bozulmuş olsun”. İyi ağaçlı yaylar, düzeni yaz kış pek fark etmeyen tez bozulmayanlardır. Hatta iyi ustaların yaptığı yayların 200 sene ve daha ziyade düzenlerini muhafaza ettikleri, tabir yerindeyse “ustası sazi” ile kaldıkları meşhurdur (İrtem, 2005). Ahşabın yayın güç üretimine çok fazla katkısı yoktur fakat yayın daha stabil olmasını sağlar. Yayın iskeletini meydana getirdiğinden yayın cinsine göre kullanılan malzemelerin azaltılıp çoğaltılabileceği fakat ağaç nispetinin azaltılmasının iskeleti zayıflatabileceği ve kırılabileceği endişesi ile doğru bulunmamıştır. Ancak bu halde rutubete dayandığı ve kolayca bozulup gevşemediği belirtilmektedir (Yücel, 2015). Yayın iskeletini oluşturan ve diğer malzemeleri üzerinde tutan ahşap katmanıdır. Bu bakımdan seçilen ahşabın hem üzerine gelen yükleri karşılaması, hem de diğer malzemelerle çok iyi yapışma sağlaması gerekir. Yay yapımında kullanılacak ağaçların taşınması gereken fiziki niteliklere ilaveten, botanik ve mekanik özellikleri de önem taşımaktadır. Ahşabın fiziki kusursuzluğunun yanında boynuz, sinir ve tutkalla mükemmel uyum sağlaması gerekir (Parlak, 2020). 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, tutkalı kolay kabul etmeli ve gerilimlerden zarar görmeden dayanabilmelidir (Karpowicz, 2008). Ahşabın elastik ve esnek olması gerilme ve boşalma esnasında enerji kaybının düşük olması anlamına gelir. Ancak enerjinin çoğu boynuz ve sinirde depolandığından, bu malzemelerin elastik özellikleri ahşabinkinden daha önemlidir (Klopsteg, 1987). Yayda kullanılan ağaç gerilme ve sıkışma kuvvetlerinden daha fazla, boyuna oluşan makaslama kuvvetlerine dayanacak özellikte olmalıdır. Odun yoğunluğu yüksek, çok ağır ağaçlar yay kollarını ağırlaştırdıklarından yayın refleksini azaltırlar. Bu gibi ağaçlar, örneğin kızılcaık, daha çok kabza kısımlarında kullanılır (Karpowicz, 2008).

Yay yapımında farklı ağaçlar kullanılsa da en fazla tercih edilen ağacın ince dokulu akçaağaç (Klopstek, 1934; 1987; Karpowicz, 2008) olduğu anlaşılmaktadır. Arkeolojik bulgular kompozit yay yapımında akçaağacın kullanıldığına dair bilgiyi desteklemektedir (Balogh, 2016). Gündüz vd. (2013) kırık bir yaydan aldıkları ağaç parçasından, kullanılan ağacın ova akçaağacı (*Acer campestre* L.) olduğunu belirlemişlerdir. Bu seçimde, rahat işlenebilme, kolay bükülebilme gibi özelliklerin yanında, tutkalı çok iyi emmesi gibi hususlar da etkili olmuştur. Ayrıca tutkala yatırıldığına büyük bir esneklik kazandığı bildirilmektedir (Klopstek, 1934; İrtem, 2005; Göksu, 2013). En iyi ağaçlar yıllık halkaların rahatlıkla seçildiği gözenekli ağaçlardır. Tatar akçaağacı da Türk yayları yapımında kullanılmıştır (Karpowicz, 2008). En iyi yaylık ağaçların Kastamonu ve Gerede civarında yetişen akçaağaçlardan elde edildiği ve bu akçaağacın tutkalı iyice “içtiği” belirtilmektedir. Laboratuvar testlerinde de akçaağacın tutkalı iyi emdiği ispatlanmıştır (Klopstek, 1934, 1987; Yücel, 2015). Muhtemelen yetişme ortamı koşulları gereği, odun dokusu ve yoğunluğu nedeniyle bu bölgede yetişen ağaçlardan daha iyi yayların imali mümkün olmuştur. Türk yaylarında çekişte soldaki bükülme, yalnızca gerilme kuvvetleri değil aynı zamanda büyük makaslama kuvvetleri ortaya çıkarır. Bu nedenle ahşap ve ahşaba yapıştırılan diğer materyallerin çok dayanıklı olması ve bu malzemelerin hassas bir ustalıkla birleştirilmesiyle dayanıklılık elde edilmiştir

(Klopstek, 1987). Akçaağaç ahşap kısımların ve boynuzun yapıştırılmasında da güçlü yapışma özelliği göstermektedir (Loades, 2016).

Selülozik yapısı nedeniyle ahşap higroskopik bir malzemedir. Değişken nem içeriği nedeniyle boyutsal kararlılık, boyuna kesit yani lif doğrultusu yönünde en yüksek, teğet yönde biraz daha az ve radyal yönde en az düzeydedir. Yapıştırma sırasında, ortalama nem içeriğine yakın bir nem içeriğine sahip olması ahşaptaki iç gerilmeleri minimumda tuttuğundan maksimum yapışma performansı sağlar. Ahşap, boyutsal olarak çok daha kararlı bir malzemeye yapıştırıldığında, (örneğin boynuz) tutkalın da ahşabın boyutsal değişimlerinin meydana getirdiği yüklere dayanacak kadar güçlü olması gerekir (Petrie, 2007; Randall, 2016). Ahşapta hücre duvarlarını oluşturan lignin ve polisakkaritler, ağırlığın % 95-98'ini meydana getirir. Oransal olarak ise polisakkarit/lignin 3/1 oranındadır. Lignin odunun su alımını sınırlandırmakta, odunu çok kompakt yapmakta (sertleştirmekte) ve mekanik dayanıklılığı artırmaktadır (Kumar ve Pizzi, 2019).

Ahşapta yapışma; akış, transfer, penetrasyon, ıslanma ve katılma olmak üzere beş aşamalı olarak gerçekleşir. Ahşap yüzeyin ıslanması ahşap yüzey ile tutkal arasında moleküler temasın optimal durumda olmasıdır. Akış tutkalın odun yüzeyine yayılma özelliği olarak tanımlanır ve tutkalın yüzeyde iyi yayılım özelliği ağaç malzemelerin yapışmasında kritik önemdedir. Bu aşamayı, yüzeyin altına doğru tutkalın nüfuzu takip eder. Tutkalın yüzeyde iyi yayılmasının yanında hücresel düzeyde dokularda yapışma sağlaması, yapışma gücünü ve özellikle mekanik yapışmayı artırmaktadır. Tutkalın dokulara difüzyonu ise büyük ölçüde kimyasal yapısına ve viskositesine bağlıdır. Fakat ahşabın gözenekli yapısı, liflerin uzanış yönü ve yapıştırmak için uygulanan basınç önemli rol oynar. Son aşamada tutkal ısıya maruz kaldığında oluşan üç boyutlu çapraz bağların katılması sonucu yapışma gerçekleşir. Tutkalın porozlu bir yapıya penetre olması güçlü bir yapışma sağlamaktadır. Penetrasyon ise genellikle iki kategoride incelenmektedir. Bunlar; net penetrasyon ve hücre duvarı penetrasyonudur. Net penetrasyon tutkalın odunda boşluklu yapı içerisine girmesi ve lümenleri doldurması olarak tanımlanmaktadır. Hücre duvarı penetrasyonunda ise tutkal odunun hücre duvarlarına girmektedir (Lucas vd., 2012; Kumar ve Pizzi, 2019).

Islatma terimi, katı bir yüzey üzerine yayılan ve yüzeye yakından temas eden bir sıvıyı ifade eder. İyi bir ıslanma; yapıştırıcı ve yapıştırılan arasında daha fazla temas alanı olmasıdır (Petrie, 2006). Yetersiz ıslatma tutkalın yayılmasını engellediğinden yapışmanın zayıf kalmasına neden olmaktadır. Ahşap yüzeyin ıslanma özelliği basit bir testle belirlenebilir. Ahşabın ilkbahar odununda düz, çatlak ve yarık olmayan yerine bir damla su damlatılır. Eğer yüzey su damlasını 20 saniye içinde emerse iyi ıslanabilir ve penetre olabilir özelliktedir. Fakat emilmez, dağılır ve 40 saniye sonra yüzeyde kalırsa iyi ıslanabilir özellikte fakat penetrasyon özelliği zayıftır. Eğer 40 saniye sonra su damlası olduğu gibi kaldıysa düşük ıslatma ve düşük penetrasyon özelliklerinden dolayı yapıştırmada sorunlar olacaktır. Islatma özelliklerinin iyi olması yanında, ağaçtaki kapilar boşluklara akabilmesi için tutkal yeterli akıcılıkta olmalıdır (Frihart ve Hunt, 2011).



Kesim yüzeylerinin temiz yapılması hücre duvarlarının düzgün kesilmesini sağladığından daha iyi bir yapışma yüzeyi oluşur. Planyalanmış olsa bile ahşap yüzeyler asla tamamen düz değildir ve tutkalların belirli oranda boşluk doldurma özelliklerine sahip olması gerekir. Hayvansal tutkalarda yapışma yüzeyinde oluşan tutkal filmi ahşap gibi değişken ortam nemi ile genişleyen ve büzüşen malzemelerin yapıştırılmasında elastik bir yapışma hattı meydana getirir (Brockmann vd, 2009). Bu özellik, Türk yaylarının yapımında, boynuz ve sinir tabakalarının ahşaba çok sağlam şekilde yapışmasını ve yayın kullanımını esnasında oluşan gerilme kuvvetlerine dayanmasını sağladığı için tutkalın eşsiz bir özelliğidir.

Yapısal özellikleri ağaca benzersiz bir özellik kazandırır. Ağaç gözenekli yapıya, geçirgen, higroskopik özelliklere sahip, mekanik ve termal özellikler bakımından her yöne farklılık gösteren ortotropik bir malzemedir (Bergman, 2011). Oldukça gözenekli selülozik yapıdan oluştuğundan, farklı eksenlerde ölçüldüğünde farklı özelliklere sahip anizotropik özellik gösterir (Brockmann vd, 2009). Ahşap kimyasal ve fiziksel olarak karmaşık bir yapıya sahiptir. Aynı ağaç üzerinde bile mekanik ve kimyasal özellikler farklılık gösterebilir ve bu farklılıklar yapıştırma performansını etkiler (Kumar ve Pizzi, 2019). Örneğin aynı tür ahşapta dahi olsa ilkbahar ve yaz odunlarının yoğunluğu farklıdır. Bu yoğunluk yapışma özelliklerini etkiler. İlkbahar odunu daha geniş gözenekli olduğundan tutkal daha iyi nüfuz eder ve daha iyi yapışma özellikleri gösterir (Brockmann vd, 2009). Ilıman iklimlerde ağacın büyümesinde yıllık halkalar meydana gelir. Genel itibarıyla ilkbahar odunu daha fazla iç boşluğa sahip, daha açık renkli ve daha düşük yoğunluktadır. Yaz odunu ise daha kalın hücre duvarlarına sahip ve daha yoğundur. Bu iki katmandaki yoğunluk farkı, ahşabın sertlik ve mukavemeti de değiştirir. Bu katmanların pozisyonu dikkate alındığında, makroskopik ölçekte de ortotropik (mekanik ve termal özellikler bakımından her yöne farklılık gösteren) bir malzeme ortaya çıkar. Tüm bu özellikler malzemenin yapışmasını ve dayanıklılığını etkiler (Brockmann vd, 2009; Lucas vd., 2012). İlkbahar ve yaz odunları arasındaki gözenek ve yoğunluk farkları yapışmada zorluklara neden olur. İlkbahar odununun asıl işlevi su ve mineral tuzları iletmek iken, yaz odununun işlevi gövdeyi mekanik olarak sağlamlaştırmaktır. İlkbahar odunu traheidleri daha büyük daha ince çeperlidir. Yaz odunu traheidleri ise daha ince çaplı ve kalın çeperli olduğundan gerilime daha dayanıklıdır. Yapıştırma esnasında uygulanan basınç ile tutkal, traheidler gibi büyük boşluklu yapılara doğru ilerler ve sağlam bir yapışma meydana gelir (Brockmann vd, 2009; Bergman, 2011; Kumar ve Pizzi, 2019). İlkbahar odunu daha büyük gözenekli yapıya ve dolayısıyla pürüzlülüğe sahip olduğundan yaz odununa göre daha kolay ıslanır.

Ahşabın yapıştırılmasında önemli olan bir husus da gövde merkezinden dış kısımlara doğru ahşap özelliklerinin değişmesidir. Ağacın merkezinde ölü odun, kabuğa yakın dış kısımlarında ise canlı odun dokusu bulunur (Brockmann vd, 2009). Ölü odun, hücrelerdeki ekstraktiflerin fazlalılığı nedeniyle canlı oduna göre daha az ıslanabilirlik özelliğine sahiptir (Kumar ve Pizzi, 2019). Yapıştırılan bir yüzeyin pürüzlülük faktörü ve gözenekliliği bu açıdan oldukça olumlu bir faktör olabilir. Ahşabın ve boynuzun ısıtılması tutkalı daha iyi emmesini temin etmektedir. Isıtma ile aynı anda yapıştırma hattına basınç uygulanmasının daha iyi yapıştırıcı akışı sağlaması, yani yapıştırılan yüzeyin ıslanmasını sağlamaktadır (Mustafa Kani, 1836; Norziah vd, 2009). Ağacın dokusunda bulunan bu mikro boşluklara tutkalın girmesi mikroskopik düzeyde penetrasyon denir. Mikro penetrasyonu etkileyen, odun yüzeyinin sertliği ve nem

muhtevası, tutkal uygulama tekniği, yüzey gerilimi, yüzey enerjisi, odun dokusu, permabilite, porozluk (gözeneklilik), sertlik, sıcaklık, basınç ve zaman gibi faktörlerdir (Kumar ve Pizzi, 2019). Basınç uygulama, tutkalın ıslatma özleliğini, yüzeye yayılmasını ve hava kabarcığı kalmadan ahşap yüzeye penetre olmasını sağlar (Frihart ve Hunt, 2011). Ahşabın yapışma ve yapıştırma performansı ile ilişkili en önemli özellikleri, gözenekli yapısı, yüzeyinin pürüzlülüğü, kimyasal bileşimi ve hidroskopik yapısıdır. Ayrıca tutkalın nüfuz etme modeli, ahşaptaki yapışkan bağların performansını doğrudan etkiler (Wilkinson ve Ordonez, 2011). Odun dokusunun gözenekli yapısı, tutkalın bu kısımlara girerek mekanik olarak da yapışmanın gerçekleşmesini sağlar. Tutkal yaklaşık 6-10 hücre çapı (yaklaşık 100 mikron) kadar odun dokusuna işler ve bu sayede çok daha sağlam bir mekanik yapışma elde edilir (Kumar ve Pizzi, 2019).

Yapısal olarak gövde boyunca uzanan uzun ve dar hücre yapılarından oluşan form odunun karakteristik özelliğidir. Ahşabın mekanik karakteristikleri büyük ölçüde lif yönüne bağlıdır. Özellikle, ilkbahar ve yaz odunları arasındaki kırılma direnci nispeten daha düşüktür. Boyuna uzanan bu lifler sert odunlarda hücre hacminin % 70-90'ını oluşturur. Ahşabın liflere paralel, yani lif doğrultusundaki gerilme mukavemeti liflere dik yönden yaklaşık on kat daha fazladır (Brockmann vd, 2009; Lucas vd., 2012).

Permabilite ve yüzey enerjisi, tutkalın ahşaba penetrasyonunu sağlayan ahşapla ilişkili iki husustur. Ahşabın tutkalı geçirgenliği (permabilite) ağaç türüne ve kesim yönüne (teğet, boyuna ve radyal) göre değişmektedir. Boyuna kesimlerde geçirgenlik enine kesitteki geçirgenlikten 104 kat fazla olabilmektedir. Ahşap yüzeyin aşırı geçirgen olması ve yapışma yüzeyinde tutkal kalmaması sonucunda da yapışma iyi olmayabilir. Bu nedenle enine kesitlerde yapışma güç olmaktadır (Kumar ve Pizzi, 2019). Ahşabın kesim yönü de yapıştırmada önemli rol oynar. Tutkal hücreye dik uygulandığında daha az nüfuz eder. Fakat hücre lümenlerine penetrasyona imkan verecek, liflere paralel şekilde kesildiğinde daha fazla bağlanma yüzeyi oluşturduğundan daha iyi bir yapışma sağlanır (Lucas vd., 2012). Yay yapımında kesimler liflere dik değil paralel yapılmaktadır. Kesimin bu yönde yapılmasının nedeni yay kolunun bükülmesi esnasında kırılmaması içindir. Bu kesim şeklinde yapışma, yüzeylerinin liflere paralel olması nedeniyle tutkal lümenler içerisine daha az penetre olmakta ve daha zayıf hücrel yapışma meydana gelmektedir. Bu nedenle ağacın ve boynuzun yapışma yüzeyinin genişletilmesi ve daha fazla yapışma alanı elde edilmesi için her iki yüzeye tam çakışma sağlayacak şekilde “taşın” denilen derzlendirme işlemi uygulanmaktadır. Ahşap yüzeyin temiz olması tutkalın iyi dağılmasını ve güçlü yapışmasını sağlar. Bu nedenle taşın çekilen yüzeylerin pürüzsüz olması çok önemlidir. Ayrıca taşın çekildikten sonra yapıştırma için belli süre geçmesi, yüzeylerin eskimesine ve oksidasyona sebep olacağından daha düşük güçte bir yapışmaya neden olabilir. Bu nedenle yapıştırmadan önce yüzeylerin hafif taşın çekilerek tekrar tazelenmesi veya alkolle silinmesi gerekir (Petrie, 2007). Taşın çekmenin amacı daha fazla yapışma yüzeyi sağlamak ve yapışan parçaların kaymasını önlemektir. İyi bir bağlantı için yüzeylerin tam oturması gerekir (Klopstek, 1987). Yay gerildiğinde enine kesiti azaltma eğilimi vardır. Bu nedenle, tutkal sinirleri bir arada tutmaktan ziyade ahşap zemine yapıştırma açısından daha önemlidir. Hayvansal tutkallar, sinir vurma bittiğinde son derece homojen bir tabaka haline gelir ve bu özellikleri neredeyse benzersizdir. Bu yüksek kaliteli hayvansal tutkallar, inç kare başına çoğu ahşabın makaslama mukavemetinin üç ila dört katı bir

mukavemet olan 4535 ila 5443 kg'a karşılık gelen bir yapışma mukavemeti oluşturur. Eğer taşın kanalları iyi oturtulup yapıştırıldıysa, kopmalar tutkaldan değil ahşap veya boynuzdan meydana gelir (Klopsteg, 1987).

Yay kolları büküldükten sonra rutubetsiz bir yerde yahut sıcak bir odada en az bir sene kurutulur (Klopsteg, 1987). Bükümden sonra ağaçlar ne kadar bekletilirse o kadar iyidir denmektedir (İrtem, 2005). Yay yapım aşamalarının belli mevsimlere has kılınması (Yücel, 2015) muhtemelen sinir, ahşap ve tutkalın kuruma ve yapışma özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

## **8. Ahşabın Kimyasal Yapısı ve Yapışmaya Etkisi**

Hücre içindeki kimyasallar yapışmayı etkilemektedir (Bergman, 2011; Kumar ve Pizzi, 2019). Ağaçta iki odun dokusu bulunmaktadır. Bunlardan biri biyokimyasal maddeleri sentezleyen canlı odun dokusu, diğeri ise ölü odun dokusudur. Dokularda biriken başlıca maddeler, kimyasal bileşikler ve nişastadır. Ölü odun dokusunda biriken bu kimyasallara ekstraktifler adı verilmekte ve odunu koruyucu işlevleri bulunmaktadır. Bu maddeler hücre duvarı polimerleri değil, hücre duvarındaki lümenlerde bulunan organik veya mineral maddelerdir. Ağacın yapısında bulunan doğal ekstraktifler; reçine, yağlar, yağ asitleri, alkollü yağlar, fenoller, terpenler, steroidler, reçine asitleri, mumlar ve diğer birçok küçük moleküllü organik bileşiklerdir (Rowell, 2005). Ekstraktifler genellikle ahşabın kuru ağırlığının %5'ini oluşturur. Fakat bazı türlerde veya ağacın belirli yerlerinde bu oran %30'dan fazla olabilmektedir. Bu ekstraktifler odunun yapışmasında da etkili olmaktadır. Ekstraktifler ahşabın yapışmasını azaltan önemli yüzey kirleticileridir. Bu maddeler nedeniyle tutkalların yapıştırma özelliklerinde istenmeyen ve öngörülemeyen etkileri ortaya çıkabilir. Bu kimyasallar okside olduklarında ölü odun dokusu daha koyu renk almakta, canlı ve ölü odun sınırı daha belirgin hale gelmektedir (Kumar ve Pizzi, 2019).

Bazı ağaçlardaki ekstraktif maddeler suyun buharlaşmasıyla birlikte yüzeyde birikerek yüzey kimyasını değiştirir ve yapışmanın zayıf olmasına neden olur (Frihart ve Hunt, 2011). Yüzeyin ıslanabilirliğini, tutkal penetrasyonunu azaltarak ve geciktirerek yapışmayı etkiler (Olive, 1981). Fırında kurutma sırasında da ekstraktifler ahşabın içinden yüzeyine doğru taşınabilir. Yüzeydeki bu birikim, hücre duvarı geçirgenliğini, yüzeyin polaritesi, ıslanabilirlik gibi yüzey özelliklerini değiştirerek tutkalın ahşaba nüfuzunda bariyer işlevi görebilir ve mekanik yapışmayı zayıflatır. Ekstraktif maddeler ve yapıştırıcılar arasındaki kimyasal uyumsuzluk sadece yapıştırıcının normal akışını ve yayılmasını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda yapıştırıcıların sertleşme özelliklerinin de kimyasal olarak etkileyebilir. Hücre içinde ekstraktif birikimi de hücredeki mekanik yapışmayı engeller. Hafif bir kazıma yaparak ekstraktiflerin giderilmesi mümkündür. Ekstraktif maddeler kimyasal olarak ise sodyum hidroksit, solventler, alkol-benzen, metanol-benzene, alkol gibi uygun çözücüler kullanılarak veya sıcak su ekstraksiyonu ile uzaklaştırıldığında yüzeyi yeniden aktif hale getirerek ıslanabilirliğini tekrar kazanabilir ve tutkalın yapışmasını iyileştirebilir. (Kumar ve Pizzi, 2019). Ahşapların bükülmeden önce uzun süre suda ıslanması ve bu esnada alg oluşmaması için suya karıştırılan alkol odun dokusundan ekstraktiflerin bir kısmının çıkmasını sağlayabilir.

Yay yapımında kullanılan akçaağacın tarifinde iki bilek kalınlığındaki sürgünlerin bir arşın yükseklikten kesilip ikiye yarılarak büküldüğünden söz edilmektedir (Mustafa Kani, 1836). Ağaçlar genç yaşlarında diri odun dokularına sahiptir ve ağaç türüne göre değişmekle birlikte belirli bir yaştan sonra ölü odun dokusu oluşmaya başlar. Diri odunlarda hücre duvarları ince ve hücre içleri henüz mineral veya ekstraktif maddelerle dolmadığından, kurutulduklarında hücre içerisindeki su buharlaşır ve hücre çeperleri oransal olarak daha geniştir. Tutkal birkaç hücre boyu mekanik olarak tutunduğundan muhtemelen bu ağaçların kullanılması sonucu daha sağlam bir yapışma elde edilmektedir.

### **9. Ahşabın Nem İçeriği ve Yapışmaya Etkisi**

Yay kullanılmadan önce tutkal tam olarak kurutulmuş olmalıdır. Aksi halde streslere karşı dayanıklı değildir (Karpowicz, 2008). Ahşabın nem içeriği özellikle su bazlı tutkaların yapışma performansını etkiler. Fazla nem tutkal yoğunluğunu azaltarak yapışma performansını düşürür. Odun, kimyasal yapısına ve ekstraktiflere göre % 25-30 nem ihtiva edebilir. Ahşap doğal ortamda kurutulduğunda, %6-15'lik bir denge nem içeriğine sahiptir. Eğer odun aşırı kurutulursa sertleşir ve daha kırılğan hale gelir. Kurduğunda her yönden, fakat en fazla teğetsel yönde, % 6-12 arasında büzülme gösterir. Bu boyutsal değişiklikler de yapışma performansını etkiler. En iyi tutkal performansı, nem içeriğinin % 6-14 arasında olduğunda meydana gelir. Su bazlı tutkallar nem muhtevası % 6 nın altına düştüğünde “kuru” materyal gibi davranırlar. Ahşap, tutkalın suyunu hızlı bir şekilde emer ve akışkanlığı azalan tutkal, basınç uygulansa bile ahşaba nüfuzu azalır. Ahşabın nemi % 3 ün altına düştüğünde ise ıslanmaya karşı sürekli bir direnç kazanır (Brockmann vd, 2009; Frihart ve Hunt, 2011). Bu bakımdan yay yapımında fırın kurusu ahşap kullanımından sakınmalıdır.

Ahşap kesitin radyal simetrisi ve selüloz liflerinin boyuna yönde olması, mekanik ve yapışma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle denge nem içeriğine bağlı olan genleşme ve büzülme davranışı, ahşapla veya diğer malzemelerle yapıştırırken dikkate alınmalıdır. Bu genleşme ve büzülme kesim yönüne bağlı olarak farklılık arzeder. Genel bir kural olarak, şişme, liflerin yönü boyunca, life radyal olarak (öz ışınları yönünde) ve life teğet olarak (yıllık halkalar yönünde sırasıyla 1:10:20 oranında meydana gelmektedir (Brockmann vd, 2009). Bu genleşme ve büzülme özelliklerinden dolayı ahşap ile diğer malzemeler, özellikle boynuz ve sinir tabakasının sağlam yapışması için denge nem içeriğine kavuşması gerekir. Bükme için uzun süre su içerisinde bekletilen ve kaynatılan ahşap yay kolları, tekrar denge nem içeriğine ulaşması ve hava kurusu hale gelinceye kadar uzun bir süre bekletilmelidir. Çalışması azalacağından eski yay ustalarının ağacı uzun süre bekletmeleri, bu suretle daha iyi yay yapılması bu hususa bağlı olabilir. Yay yapıldıktan sonra da, ağacın bulunduğu ortamdan nem alıp vermesi devam edeceğinden, kullanılan tutkalın da bu nem değişiminden bozulmaması ve elastikiyet bakımından da uyumlu olması gerekir ki hayvansal tutkallar bu hususta çok iyidir.

### **10. Ahşap Yoğunluğu ve Yapışma**

Tutkalın oduna nüfuzundaki bir diğer önemli faktör de türe göre değişen ahşap yoğunluğudur. Özgül kütle ahşabın mekanik özelliklerini etkiler. Yoğunluk arttıkça mukavemet de artar. Ahşapta yoğunluk,

kalın duvarlı ve az boşluklu hücrelerin oranıyla ilgilidir. Ayrıca sert ağaçlarda yoğunluk sadece lif çeperlerinin kalınlığına değil, iletim demetlerinin ve paransima hücre boşluklarının dordurulmasına da bağlıdır (Bergmann, 2011). Ağaç malzemenin yoğunluğu arttıkça elastikiyet modülü de artmaktadır (Büyüksarı, 2006). Fakat yay yapımında ahşap yoğunluğu tek kriter değildir. Bunun yanında eğilme direnci ve elastikiyet modülü gibi mekanik özelliklerinin de çok iyi olması gerekir (Parlak, 2020). Sürekli yük altında ağaç malzemenin eğilme direnci % 50- 75 oranında düşmektedir (Usta, 2016). Bu bakımdan 200 yıl kadar kullanılan iyi bir yayda (İrtem, 2005) kullanılan ahşabın sürekli yüklenme halinde bile eğilme direncinin düşmemesi beklenir.

Artan yoğunluk, denge nem içeriğinin azalmasına ve hidrotermal modifikasyona, ahşapta boyutsal kararlılığın ve biyolojik dayanıklılığın artmasını sağlar. Ahşap malzemenin mukavemeti ve sertliği, yoğunlukla orantılı olarak artmaktadır (Wilkinson ve Ordonez, 2011). Yüksek yoğunluklu ahşaplar, genellikle düşük yoğunluklu ahşaplardan daha güçlüdür. Belirli nem ortamında yüksek yoğunluklu ahşap, düşük yoğunluklu ahşaptan daha fazla genişir ve büzülür. Bunun sonucunda, yüksek yoğunluklu ahşabın derzlerindeki iç gerilmeler, genişleme ve büzülmeden kaynaklanan etkiler düşük yoğunluklu ahşaba göre daha fazla olacaktır. Yüksek yoğunluklu ahşabın yapışması birkaç nedenden daha zordur. Yapışma odunun yoğunluğu, gözenekliliği, nem muhtevası, esnekliği ve genişleme-büzülme özelliklerine göre değişmektedir. Odun yoğunluğu yapıştırmayı etkilediğinden yüksek yoğunluklu ahşaplar yapıştırılırken daha kaliteli yapışma sağlanmalıdır. Bu bakımdan kullanılan tutkalların ahşabın kendisi kadar sağlam veya ondan daha güçlü yapışma özelliği olmalıdır (Petrie 2007; Frihart ve Hunt, 2011).

Tutkalın, yoğunluğu yüksek ahşaba nüfuz etmesi daha güç olduğundan basınç uygulansa dahi zayıf yapışma gerçekleşir. Tutkal ahşabın boşluklarını tam doldurmadığından, kalın tutkallı kısımlarda yapışma zayıf gerçekleşir. Aynı odun içinde yoğunluğu farklı alanların bulunması yapışma kuvvetinin farklı olmasına neden olur. Anatomik pürüzlülük, gözeneklilik ve mikro çatlaklar gibi ahşap yüzeyin fiziksel özellikleri de yapışmayı etkiler (Olive, 1981). Odun yoğunluğu ve anatomisi tutkalın birkaç hücre boyu penetre olmasını sağlayan poroziteyi ve dolayısıyla yapışma performansını etkilemektedir. Porozlu yapılarda tutkalın nüfuz etmesi yapışma kuvvetini artırmaktadır. İlkbahar ve yaz odunlarının yoğunlukları da farklılık göstermektedir. Yüksek yoğunluklu ahşapta hücre duvarları kalın ve lümenleri küçüktür. Fakat düşük yoğunluklu odunda ise hücre duvarları ince ve büyük lümenlidir. Bu bakımdan yüksek yoğunluklu ahşaplar birim kütlelerinde daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir (Frihart ve Hunt, 2011). Yoğunluğu  $650-950 \text{ kg/m}^3$  bir ahşabın maksimum yapışma kuvvetine ulaşıldığına dair tespitler vardır (Adams ve Wake 1986). Yapışma genellikle  $700-800 \text{ kg/m}^3$  odun yoğunluğuna kadar artış gösterirken, bu yoğunluğun üzerinde yapışma kuvveti azalmaktadır. Sert akça ağaçlarda tatminkâr düzeyde yapışma gerçekleşirken, yumuşak dokulu akça ağaçlarda ise iyi derecede yapışma meydana gelmektedir. Bu tür ağaçlarda iyi yapışma sağlanması için özel yüzey işlemesi yapılmalıdır (Frihart ve Hunt, 2011). Özgül kütlelerin yüksek olması, mekanik özelliklerini biraz iyileştiren sakız, reçine ve ekstraktiflerin varlığının göstergesidir (Bergmann, 2011). Bunlar hücre duvarlarında bulunan organik veya mineral maddelerdir. Özellikle suda çözünebilir ekstraktifler ahşabın kuruması esnasında buharlaşmayla yüzeye çıkarak bir tabaka oluştururlar. Bu ekstraktifler genellikle yüksek yoğunluklu ağaçlarda bulunur ve tutkal üzerinde

farklı etkiler göstererek yapışma performansını azaltır veya engeller (Rowell, 2005; Kumar ve Pizzi, 2019).

### **11. Tutkal Yoğunluğu, Basınç Uygulama ve Yapışma**

Viskozite akışkanlığı ifade eden bir kavramdır. Yapışmada tutkalın vizkositesi önemli bir kriterdir ve sıvının nüfuzunu etkilediğinden tutkal seçimi önemli bir faktördür. Aynı mukavemet ve uzama oranına sahip iki tutkaldan, daha yüksek yoğunluklu olan daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir (Petrie, 2007). Viskozite çok düşükse, tutkal alt tabakaya daha fazla nüfuz edebilir. Tutkal fazla sulandırıldığında yeterli bağlanma oluşturmadığından zayıf bir yapışma gerçekleşir. Ayrıca aşırı seyreltilmiş tutkal suya duyarlı malzemede alt tabakanın şişmesine, akmasına veya lekelenmesine neden olabilir. Bu gibi durumlarda, daha düşük jel kuvvetine sahip bir tutkal tercih edilmelidir (Schellmann, 2007). Yüksek viskozitedeki tutkallar akarak boşluk kalmasına, tutkal açlığına ve temas yüzeyinin azalması suretiyle zayıf yapışmaya neden olur (Petrie, 2007). Çok kalın tutkalda ise 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 daha kırılğan hale gelir (Frihart ve Hunt, 2011). Gözenekli malzemelerin yapıştırılmasında ise yüksek viskozite, tutkalın yeterli nüfuzunu önleyebilir ve yapışan ve yapışmayan yüzeyler arasında stres gelişmesine neden olabilir (Schellmann, 2007).

Hayvansal tutkalların istenilen viskozitede hazırlanması Türk yayları yapımında aranılan bir özelliktir. Tutkalın ahşabın özısını ve trahelerine nüfuz etmesi için 8-10 kat seyreltik yoğunlukta hazırlanması, gözenekli kısımlarına kolayca nüfuzunu ve iyi bir mekanik yapışmayı sağlamaktadır. Bu uygulama, yapışma yüzeyinde hava kabarcığı oluşmasını da engellemektedir. Düşük yoğunlukta ahşap iyice doyurulduktan sonra hem esnekliği artmakta hem de daha sonra ısıtılarak son yapıştırma esnasında üzerine koyu kıvamlı sürülen tutkalla kaynaştırılarak çok sağlam bir yapışma elde edilmektedir. Yay yapımında sinir katmanlarının vurulmasının zaman alması da bir diğer handikaptır. Bu aşamada hayvansal tutkalların ısıtılarak, tekrar kıvam verilmesi suretiyle sinir tabakaları arasındaki tam yapışma ve kaynaşma sağlanabilmektedir. Yapıştırma için genellikle %25 ile % 55 oranları verilse de (Pizzi ve Mittal, 2003) yay yapımında kullanılan en koyu tutkal oranı % 30-35 dir. Çözünmeyen maddelerden sonra yoğunluk % 30 civarına inmektedir (Karpowicz, 2008).

Yapıştırılan yüzeylerdeki tutkal kalınlığı yüksek mukavemet gerektiren durumlarda önemli bir parametre olabilir. En yüksek çekme ve makaslama mukavemeti, tutkal film kalınlığı minimum olduğunda elde edilir. Karpowicz, (2008)'e göre tutkal boynuz kadar esnek olduğundan yapışma hattının ince olması gerilmelerde boynuz gibi davranmasını sağlamaktadır. Optimum kalınlık kullanılan tutkal tipine bağlıdır. Optimum mukavemet ise genellikle tutkal kalınlığı 0.05 mm ile 0.15 mm arasında olduğunda elde edilir. 0.15 mm'nin üzerindeki tutkal kalınlıklarında, gerilim dağılımı eşit olmayacağından tutkal hattında ayrılmalar olabilecektir. 0.025 mm'nin altındaki tutkal kalınlığında, alt tabakaların düzgünlüğüne ve boşluk toleransına bağlı olarak yapışma mukavemeti genellikle azalır (Petrie, 2007; Dillard, 2010).

Yetersiz tutkal kullanma, çok ince bir yapışma kalınlığına, dolayısıyla yetersiz yapışmaya neden olabilir. Maksimum soyulma ve yarıma mukavemeti için elastik tutkallar seçilmelidir. Bunun nedeni, daha büyük bir yapışma alanı üzerinde oluşan stresin elastik dağılımıdır (Petrie, 2007). Soyulma veya yarıma gibi dış yüklemeler, termal genişleme farklılıkları veya büzülme gibi iç stres nedeniyle yüksek gerilimli düzensiz dağılımlar bekleniyorsa, sert fakat esnek yapıştırıcılar genellikle daha kırılğan olanlardan daha iyi yapışma performansı gösterir. Ayrıca esnek tutkallar daha düzgün stres dağılımı sağlar. Yüksek elastikiyetli tutkaların yorulma ömrü, daha kırılğan olanlardan çok daha fazladır. Bunun nedeni, hem düzgün stres dağılımı hem de daha esnek tutkallarla yüksek dahili enerji sönümlemesidir. Çatlağın yayılma hassasiyeti ve yorulma ömrü genellikle kırılğan tutkallarda daha düşüktür (Petrie, 2007). Bu bakımdan yay yapımında esnek deri tutkalları kullanılmakta ve sadece jelleşmeyi geciktirip çalışma süresini uzatmak için belirli oranda balık veya sinir tutkalı ilave edilmektedir. Boynuz ve ahşabın mükemmel şekilde yapışabilmesi için yapışma yüzeylerine açılan taşın oluklarının tam çakışması ve sürülen tutkalın belirli bir kıvamda olması, akma yapmaması ve aynı zamanda taşın oluklarını hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurabilmesi gerekir. Tutkalın at kuyruğundan yapılma sert fırça ile sürülmesi muhtemelen taşın oluklarının dip kısmına kadar tutkalın ulaşmasını ve hava kabarcığı kalmasını önlediğinden tercih edilmektedir.

Tutkal yapışma hattına uygulanan basınç yapışmayı olumlu veya olumsuz etkilemektedir. Uygulanan basınç çok yüksek ise yapışma hattındaki tutkalı azaltacağından yeterli yapışma sağlanamaz. Düşük yoğunluklu ahşaplarda 7 bar (0.7 Megapaskal-Mpa) basınç uygulaması iyi bir yapışma için yeterlidir. 17 bardan (1.7 Mpa) yüksek basınç, yoğunluğu daha fazla olan ahşaplara uygulanmalıdır. Uygulanan basınç yüzey işleme özelliklerine göre de değişiklik gösterebilir. Yapışma hattının ince olması özellikle nem kaybından meydana gelen boyutsal değişikliklere karşı oluşacak stresleri yeterince transfer edemez. En güçlü yapışma “genellikle” tutkal hattının 0.05 mm-0.15 mm kalınlığında olduğunda gerçekleşir (Frihart ve Hunt, 2011). Fakat Klopsteg (1987)’e göre boynuz ve ahşabın yapıştırılmasında tutkal hattı kalınlığı 0.05 mm’den daha fazla olmamalıdır. 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. Dolayısıyla tutkal kalınlığının minimuma indirilmesi ve ince yapışma hattını oluşturabilmesi için yeterli derecede basınç uygulamak gerekecektir. Türk yay ustaları bu basıncı “tençik” denilen ve kaldırıp prensibi ile ipi yaya sıkı bir şekilde sarmaya yarayan bir alet kullanarak sağlamıştır. Bu sayede hem daha homojen hem de daha fazla sıkma basıncı elde edilebilmiştir. Tutkala uygulanan basıncın az ya da fazla olması da yapışmayı etkilemektedir. Yayda özellikle boynuzun delaminasyonunu engellemek için tutkalın yeterli kıvamda ve yapışma hattının uygun kalınlıkta olması önemlidir. Ahşap tutkalı kolay kabul etmektedir. Fakat boynuz daha yoğun ve yüzeyinde tutkalın nüfuz etmesini sağlayacak gözenekli yapı yoktur (Asbell vd, 1993). Boynuz ve ahşaba taşın çekilmesi, her iki malzemenin yüzey alanını iki katına çıkararak (Knecht, 1997) daha kuvvetli yapışma sağlamaktadır. Yüzeylerin mükemmel eşleşmesi daha az basınca ihtiyaç duymakta ve yapışma daha güçlü olmaktadır (Allely vd, 1992). Klopsteg (1987) boynuz ve ahşaptaki taşın kanallarının tam oturması halinde uygulanan basıncın yaklaşık 57kg/inç<sup>2</sup> ‘den fazla olmasına gerek olmadığını belirtmektedir. Allely vd.

(1992) ise boynuz ve kabza yapıştırma yaklaşık 50 kg/inç<sup>2</sup> basınç uygulamasını yeterli görmekte ve ortalama 12 saat süreyle basınç gerektiğini vurgulamaktadır. Tam yapışmanın sağlanması için altı gün süresince basıncın azaltılmaması gerekir (Pizzi ve Mittal, 2003). Türk yay ustaları yayda meydana gelebilecek delaminasyonu engellemek amacıyla yapışma yüzeylerini genişletmek için hem boynuz hem de sinir yapıştırılacak yüzeyleri derzlendirmeyi tercih etmişlerdir. Ahşabın dayanıklılığa zarar vermeyecek derinlikte açılan taşın kanalları ile yapışma yüzeyleri artırılmıştır. Boynuz ile tutkal arasındaki yüzey gerilimi de en aza indirilmelidir. Bunu yapmanın yolu, ya sıcak yada yoğunluğu azaltıp inceltmiş tutkal kullanmaktır (Karpowicz, 2008). Sıcaklık da yapışma özelliklerini değiştirmektedir. Tutkalın düşük sıcaklıklarda kullanımı, yüksek viskozite, zayıf nüfuz etme, aşırı tutkal kullanımı ve erken jelleşme gibi istenmeyen özelliklerle sonuçlanır ve bu durum yapışmanın bozulmasına neden olur. Çok yüksek sıcaklıklarda kullanımda ise aşırı su kaybına ve ısı hidrolizi ile yapıştırıcının bozulmasına neden olabilmektedir (Pizzi ve Mittal, 2003).

## **12. Yayın Kurutulma Yüksekliği**

Sinir vurulduktan sonra yayın halkaya çekilip kurutulması kritik bir aşamadır. Hızlı kurutulması yüzeyin fazla gerilmesine ve çatlamalara neden olabileceği gibi, çok yavaş kurutulması da mantar enfeksiyonlarına ve küflenmelere neden olabilir. Bu nedenle yayın sinir vurma aşamasından sonra ideal kuruma koşullarında bekletilmesi gerekir. Allely vd. (1992) kuruma süresini etkileyen faktörleri, sinirin kalınlığı, tutkalın kalitesi, bağıl tutkal miktarı, nem, sıcaklık ve hava sirkülasyonu olarak sıralamaktadır. Oldukça kuru bir iklimde, yaklaşık on gün içinde kürlendiği, sinir tabakası kalın olduğunda veya yüksek nemli ortamda kuruma için iki hafta veya daha fazla süre gerektiği belirtilmektedir. Bu husus yay ustaları tarafından tecrübe edildiğinden yaya sinir vurulduktan sonra yerden bir zira-i mimari yüksekliğe (80-90 cm) asılması gerektiği ve fazla yüksekliğe asılınca sinirin çatlayıp bozulduğu tecrübe edildiğini bildirmektedir. Sinir vurulduktan sonra halka haline getirilen yayın kuruması için bir yıl beklenmesini ve daha uzun süre beklemenin daha iyi olduğu vurgulanmaktadır (Mustafa Kani, 1836).

Kuru koşullar, tutkal matrisi içinde yüksek iç stres ve çekme kuvvetlerinin gelişmesi nedeniyle jelatin bazlı tutkalların kurumasına, büzülmesine ve kırılma haline neden olur. Değişen bağıl nem koşullarında, düşük jel mukavemetli tutkallarda mekanik özelliklerini hızla kaybederken, yüksek jel mukavemetli tutkallar mekanik özelliklerini çok daha iyi korur. Bunun nedeni, yüksek bağıl nem seviyelerinde, protein moleküllerinin sürekli bir renatürasyonunun gerçekleşmesidir, bu da kurutma sonrasında tutkal matrisindeki stresi artırır. Daha elastik moleküler yapıları nedeniyle, yüksek oranda yeniden yapılandırılmış tutkallar, düşük jel mukavemetli tutkallardan çok daha başarılı bir şekilde iç stresleri telafi edebilir (Schellmann, 2009).

## **Sonuç**

Kompozit yaylar dört farklı özellikte malzemenin uyumuyla meydana getirilmiş silahlardır. Bu yayların performansını zirveye çıkaran ise Türk yayları olmuştur. Diğer kompozit yaylara göre yapım ve form farklılığı, emsallerinden üstün silahlar haline getirmiştir. Bu özelliklerin kazanmasında en önemli



faktörlerden biri de malzemelerin özenle seçilmesi ve işlenmesidir. Üç farklı malzemeyi bir araya getiren hayvansal tutkallar şüphesiz yayın en önemli bileşenidir. Modern tutkallara göre bazı dezavantajlarının yanında, kompozit yay yapımında aranan özelliklere sahip olması bu tutkalları eşsiz kılmaktadır. Hayvansal tutkalların keşfi ve kullanımı mümkün olmasaydı, tarihteki birçok savaşın seyrini değiştiren kompozit yayların imali de mümkün olmayabilirdi.

### **Teşekkür**

Türk yaylarının yapımını öğreten ve makalenin olgunlaşmasına katkıda bulunan değerli yay yapım ustası Süleyman Cem DÖNMEZ hocama teşekkür ederim.

### **Etik Standartların Beyanı**

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan eder.

### **Kaynaklar**

ACAR, Şinasi; ÖZVERİ, Murat: “Yaycı Yusuf Beşe Terekesinin Düşündürdükleri”, *Osmanlı Bilimi Araştırmaları*, IX/1-2 120-136, 2007-2008.

ADAMS, Robert D; WAKE, William: *Structural Adhesive Joints in Engineering*, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1986.

ALFARO, Alexandre da Trindade; BALBİNOT, Evellin; WEBER, Cleuse I; TONIAL, Ivane; LUNKES, Alessandra Machado: “Fish Gelatin: Characteristics, Functional Properties, Applications and Future Potentials”, *Food Engineering Reviews*, DOI 10.1007/s12393-014-9096-5, 2014.

ALLELY, Steve; BAKER, Tim; COMSTOCK, Paul; HAMM, Jim; HARDCASTLE, Ron; MASSEY Jay; STRUNK, John: *The Traditional Bowyer's Bible*. Volume one. The Lyons Press Guilford, Connecticut Canada, 1992.

ARSLAN, Cengiz: “Spor Arkeolojisi; Antik Dönem Olimpik Güreşler ve Tarihsel Gelişim Süreçleri”, *Uluslararası Türk Halkları Geleneksel Oyunlar - Sporlar Sempozyumu* 8-10 Aralık, s. 41-47, 2017.

ASBELL, G.Fred; BAKER, Tim; COMSTOCK, Paul; GRAYSON, Bert; HAMM, Jim; HERRİN, Al; MASSEY, Jay; PARKER, Glenn: *The Traditional Bowyer's Bible*. Volume two. The Lyons Press Guilford, Connecticut Canada, 1993.

ATALAY, Ahmet; AKBULUT, Abdullah Kürşad: “Türk Spor Kültürünün En Eşsiz Örneği: Okçular Tekkesi”, *Karadeniz, Black Sea*, cilt: V, sayı: 18, s. 71-81. 2013.

BALOGH, Csilla: “Karpas Havzası’nda Bir Avar Yay Ustasının Mezar Kalıntıları Eski Türklerde Bileşik (Kompozit) Yay Yapımına İlişkin Arkeolojik Bulgular”, *Art-Sanat*, 6: 109-120, 2016.

BERGMAN, Richard: *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, USA, 2011.

BİR, Atilla; KAÇAR, Mustafa; ACAR, Şinasi: “Türk Menzil Okçuluğu, Yay ve Okları”, *Osmanlı Bilimi Araştırmaları*, VIII/1: 40-67, 2006.

BRİDAROLLİ, Alexandra; FREEMAN, Ashley; FUJISAWA, Naoki; LUKOMSKİ, Michal: “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>, 2022.

BROCKMANN, Walter; GEİB, Paul Ludwig., KLİNGEN, Jürgen; SCHRÖDER, Bernhard: *Adhesive Bonding Materials, Applications and Technology*. Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009.

BÜYÜKSARI, Ümit: “Bölge Farklılığının Kayın Gövdeli Akçaağaç (*Acer Trautvetteri* Medw.) Odunun Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi. Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. 2006.

ÇETİN, Altan: “Memlûk Devletinde Okçuluk”, *Gazi Türkiyat*, 1 (9), 67-86 <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gaziturkiyat/issue/6722/90347>, 2011.

DAWİDOWSKY, Ferdinand: *Glue, Gelatine, Animal Charcoal, Phosphorus, Cements, Pastes, And Mucilages*, Philadelphia Henry Arey Baird Co., industrial publishers, booksellers and importers, Lancaster, Pa. U. S. A. 1905.

DEVER, Ayhan; İSLAM, Ahmet: “Tarihsel Süreç İçerisinde Türk Kültüründe Spor Algısı”, *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(5), 46-61. 2015.

DİLLARD, David A: *Advances in Structural Adhesive Bonding*. Woodhead Publishing Limited CRC Press, Washington, USA. 2010.

DOĞAN, Abdullah: “Osmanlıda Kemankeşlik (Okçuluk) ve Ahilik Ritüelleri”, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Samsun, 2017.

ERALP, Nejat T: *Tarih Boyunca Türk Toplumunda Silâh Kavramı ve Osmanlı İmparatorluğunda Kullanılan Silâhlar*. Atatürk Kültür, Dil Ve Tarih Yüksek Kurumu Atatürk Kültür Merkezî Yayını-Sayı: 68. Türk Tarih Kurumu Basımevi-Ankara, 1993.

ESER, Gökhan: “Asr-ı Saadet’te Okçuluk”, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İslam Tarihi ve Sanatları Anabilim Dalı İslam Tarihi ve Sanatları Bilim Dalı, İstanbul, 2022.

FRİHART, Charles R.; HUNT, Christopher G: *Adhesives with wood materials : bond formation and performance. Wood handbook : wood as an engineering material: chapter 10. Centennial ed. General technical report FPL ; GTR-190. Madison, WI : U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010: p. 10.1-10.24. 2010.*

GÖKSU, Erkan: *Okla Yükselen Millet (Türklerde ok ve okçuluk)*. Okçular Vakfı yayınları. Alioğlu Matbaacılık Basım Yay. Ve Kağ. San. Tic. Ltd. Şti. İstanbul, 2013.

GÖLBAŞI, Haydar: “Osmanlı Devleti’nde Spor Tekkeleri”, *Iğdır Üniversitesi Sosyay Bilimler Dergisi*, No. 15, Temmuz 41-53, 2018.

GRAYSON, Charles E; FRENCH, Mary; O’BRİEN, Michael J: *Traditional archery from six continents*. University of Missouri Press, Columbia, Missouri, 2007.

GÜNDÜZ, Gökhan; YAMAN, Barbaros: ÖZDEN, Seray; DÖNMEZ, Süleyman Cem: “Anatomy of Wooden Core of Ottoman Composite Archery Bows”, *Sains Malaysiana* 42(5)(2013): 547–552, 2013.

GÜVEN, Özbay: “Geleneksel Okçuluk Ve Güreş Sporunda Ahiliğin Etkileri”, Gazi Üniversitesi Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Velii Araştırma Merkezi, *Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi*, 27 (1-32). 2003.

HABENİCHT, Gerd: *Applied Adhesive Bonding A Practical Guide for Flawless Results*. Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-32014-1, 2009.

HARRİSON, Sabine M; KAML, Isabella; PROKORATOVA, Vendula; MAZANEK, Michael; KENNDLER, Ernst: Animal glues in mixtures of natural binding media used in artistic and historic objects: identification by capillary zone electrophoresis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 382: 1520–1526 DOI 10.1007/s00216-005-3319-9, 2005.

HAUPT, Margaret; DYER, Deborah; HANLAN, Jim: “An investigation into three animal glues”, *The Conservator*, 14:1, 10-16, DOI: 10.1080/01410096.1990.9995051, 1990.

İNAN, Mehmet: “Osmanlı İmparatorluğu’nda Okçuluk Sporu ve Temel Teknikleri”, Yüksel LisansTezi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilimdalı, 1992.

İRTEM, Süleyman Kani: *Sultan II. Mahmud Devri Türk Kemankeşleri*. (Hazırlayan: KOCAHANOĞLU, Osman Selim, 2005). Bayrak Matbaacılık Ltd. İstanbul, 1939.

İZ, Fahir: “Yakini's contest of the arrow and the bow” Ankara: Türk Dil Kurumu.. 1. Okçuluk. 2. Türkoloji Araştırmaları, ss 267-287, 1962.

KAEGİ, Walter Emil: “Anadolu'nun Türkler tarafından fethine okçuluğun katkısı”, Çev. Yusuf AYÖNÜ. *Ege Üniversitesi Tarih İncelemeleri Dergisi*, (16), 239-253, 2001.

KAHRAMAN Atıf: *Osmanlı Devletinde Spor*, I. Baskı, Ankara, Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, 1995.

KANİ, Mustafa: *Telhis-i Resailü'r- Rumat*, 1836, İstanbul (Matbaa-iAmire) 1263 (Çeviren, YAVUZ, K.,CANATAR, M. Okçuluk Kitabı Telhis-İ Resailat-I Rumat), İstanbul Fetih Cemiyeti İstanbul, 2010.

KARPOWICZ, A: "Performance of Turkish Bows" *Journal of the Society of Archer-Antiquaries*, 48, (44-48), 2006.

KARPOWICZ, Adam: "Ottoman Bows - an Assessment of Draw Weight, Performance and Tactical Use", *Antiquity*, 81, 675-685, 2007.

KARPOWICZ, Adam: *Ottoman Turkish Bows: Manufacture and Design*. Ottawa: Canada Cataloguing, 2008.

KLOPSTEG, Paul E: *Turkish Archery and the Composite Bow*" Printed and Bound in Great Britain by Butler & Tanner Ltd, Frome and London, 1934.

KLOPSTEG, Paul E: *Turkish Archery and the Composite Bow*. Manchester: Simon Archery Foundation, The Manchester Museum, 1987.

KNECHT, Heidi: *Projectile Technology*. Chapter 6 *Sinew-Reinforced and Composite Bows Technology, Function, and Social Implications* Christopher A. BERGMAN And Edward McEWEN. Springer Science+Business Media, LLC, 1997.

KOCA, Selçuk Kürşad: "Türk Kültüründe Sembollerin Dili". Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya, 2012.

KOOI, Bob W: "The Design of the Bow", *Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 97(3): 1–27, 1994.

KUMAR, RN.; PIZZİ, A: *Adhesives for Wood and Lignocellulosic Materials*. John Wiley & Sons, Inc., Scrivener Publishing, Hoboken, USA, 2019.

KÜÇÜK, Mehmet Alparslan: "İslâm Öncesinden Sonrasına Türk Geleneğinde Bir Yaşam Stili: Okçuluk", *International Journal of Cultural and Social Studies (IntJCSS)* 4 (1) 178-191, 2018.

LATHAM, J.D., and PATERSON, W. F.: *Saracen Archery*. Latham Publisher: The Holland Press, London, UK. 1970.

LOADES, Mike: *The Composite Bow*. Osprey Publishing Ltd. USA, 2016.

LUCAS, F.M. Da Silva; DILLARD David.A; BLACKMAN, Bamber; ADAMS, Robert D: *Testing Adhesive Joints Best Practices*. Wiley-VCH Verlag & Co. Weinheim, Germany, 2012.

MAKUL, Miraç: "Geleneksel Okçuluk Sporcularının Sportif Faaliyetlerindeki Davranışlarına İslam Dininin Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi. Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilimdalı, 2022.

MARIOD, Abdalbasit Adam; ADAM, Hadia Fadol: "Review: gelatin, source, extraction and industrial applications", *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 12(2), 135-147, 2013.

Mc. PHERSON, John; Mc. PHERSON, Geri: "Bulletin of Pirimitive Technology Official Publication of the Society of Primitve Technology". *The Society of Primitve Technology*, vol 1 no 2, 37-40, 1991.

METİN, Tülay: "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>, 2014.

MEYER, H. O: Applications of Physics to Archery. *arXiv: Popular Physics*. 2015.

MİTTAL, K.L.; PANİGRAHİ, S. K: *Structural Adhesive Joints Design, Analysis and Testing*. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2020.

NORZİAH, Mohammad Hani; AL-HASSAN, A. Qassim; KHAİRULNİZAM, A.B., MORDİ, Mohd Nizam; NORİTA, Mohamed: "Characterization of Fish Gelatin From Surimi Processing Wastes: Thermal Analysis And Effect of Transglutaminase on Gel Properties. *Food Hydrocolloids* 23: 1610-1616, 2009.

OLİVER, John. F: *Adhesion in Cellulosic And Wood-Based Composites*. Plenum Press, New York 254.S Bölüm-Bonding in Wood Composites J. D. WELLONS 127-146, 1981.

ÖNGEL, Hasan Basri: "Gelişim Sürecinde Erken İç Asya Türk Okçuluğu", *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, Sayı 2, 189-215, 2001.

ÖZGEN, Mutlu: "Osmanlı Şenliklerinde Bir Gösteri Sporu: Kabak Oyunu", *Acta Turcica*, 2: (1) 377-393, 2010.

PARLAK, Salih: "Türk yaylarında kullanılan ağaç türleri ve özellikleri", *Ağaç ve Orman*, 1(2) 25-34, 2020.

PETRIE, Edward M: *Epoxy Adhesive Formulations*. The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA, 2006.

PETRIE, Edward M: *Handbook of Adhesives and Sealants*. The McGraw-Hill Companies, New York, USA, 2007.

PİZZİ, Antonio: *Advanced Wood Adhesives Technology*. CRC Press, New York, USA, 1994.

PİZZİ, Antonio; MİTTAL, Kash: *Handbook of Adhesive Technology*. Taylor & Francis Group, LLC New York, USA, 2003.

PULUR, Atilla: "Geleneksel Sporlar ve Ahlak", *Uluslararası Türk Halkları Geleneksel Oyunlar - Sporlar Sempozyumu* 8-10 Aralık, s. 50-53, 2017.

RANDALL, Karl Chandler: "Origins and Comparative Performance of the Composite Bow". Phd. Thesis, University of South Africa pp 289, 2016.

REİSİNGER, Michaela: "New Evidence about Composite Bows and Their Arrows in Inner Asia", *The Silk Road*. 8. 42-62, 2010.

ROWELL, Roger M: *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005.

SCHELLMANN, Nance C: “Animal glues: A review of their key properties relevant to conservation”, *Studies in Conservation*, 8, 55-66, 2007.

SCHELLMANN, Nanke C: “Animal Glues – Their Adhesive Properties, Longevity And Suggested Use For Repairing Taxidermy Specimens”, *Natural Sciences Collections Association (NatSCA News)*, Issue 16, 36-40, 2009.

TULU, Sultan: “Dede Korkut Kitabında Okçuluk Terimleri. *Bitig Türkoloji Araştırmaları Dergisi*, Bahar1: 51-58. 2021.

TOUSİ, Ehsan Taghizadeh, HASHİM, Rokiah, BAUK, Sabar, JAAFAR, Mohamad Suhaimi, AL-JARRAH, Amer Mahmoud, KARDANİ, Hamid, ABU ARRA, Ali Mohammad Hamdan and ALDROOB, Khalid Saleh Ali: “A Study of the Properties of Animal - Based Wood Glue”, *Advanced Materials Research* Vol. 935 pp 133-137 Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.935.133, 2014.

TUNÇ, Ali: “Osmanlı Devletinde Spor (Okçuluk)”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilimdalı, 2000.

TUNÇ, Aygöl; TÜRKAY, Hikmet; BAŞKAN, AYTEKİN Hamdi; GÜÇLÜ, Mehmet: “Osmanlıda Kemankeşlik ve Toplumsal Yapı ile İlişkisi”, *Türk Halkları Geleneksel Oyunlar - Sporlar Sempozyumu* 8-10 Aralık, s. 120-123, 2017.

TURAN, Osman: “Eski Türklerde Okun Hukuki Bir Sembol Olarak Kullanılması”, *Bellekten / Türk Tarih Kurumu*, 9 (35), 305-318, 1945.

USTA, İlker: “Ahşap: Mekanik Özellikler”, *Yapı Dünyası*, OcakŞubat. 14-31. 2016.

WILKINSON, Keri A; ORDONEZ, Daniel A: *Adhesive Properties in Nanomaterials, Composites and Films*. Nova Science Publishers, Inc., UK, 2011.

YILMAZ, Seda: “Osmanlı Türkçesiyle Yazılmış Okçuluk ve Atçılık Mecmuası (Hüsrev Paşa 816) Metin ve Gramer İncelemesi”. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Türk Dili Ve Edebiyatı Anabilim Dalı Türk Dili Ve Edebiyatı Programı, İstanbul, 2020.

YÖNAL, Gamze; TÜRKMEN, Mutlu: “Türk Kültür Yaşamında Okçuluk”, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Yıl: 5, Sayı: 55, s. 523-533, 2017.

YÜCEL, Ünsal: *Türk Okçuluğu*. 2. Baskı, Ankara: Atatürk Kültür Merkezi Yayını:182, Ankara, 2015.

YÜCEL, Ünsal: *Türk Okçuluğu*. Atatürk Kültür Merkezi Başkanlığı Yayınları, Ankara, 1999.