



# AĞAÇ ve ORMAN

## TREE and FOREST

Yıl  
Year 2023

Cilt  
Volume 4

Sayı  
Issue 2

eISSN: 2757-5349

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
BURSA TECHNICAL UNIVERSITY



**Ağaç ve Orman**  
Cilt:4 - Sayı:2  
e-ISSN: 2757-5349

**Sahibi**  
Bursa Teknik Üniversitesi

**Editörler Kurulu**  
**Editorial Board**

**Baş Editör**  
**Editor in Chief**  
Neşat ERKAN

**Editör Yardımcıları**  
**Vice Editors**  
M. Ali ERMEYDAN  
Ayşe Gül SARIKAYA  
Kamil ERKEN

**Dil Editörleri**  
**Language Editors**  
Mesut UYSAL  
Merve ERSOY MİRİCİ

**Yazım Editörü**  
**Writing Editor**  
Edanur AYHAN

**Dizgi Editörü**  
**Layout Editor**  
İnanç TAŞ

**Web Adresi**  
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>

**Yazışma Adresi**  
Mimar Sinan Yerleşkesi  
Mimar Sinan Mahallesi, Mimar Sinan Bulvarı, Eflak Caddesi,  
No:177 16310 Yıldırım/BURSA

**Telefon**  
0(224) 300 37 95



**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

*Derleme/Review*

- Kompozit yayların kökeni ve gelişim aşamaları / Origin and Evolution Stages of Composite Bows** 34-46  
Salih PARLAK

*Araştırma makalesi/Research article*

- Depreme dirençli kentler: Bursa ili Yıldırım ilçesi örneği / Resilient cities to earthquakes: The case of Yıldırım district, Bursa province** 47-57  
Büşra ŞENER, Anıl AKIN TANRIÖVER

*Araştırma makalesi/Research article*

- UV direnci artırılmış faz değiştiren malzemeler ile emprenye edilmiş ahşap malzemenin renk değerleri üzerine hızlandırılmış UV yaşlandırmanın etkisi / The effect of accelerating weathering on the color values of wood material impregnated with phase change materials with increased UV resistance** 58-65  
Ahmet CAN

*Araştırma makalesi/Research article*

- A comparative study on paper recycling wastewater treatment using microwave irradiation and centrifuge technology / Mikrodalga ışınlama ve santrifüj teknolojisi kullanılarak kağıt geri dönüşümü atıksu arıtımı üzerine karşılaştırmalı bir çalışma** 66-72  
Uğur ÖZKAN, Halil Turgut ŞAHİN

*Araştırma makalesi/Research article*

- Spartium junceum* L. (Katırtırnağı)'un küresel iklim değişimi etkisi altındaki potansiyel yayılış alanlarının modellenmesi / Modeling of potential distribution areas of *Spartium junceum* L. (Spanish broom) under the impact of global climate change** 73-81  
Almira UZUN, Ömer K. ÖRÜCÜ



## Kompozit yayların kökeni ve gelişim aşamaları

### Origin and Evolution Stages of Composite Bows

Salih PARLAK 

Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye.

Sorumlu yazar:  
Salih PARLAK

E-mail:  
salih.parlak@btu.edu.tr

Gönderim Tarihi:  
31/05/2023

Kabul Tarihi:  
13/10/2023

Atf:  
Parlak, S. 2023. Kompozit yayların kökeni ve gelişim aşamaları. Ağaç ve Orman, 4(2), 34-46. DOI: 10.59751/agacorman.1308049

#### Özet

İnsanlık, varoluşundan bu yana avlanma veya korunma amaçlı farklı aletler kullanmış ve sürekli geliştirmeye ihtiyaç duymuştur. İlk dönemlerde elle fırlatılan basit silahlardan sonra, uzak mesafeye daha etkili atış yapabilmek için farklı savaş aletleri geliştirilmiştir. Bu savaş aletlerinden biri de hem savaşların yönünü değiştiren hem de gelişmiş bir silah olan yaylar olmuştur. Başlangıçta sadece ahşabın esneme özelliğinden faydalanılarak yapılan basit yaylar, yerini zamanla yapımı daha fazla ustalık ve beceri gerektiren kompozit yaylara bırakmıştır. Ok ve yay insanın avlanma ya da savaşlarda en etkili kullandığı silahlardan biri olmuştur. Bu makalede yayın kullanılmaya başlamasından günümüze kadar geçirdiği tarihi aşamalar, özellikle kompozit yayın ortaya çıkışı ve gelişim aşamaları incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yay tarihi, kompozit yayların gelişimi, Türk yayları.

#### Abstract

Humankind has used different tools for hunting or protection and has constantly needed to develop them since their existence. After the simple hand-launched weapons in the early periods, various warfare tools were developed to be able to shoot more effectively at long distances. One of these war tools has been the bow, a sophisticated weapon that changes the direction of wars. Simple bows, made by using only the elasticity of wood, were replaced with composite bows that required more skill and dexterity over time. Arrow and bow have been the most effective weapons that humans used in hunting or wars. This article examines the historical stages of the bow from its use to the present day, especially the emergence and development stages of the composite bow.

**Keywords:** Bow history, evolution of composite bows, Turkish bows.

### 1. Giriş

İnsanlık tarihi boyunca yaylar, uzun menzilli saldırı silahı olarak kullanılmıştır. Savaşta fizik gücünün yetmediği mücadelelerde, üstünlük sağlayıcı ve fizik gücünü tamamlayıcı araçlara ihtiyaç duyulmuş (Eralp, 1993) ve yeni saldırı silahları geliştirilmeye başlanmıştır. İnsanoğlu doğası gereği, hayvanların etinden, sütünden, derisinden ve kemiklerinden alet yapımı için yararlanmak zorundaydı. Bu nedenle henüz evcilleştirilmemiş hayvanları avlamak için silahlara ihtiyaç duymuş ve zamanla mızrak, cirit ve yayı geliştirmiştir (İkibeş, 2022). İnsanların toprak işlemeyi ve hayvanları evcilleştirmeyi öğrenmeden, avcı olarak yaşamını sürdürdüğü bu dönemlerde beslenme ve güvenliğini genellikle ok ve yayla sağlamıştır (Judd Company, 1879). Okçuluk, tarih öncesinden günümüze kadar hemen hemen her kültürde yaygın bir aktivite olmuştur. İlk insanlar için büyük bir teknolojik ilerleme olan yay, hayvanların çok daha uzak mesafeden ve mızraktan daha yüksek bir isabetle

avlanmasını sağlamıştır. Hemen hemen tüm kültürler tarafından kullanılan ve genellikle tarihin en önemli icatlarından biri olarak gösterilen yay, tarih öncesi çağlardan, ateşli silahların ortaya çıkışına kadar uzun menzilli saldırı silahı olarak kullanılmıştır. Tarihsel olarak okçuluk, ateşli silahların ortaya çıkmasına kadar savaşlarda önemli ve bazen baskın bir rol oynamıştır (Randall, 2016). Yaylar, gerilen bir nesnede depolanan enerjinin oka aktararak fırlatılmasını sağlar. Tüm yaylar, hem çekme hem de sıkıştırma gerilimine dayanacak ve kirit bırakıldığında gerilmiş yayda depolanan potansiyel enerjinin çoğunu oka aktaracak şekilde tasarlanmıştır (Miller vd, 1986). Enerji depolayabilen ilk silah olan yay, cirit ve mızrak gibi elden fırlatılan silahlardan daha güçlü ve etkili olmuştur (Grayson, 2007).

#### 1.1. Tarih öncesinde yaylar

Tarih öncesi dönemde kullanılan yaylar üç ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar; basit ahşap yaylar, sırt kısmına

yapıştırılan sinirle güçlendirilmiş yaylar ve Batı Asya'da geliştirilen boynuz, ahşap ve sinirin birleşimiyle yapılan kompozit yaylardır (Miller vd, 1986; Knecht, 1997). Yay ve okun ilk olarak ne zaman ve nerede geliştirildiği ve tüm dünyaya hangi yollarla tanıtıldığı belirsizdir. Ok ve yayla ilgili arkeolojik buluntular, Geç Paleolitik Çağda (M.Ö.35000-10000) görülmekte ve okçuluğun insanlık tarihinin en eski çağlarına kadar giden, uzun bir geçmişi olduğunu göstermektedir (Kooi, 1993; Yönel ve Türkmen, 2017). Tarih öncesi dönemde okçuluğun ilk kanıtı, Almanya, Stellmoor'da Mezolitik bataklık alanlarında M.Ö. 9. bin yıla tarihlenmektedir. Yayın en temel haliyle kullanımı, M.Ö. 9000-6000 yıllarına kadar uzanır, ancak muhtemelen çok daha önce geliştirilmiştir. Yay olarak tanımlanan en eski örnekler Danimarka'da bulunan M.Ö. 6. bin yıla tarihlenen Holmegaard yayları olmuştur (Grayson, 2007; Randall, 2016; Eser, 2022). İlk yayın 15.000 yıl önce Afrika'da kullanıldığı, Avrupa'da ise yayın tarihinin 10.000 yıllık olduğu iddia edilmektedir. Danimarka da bulunan karaağaçtan yapılmış bir yay M.Ö. 8. bin yıla tarihlenmektedir. Almanya ve İsviçre'de M.Ö. 6000, Danimarka'da M.Ö. 7000, İngiltere'de M.Ö. 2600 ve İspanya'da M.Ö. 5200-5000 yıllarına tarihlenen birkaç basit yay örneği neredeyse bozulmamış olarak bulunmuştur. Tarih öncesi en eski İngiliz yayı ise M.Ö. 2690 yıllarına tarihlenmektedir. Paleolitik Çağ'a ait bu yaylara sinir döşendiğine dair kanıt bulunamamıştır. Neredeyse tamamı porsuk ağacından yapılan basit yaylardır (Hamm, 2000; Gorman, 2016). Arkeolojik buluntulara göre Batı Avrupa Mezolitik dönemine ait en eski yay örnekleri yaklaşık M.Ö. 6000'e tarihlenen yaylardır (Knecht, 1997).

## 1.2. Basit ve köşeli yaylar

Kompozit yayın en eski örneklerinden biri, M.Ö. 3. bin yılda ortaya çıkan Batı Asya köşeli yayıdır. Bu yay kirişi takıldığında sığ bir üçgen ve tam gerildiğinde yarım daire şeklini almaktadır. Köşeli kompozit yaylar, Mısırlı okçuların isabetli ve güçlü atış yapmalarını sağlamıştır. Bu yayın nispeten kısa oluşu, savaş arabalı okçular için daha fazla manevra kabiliyetine imkân vermiştir. Köşeli kompozit yaylar, İskitlerin Asur İmparatorluğu'nu sona erdirmek için

Medler ve Babil'lilere işbirliği yaptığı M.Ö. 7. yüzyıla kadar Batı Asya'da kullanılmıştır (Knecht, 1997). Tutankamun'un mezarında bulunan bu tip yaylar, Mısır mezar resimlerinde ve Asur anıtsal heykellerinde görülmektedir. Asya kompozit yayları gibi "Köşeli yayların" yapımında ahşap, sinir ve boynuz kullanılmıştır (Kooi, 1993; Kooi ve Bergman, 1997). Eski Mısır'daki mezar resimleri ve metinsel referanslardan, yaklaşık 2.000 yıldır kullanıldığı anlaşılan bu silahın, imparatorluk yönetici seçkinleri tarafından istihdam edilen uzman zanaatkarların ürünü olduğu anlaşılmaktadır (Knecht, 1997). Antik Yakın Doğu'da geliştirilen bu yay, Mezopotamya'dan Anadolu'ya kadar sanatsal eserlerde temsil edilen ve günümüze ulaşan fiziki örnekleri bulunan yaylardır. Özellikle Tutankamun'un mezarından çıkan M.Ö. 1323'e tarihlenen köşeli kompozit yayın Mısır'a M.Ö. 17. yüzyılda Hiksos'lar tarafından getirildiği genel kabul görmektedir. Mısır'da Eski ve Orta Krallıklar döneminde, Afrika yerlilerin kullandığı basit yay kullanılmıştır. İkinci Orta Dönemde, Asya'dan gelen kompozit yay, Yeni Krallık Döneminde (M.Ö. 1570-1165) benimsenerek kullanılmaya başlanmıştır (McLeod, W. 1970).

Kompozit yay için fiziki ve metinsel kanıtların büyük çoğunluğu Mısır Yeni Krallık döneminden gelmektedir. Bu nedenle, bazı akademisyenler Hiksos'un Mısır'ı işgalinden önce kompozit yayın varlığının kanıtlanamayacağına inanmaktadır. III. Ramses zamanına (M.Ö. 1184-1153) (20. hanedan) kadar ise genellikle köşeli yayların kullanıldığı görülmektedir. Köşeli yay, Mısırlılar, Hititler, Asurlular ve bölgedeki diğer toplumlar için tercih edilen yay haline gelmiştir (Buttery, 1974; Randall, 2016). Savaş arabasındaki okçuluk becerilerini atlı okçuluğa aktaranlar Asurlular olmuş, hem kuşatmalarda ve hem de piyade silahı olarak, M.Ö. 9. yüzyılda savaşlarda köşeli yay kullanmışlardır. Bu tip yayların Urartu'lara ait M.Ö 8-7. yüzyıllar arasında yapılmış adak kemerlerinde ve ortostatlarda (Şekil 1) tasvir edildiği görülmektedir (Buttery, 1974; Ergürer, 2010; Loades, 2016; Randall, 2016). Köşeli yaylar M.Ö. 2300 yıllarından M.Ö. 1850 yılına kadar kullanılmış, III. Ramses dönemindeki (M.Ö. 1184-1153) tapınak tasvirlerinde de Mısırlı savaşçıların köşeli yay kullandıkları tasvir edilmiştir (Bryce, 2007).



Şekil 1. Urartu adak kemeri (sol) ve Aslantepe Ortostatı, Aslantepe, Malatya, M.Ö. 1200-M.Ö. 700 (Anadolu Medeniyetleri Müzesi, S. Parlak).

Figure 1. Urartian votive belt (left) and Aslantepe Orthostat, Aslantepe, Malatya, B.C. 1200-BC 700 (Anatolian Civilizations Museum, S. Parlak, 2023).

Köşeli bir kompozit yay, aynı çekme ağırlığına sahip basit ahşap yayın iki katı gücünde, atış isabeti ve sağlamlığı birleştiren son derece etkili bir silah olmuştur. Yapılan bilimsel çalışmalarda Mısır köşeli yaylarının çekiş gücünün 18,2 kg olduğu belirlenmiştir (Miller vd, 1986; Randall, 2016). Ahşabın kırılma ve kurduğunda gevşeme özelliği bilindiğinden, kullanılmadığında yasılarak yayın tekrar eski refleks yapısına dönmesini sağlamak için üçgen yay tasarımına geçilmiş olmalıdır. Köşeli yaylarda, ahşabın zamanla gevşeme özelliğinin geciktirilmesi yanında, kabza-kiriş mesafesini ve dolayısıyla çekiş uzunluğunu istenildiği gibi ayarlamak da mümkün olabilecektir. Mısır okçuluk tasvirlerinde çekiş mesafesinin günümüz tekniklerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Köşeli yayların bu şekilde yapılmasının nedeni, yay kollarının ön gerilmesini önlemek ve kurulu halde tutulan yaylarda meydana gelen güç kaybını önlemek olabilir. Bu yay formunda ahşap kırılmadan yayın daha fazla çekilmesi mümkün olacaktır. Yayların tarihi gelişimi bakımından değerlendirildiğinde köşeli yayların basit yaylardan sonra geliştirilmiş olması muhtemeldir ve bu formun günümüz kompozit yaylarına geçişte bir ara form olarak değerlendirmesi doğru bir yaklaşım olacaktır.

### 1.3. Kompozit yaylar

Kompozit yaylar birkaç materyalin birleşimiyle yapılan yaylardır. Bir kompozit yay, ahşap bir iskelet, boynuz, sinir ve bunları yapıştırmak için hayvansal tutkallardan meydana gelir (Asbell vd, 1993). Boynuzun sıkışmaya mukavim ve sinirin esneme özelliği sayesinde kırılma riski olmadan 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 gelişmiş 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 (Latham ve 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 kuvvetine karşı direnç sağlayarak kırılmayı önler. 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 çözüldüğünde, 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).

### 1.3.1. Kompozit yayın imalinde hayvansal tutkalların rolü

Yapıştırıcı teknolojisi yaklaşık 200.000 yıl öncesine dayanan uzun bir geçmişe sahiptir (Langejans vd, 2022). Bilinen en eski arkeolojik tutkallar, reçine yapıştırıcılardan yaklaşık 150.000 yıl daha eski olan huş ağacı kabuğu katranıdır (Kozowyk vd, 2020). Kompozit yayın temel bileşenleri olan ahşap, boynuz ve sinir katmanlarını birbirine yapıştırmak için kuvvetli bir tutkala ihtiyaç bulunmaktadır. Fakat bu tür doğal tutkallar yayın bileşenlerini bir arada tutacak kadar sağlam veya esnek değildir. Hayvan derilerinden, kemiklerden, bağ dokularından ve balık hava keselerinin kurutulmasıyla yapılan kollajen tutkallar, kompozit yayların yapımında Asya’da ve kutup bölgelerinde yaygın olarak kullanılmıştır (Miller vd, 1986; Langejans vd, 2022).

Bir yay yapma süreci inanılmaz derecede zaman almakta ve en iyi malzemelerin kullanılması gerekmektedir (Nathan, 2010). Tutkal, farklı malzemelerden yapılan kompozit yayların en önemli bileşenidir (Knecht, 1997; Karpowicz, 2008). Antik çağda kullanılan bitüm, sakız, reçine, katran gibi diğer tutkalların (Langejans vd., 2022) hiçbirinin yay yapımına uygun olmadığı görülecektir. Bu bakımdan kompozit yayın ortaya çıkışı, hayvansal tutkalların bulunması ve kullanımının yaygınlaşmasından sonra olması muhtemeldir. Çekildiğinde sıkışma ve gerilme kuvvetlerine maruz kalan bir yayda malzemenin deforme ve delamine olmaması için çok güçlü bir şekilde yapıştırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Hayvansal tutkallar kullanılmadan önce muhtemelen kemik veya boynuzları çok sıkı bir şekilde ahşaba bağlama denemeleri yapılmıştır. Fakat bağlanan malzemeler sabit tutulamayıp kaymalarından dolayı verimli olmayacaktır. Basit yayların kırılma riskini önlemek için yayın sırtına doğal liflerin veya hayvan tendonlarının döşenmesi suretiyle ilk kompozit yayların yapıldığı varsayılabilir. Bu malzemelerin güçlü bir şekilde bir arada tutulabilmesi hayvansal tutkalların kullanılmasına bağlıdır. Bu bakımdan ilk kompozit yayların yapımı muhtemelen hayvansal tutkalların imali ve yaygınlaşmasına bağlıdır. Dolayısıyla kompozit yayı oluşturan malzemelerin sağlam ve fonksiyonel olarak bir arada tutulması için hayvansal tutkalların keşfedilmiş olması gerekir. Ancak bu keşiften sonra kompozit yayın imal edilebilmesi mümkün olabilecektir. Deri tutkalının çok güçlü yapıştırma özelliği ve esnekliği kompozit yayın yapımını mümkün kılmış olmalıdır. Bergman (1993)’da kompozit yayın gelişimindeki en önemli aşamanın, tutkalın yay yapımında ilk kez kullanıldığı zaman olduğunu vurgulamaktadır.

Deri tutkallarının bilinen en eski kullanımı, muhtemelen ahşabı yapıştırmak, abanoz ve fildişi kakma uygulamak, kumaşı ahşaba tutturmak ve altın varak yapıştırmak gibi amaçlarla eski Mısır ve Mezopotamya’da görülmektedir. Kuzey Amerika’da yerlileri tüy yapıştırma ve kompozit yaylarda hayvansal tutkallar kullanmışlardır (Kozowyk vd, 2020). Bilinen en eski hayvansal tutkallar İsrail’de yaklaşık M.Ö. 8200-7300, Avrupa’da ise M.Ö. 3100’ün biraz üzerine tarihlenmektedir (Kozowyk vd, 2020). M.Ö. 3000’de Sümerlerin hayvan derisinden “Se-gin” adını verdikleri bir tutkal ürettikleri bilinmektedir. Sümer metinlerinde balık hava keselerinden özel olarak söz edilmesi ve ticarete konu

olması mobilyalarda ve kompozit yayların yapımında tutkal kaynağı olarak kullanıldığının göstergesidir (Miller vd, 1986; Brockmann vd, 2009; Mikhail, 2009). Tutankamun'un mezarında da 3500 yıllık olduğu belirlenen bir deri tutkal tableti bulunmuştur (Brockmann vd, 2009). İsviçre'den 5000 yıllık Neolitik porsuk yayına, kiraz kabuğu yapıştırmada sığır veya koyun derisinden yapılmış hayvan tutkalı kullanıldığı bilinmektedir (Langejans vd, 2022). 3500 yıl önce Hititler ve Mısırlılar, yay ve mobilyaların yapımında hayvansal tutkalları kullanmıştır (Conroy, 1934.; McPherson ve McPherson, 1991; Pizzi ve Mittal, 2003). Antik Mısır'da'ki M.Ö. 1475 yılında Rekhmera'nın mezarında bulunan duvar resimlerinde hayvansal tutkalların üretim süreci tasvir edilmiştir (Brockmann vd, 2009).

Mevcut kaynaklardan, kompozit yayın ilk defa Orta Asya toplulukları, muhtemelen İskitler tarafından kullanıldığı ve geliştirildiği kabul edilmektedir. Savaşlardaki üstünlüğü, at üstüne kullanım kolaylığı ve etkinliği görüldüğünden, daha sonraları muhtemelen diğer toplumlar tarafından da kompozit yay yapımı benimsenmiştir. Deri tutkalının icadı ve kullanımları kaynaklarda bildirilmesine rağmen, kompozit yayda kullanımı icat edenler tarafından değil, Orta Asya göçebe toplulukları bakımından geliştirilmiş olması ilginçtir ve daha detaylı araştırılması gereken bir konudur.

#### 1.4. İlk kompozit yay örnekleri

Basit ve kısa ahşap yaylarla iyi atış yapmak zordur, çünkü çekiş mesafesindeki küçük değişiklikler bile ok menziline ve hızında büyük farklılıklara yol açacaktır. Ahşap yayların savaştaki etkinliğini azaltan temel sorunlardan biri, kırılma veya ahşabın zamanla gevşeme eğilimleridir. Bu özelliğinden dolayı basit yaylarda çekme gücü zamanla değişebilmektedir (Miller vd, 1986). Basit ahşap yaylar kurduklarında esnekliğini kaybederek güçlerinin azalmasına rağmen kompozit yaylar iki yüz yıl gibi uzun bir süre kullanılabilirlerdir. Kompozit yayların bir diğer üstün yönü, kurulu bir yayda çekiş gücünün ahşap yaydan daha fazla enerjiye sahip olan bir noktadan başlamasıdır. Yayın gücü ve esnekliğinin ahşap, boynuz ve sinir oranlarını değiştirerek istenildiği çekiş gücünde yapılabilmesi, kompozit yayın yüzyıllar boyunca üstün bir silah olarak kalmasını sağlamıştır (Yücel, 1999; Gorman, 2016).

Kompozit yaylar, ahşap bir iskelet, boynuz, sinir ve yapıştırmak için hayvansal tutkallardan oluşmaktadır (Asbell vd, 1993). En iyi ve en kullanışlı yayların ağaç, sinir boynuz ve tutkaldan oluşan kompozit yaylar olduğu (Latham ve Paterson, 1970; Kooi, 1994; Grayson vd, 2007) ve boynuz-ahşap-sinir-tutkal kombinasyonunun, elastik ve mekanik mükemmelliğini oluşturduğu kabul edilmektedir (Klopsteg, 1987). Kompozit yay teknolojik olarak en gelişmiş olanıdır ve yapımı yüksek düzeyde beceri gerektirmektedir (Knecht, 1997). Kompozit yayların ilk kez nerede ve ne zaman ortaya çıktığı fazla ele alınmamış bir konudur. Farklı malzemelerin zıt ve tamamlayıcı özelliklerinden yararlanarak yapılan ilk silah olarak, silah teknolojisinde değişimi de beraberinde getirmiştir (Randall, 2016). Mevcut kanıtlar, bu teknolojinin, M.Ö. 3. bin yılda, Mezopotamya ve Anadolu'daki devlet düzeyindeki toplumlarda hem de Orta ve Kuzey Asya'nın bozkırlarındaki kabile göçebe kültürleri tarafından ayrı ayrı

ama aynı anda geliştirilmiş olduğu ileri sürülmektedir (Knecht, 1997; David, 2009). Kompozit yayın ilk defa antik çağda kullanıldığı bilinmektedir. Kesin tarihi ve kökeni bilinmemekle birlikte Hunlar, Partlar, Moğollar, Araplar ve Türkler gibi atlı okçuları yaygın olarak kullanan Orta Asya kültürleriyle ilişkilendirilmiş ve bozkır göçbeleri tarafından icat edildiği kabul edilmiştir (David, 2009; Gorman, 2016).

Tarihi süreçte, daha iyi bir yay yapmak için iki veya daha fazla ahşabı birbirine yapıştırma veya lamine etme fikri doğmuştur (Camera, 2010). İki parça ahşabın yapıştırılmasıyla yapılan Finno-Ugric yayının, Asya kompozit yayının atası olduğu ileri sürülmektedir (Lepola, 2015). Tarihsel süreci incelendiğinde çeşitli kompozit yay tasarımlarının varlığı dikkat çekmektedir. Çin'de bulunan yaklaşık 3000 yıllık yayda sinir döşeme konturlarının olduğu ve bu yayların, Çin'de 2000 yıl öncesine kadar kullanıldığı belirlenmiştir (Camera, 2010). Bazı kaynaklarda kompozit yay teknolojisinin M.Ö. 4. bin yıla kadar dayandığı belirtilmektedir (Randall, 2016).

İskitler (Sakalar) ve diğer Asya kavimleri ile temas eden Medler ve Persler okçuluğu kısa zamanda benimsemişlerdir. Hazar denizinin güneydoğusuna yerleşen Partlar İran ve Suriye'yi ele geçirmiş ve okçuluğu bu bölgede yaymışlardır. Yakınoğu'da ok ve yayı geniş ölçüde kullanan ilk devlet Asurlular olmuştur. Mısır'da M.Ö. 1400 yıllarına ait bir mezarda bulunan kompozit yayın Asur menşeli olduğu tahmin edilmektedir. Asya menşeli olan kompozit yay batıya doğru yayılıp Sasaniler'e geçmiş, daha sonra Büyük Selçuklu, Anadolu Selçuklu Türkleri ile Moğollar, Tatarlar ve Osmanlılar kompozit yayı geliştirmişlerdir (Yücel, 1999). Sibiry'a da bulunan kompozit yaylar, M.Ö. 2250-2000 arasına tarihlenmekte ve bu bölgede kompozit yapıda olan en eski yayları temsil etmektedir (Yadin, 1963).

#### 1.5. Kompozit yayın gelişim aşamaları

Ahşap, boynuz, sinir ve bunları bir arada tutan tutkalla farklı kültürlerde farklı şekillerde kompozit yaylar yapılmış olmasına rağmen, tüm kompozit yayların bazı ortak özellikler vardır (Gorman, 2016). Bu yayların yapımında sinirin gerilme kuvveti ve boynuzun basınç mukavemeti gibi malzemelerin mekanik özelliklerinden yararlanılmıştır (Miller vd, 1986). Yayın verimliliği, yay kollarının kütlesine bağlıdır ve hafif yay kolları verimliliği artırmaktadır (Kooi ve Bergman, 1997). Yay kollarının kısaltılıp kütlesi azaltıldığında, kiriş bırakıldıktan sonra yay kolunun geri dönüşünde daha az enerji harcanmaktadır (Randall, 2016). Ayrıca, yay profilinin de performans üzerinde etkili olduğu ispatlanmıştır (Randall, 2016). Ters bükümlü yaylar çekmeye başlarken daha fazla enerji depolamaktadır. Bu nedenle yay başlarının refleksi hale getirilmesi önemli bir yenilik olmuştur (Hamm, 2000). Yay başlarının geri kıvrık olması kiriş takıldığında ön gerilim sağlamaktadır. Bu nedenle kısa bir yaydan daha fazla çekiş mesafesi elde edilir. Dolayısıyla aynı çekiş mesafesinde, basit yaylardan daha fazla enerji depolayarak okun menziline ve gücünü artırmaktadır.

Uçbükümlü basit yaylar, düz basit yaylara göre %10-40 arasında daha etkilidir (Bergman, 1993; Hamm, 2000).

Üretimi maliyetli ve zor olan kompozit yaylar ise basit yayın menziline iki veya üç katına çıkarmıştır (Drews, 1993). Basit yaylara göre kompozit yayların geliştirilmiş performansı malzeme seçimine bağlanmaktadır. Sinir gerilim altında dört kat ahsaptan daha güçlüyken, boynuz basınç altında iki kat daha güçlüdür (Randall, 2016). Yaya sinir takviyesi, kırılma riskini azaltıp, çekiş mesafesinde ciddi bir azalmaya neden olmadan mekanik olarak verimli, daha kısa bir yay yapımını mümkün kılmıştır (Knecht, 1997). Kompozit yaylar, depolanan potansiyel enerjiyi oka aktarmada genellikle daha verimlidir ve diğer yaylarda görülen tepme ve salınım meydana gelmemektedir (Miller vd, 1986). Kompozit yayın ana üstünlüklerinden biri, basit ahsap yaylar gibi güç kaybetmeden, uzun süre gergin tutulabilmesidir. Yaylar, savaş süresince kurulu halde tutulabilir ve sürpriz bir saldırı durumunda bile her zaman kullanıma hazırdır. M.Ö. 2-1. bin yıl sanat eserlerinde temsil edilen savaş arabalarında bulunan üçgen yay kılıfları, yayı hava şartlarından ve sert darbelerden korumanın yanında aynı zamanda kurulu kompozit yayın taşındığını işaretidir (Miller vd, 1986).

Kompozit yaylarda boynuz ve sinirlerin yapıştırıldığı ahsap iskelet tutkalı iyi emen reçinesiz bir ağaçtan yapılabilir. Kavak, akçaağaç ve dişbudak gibi ağaç türleri Persler, Türkler ve Eski Mısırlılar tarafından kullanılmıştır (Miller vd, 1986). Osmanlı yaylarında ova akçaağacı (*Acer campestre* L.) kullanıldığı belirlenmiştir (Gündüz vd, 2013). Çin'de bulunan yaklaşık 3000 yıllık İskit yayında kullanılan ahsabın ılgın (*Tamarix*) olduğu ileri sürülmektedir (Loades, 2016). Kurak ve tuzlu Orta Asya bozkırlarında kolay yayılış gösteren ve esnek özelliğe sahip olan ılgının kullanılma ihtimali yüksektir. ılgın hala Anadolu'da, esnekliğinden dolayı sepet yapımında da kullanılan bir türdür. Kompozit yayın üretimi için yay yapımına uygun ağaç türlerinin yetişmesi veya ticaretinin yapıyor olması gerekir. İlk bakışta, ekolojik koşulların kompozit yay gelişimine ivme kazandırdığını öne süren bu önerme mantıklı görünmektedir. Bununla birlikte, arkeolojik veriler, bu teknolojinin ilk olarak bol ve yay yapımı için uygun ahsap bulunan yerlerde ortaya çıktığını göstermektedir. Örneğin, Eski Mısırlılar yaylarını yapmak için akasya (*Acacia* sp.) ve keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua*) gibi sert ağaçları da kullanmıştır. Kompozit yayın geliştirilmesinin nedeni kullanılabilir hammaddelerin eksikliği değilse, en azından kısmen mekanik olarak üstün bir silah üretme arzusundan kaynaklanmıştır (Knecht, 1997).

Antik dünyada, çeşitli şekil ve boyutlarda kompozit yayların kullanıldığı görülmektedir. Kiriş takılı halde üçgen ve çekildiğinde yarım daire oluşturan üçgen kompozit yaylar, Mezopotamya, Mısır ve Asur gibi medeniyetler tarafından kullanılmıştır. Keskin açılı bir kasan ve baş kısmına sahip kompozit yaylar, İskitler, Hunlar gibi Orta Asya devletleri tarafından yaygın olarak kullanılmıştır (Grayson, 2007). Çin'de kompozit yayın kullanılmaya başlaması M.Ö. 1700-1000 yılları arasına tarihlenmektedir (Yadin, 1963). Kompozit yayın icadı, Yakın Doğu askeri teknolojisinde önemli bir gelişme olmuştur. Kompozit yaylar, basit yaylardan daha güçlü ve daha kısa olması nedeniyle at üstünde daha kolay kullanılıyordu. Kanıtlar, kompozit yayın M.Ö. 4. bin yılın sonlarında bulunduğunu ve bu teknolojinin

tüm bölgeye yayıldığını gösteriyor. Kompozit yayların yapımı güç ve beceri istediğinden, yapımı için bir yıldan fazla süre gerektiği tahmin edilmektedir (White, 2020).

Sinir takviyeli kompozit yay teknolojisinin menşei Asya olup daha sonra diğer yerlere de taşınmıştır (Knecht, 1997). Kompozit yayların Erken Demir Çağında (yaklaşık M.Ö. 1200) itibaren Orta Asya'da ve Mezopotamya'da kullanıldığı bilinmektedir (Ceylan vd, 2020; Eser, 2022). Mezopotamya ve çevresinde M.Ö. 3. binyılın ortaları ile sonları arasında, yerleşim yerlerinde işlenmiş boynuz örneklerinin varlığı kompozit yay yapıldığını göstermektedir (Miller vd, 1986). Kompozit yayların net örnekleri, M.Ö. 3. bin yılın ortalarında Mezopotamya'da ve Akad sanat eserlerinde görülmekte, M.Ö. 2. bin yılın sonları ve 1. bin yılın başlarındaki sanat eserlerinde yaygın olarak temsil edilmektedir (Miller vd, 1986). Kompozit yayın en eski buluntuları, Sibirya'daki Baykal Gölü'nün kuzeybatısındaki M.Ö. 3. bin yılın sonuna tarihlenen boynuz şeritleridir (Ragnar, 2002). Mezopotamya'da M.Ö. 3. bin yılın ortalarında, Levant ve Mısır'da M.Ö. 2. bin yılın ortalarından itibaren savaşta kompozit yayların varlığı göze çarpmaktadır (Miller vd, 1986). Kompozit yayların pişmiş toprak eserlerdeki tasvirleri M.Ö. 4980'e tarihlenmesine rağmen, yaklaşık M.Ö. 2500-2250 yıllarına kadar gittiği iddia edilmektedir (Yadin, 1963).

Kompozit yaylar, hem Mezopotamya ve Anadolu'daki devlet düzeyindeki toplumlar, hem de Orta ve Kuzey Asya'nın bozkır bölgelerindeki göçebe kabile kültürleri tarafından ayrı ayrı ama aynı anda geliştirilmiş görünmektedir (Lepola, 2015). At üzerinde yay kullanımı ile kompozit yayın gelişiminin bağlantılı olduğu, atlı ulaşımının, hız ve manevra kabiliyetinin gerektirdiği yerlerde kısa ve güçlü bir yayın geliştirilme ihtiyacından doğduğu ileri sürülmektedir (Miller vd, 1986). At sırtında uzun bir yay hantaldır. Gücünü korurken, yayı kısaltmak için yüksek performanslı malzemelerin kullanılması gerekir (Ragnar, 2002). Atın ilk defa M.Ö. 4000 yıllarında göçebe çobanlar tarafından Karadeniz'in kuzeyindeki bozkırlarda evcilleştirildiği bilinmektedir (Morillo vd, 2009). Bu tez atı ilk defa Asya'da M.Ö. 3200 yıllarında evcilleştiren ve kullanan İskitler gibi (Cernenko vd, 1983) Asya toplumları için mantıklı görülmektedir. Hareketli ve göçebe hayat süren bu toplumlarda avlanmak ve kendilerini korumak için sürekli silah geliştirmek zorunda olduklarından, ellerindeki malzemelerle en iyi saldırı silahı olan kompozit yayı geliştirmiş olmaları doğaldır. Kısaldığı, hafifliği, gücü, isabet kabiliyeti gibi özellikleri nedeniyle at üzerinde savaşta etkin kullanımı olan bir yay ancak kompozit yay tasarımı ve yapımı ile mümkün olmalıdır. Ok ve yayın at sırtında kullanılabilmesi için oldukça kısaltılmış ve hafifletilmiş olması icap eder ki aksi halde at üstünde hareket kabiliyetini kısıtlayacaktır. Bu bakımdan ilk kompozit yay örneklerinin Orta Asya'da ortaya çıktığı söylenebilir. Knecht (1997)'de bu görüşe katılarak, Asyalı atlıların, kullanım kolaylığı nedeniyle büyük olasılıkla daha kısa bir yayı tercih ettiklerini ve daha sonra diğer malzemelerle gücünü artırdıklarını belirtmektedir. Hunlar, Moğollar ve Avrasya bozkırlarından gelen diğer göçebe topluluklar, büyük topraklara hükmetmek için at sırtında kompozit yayı



kullanmıştır (Grayson, 2007). Grayson (2007)' da bu teoriyi destekleyerek kompozit yay tasarımının M.Ö. 3. bin yılda Orta Asya ve Orta Doğu'nun çeşitli kültürleri arasında bağımsız olarak ortaya çıkmış olabileceğini bildirmektedir. Kompozit yayların Yeni Asur İmparatorluğunda ilk örnekleri, Akad dönemindeki bir tasvirde M.Ö. 2200 yılına tarihlenmektedir (Kavak, 2022).

Kompozit yayların kullanıldığı Kadeş savaşı M.Ö. 1275 yılında II. Ramses zamanında (M.Ö. 1279-1213) Hititlerle yapılmış ve barış anlaşmasıyla sonuçlanmıştır. İskitlerden sonra gelen Anadolu kavimlerinden olan Hititlerin kompozit yay kullandıkları bilinmektedir (Bryce, 2007). Savaşta Hititlerin hafif vurucu gücü olan okçular önemli rol oynamışlardır. Bu savaşta Mısırlıların porsuk ağacından yapılmış kompozit yay kullandıkları, hafif okçu birliklerinin kullandığı yayların taşın çekişmiş ahşap üzerine boynuz ve sinirle yapıldığı bildirilmektedir (Buttery, 1974; David, 2009). Bütün halde hem kompozit hem de basit yaylar Tutankamun'un mezarında (M.Ö. 1332-1323) bulunmuştur. Bu yayların dördü dışında tümü köşeli kompozit yaylardır. Thutmose I mezarından çıkarılan kompozit yay ise M.Ö. 1526-1508 tarihlenmektedir. Mısır'daki kompozit yaylar 17. veya 18. hanedan zamanına, M.Ö. 1600 ile 1500 arasına tarihlenebilir. 11. hanedanlığa ait tipik çift içbükey basit yaylar ise kabaca M.Ö. 2000'e tarihlenir. Mısır'da bir çift antilop boynuzundan yapılmış en eski kompozit yay M.Ö. 3200 ile 2950 arasına tarihlenmektedir. Mısırlılarda yayın gelişimi üç aşamada değerlendirilebilir. İlki, M.Ö. 2300-

1850 dönemini kapsar ve Hiksos istilasından hemen önceki döneme ait köşeli profile sahip yaylardır. Köşeli yay profilinin Mezopotamya'da yaklaşık M.Ö. 2300'e kadar devam ettiği anlaşılmaktadır. Mevcut kaynaklardan hiçbirinde, Hiksos'un Mısır'ı işgalinden önce kompozit yayın varlığına dair kesin delil yoktur ve Nil vadisinde M.Ö. 1678'den önce Hiksos prenslerinin zamanına kadar mevcut değildir. İkinci bölüm, M.Ö. 2400-1900 yıllarını kapsar ve büyük olasılıkla olimpik tasarıma sahip olan, çift içbükey profilli yaylardır. Üçüncü bölüm M.Ö. 2400 öncesi dönemdeki yaylar çift içbükey profile sahiptir. Piramit metinlerindeki farklı yay örnekleri, M.Ö. 2353-2323 arasına tarihlenmektedir (Yadin, 1963; Clark vd, 1974). Eski Mısır yay örnekleri birçok farklı bölgede rastlanmasına rağmen en ünlü ve iyi korunmuş olanlar Tutankamun'un mezarından çıkarılmıştır (Şekil 2). Bunlardan kompozit yay olanlarında, dişbudak, huş ve kiraz ağaçlarının kullanıldığı belirlenmiştir. Mısırlıların yay imalatında en yaygın akasya (*Acacia* sp) olmak üzere, çaltı (*Paliurus spina-christi*) ve ılgın (*Tamarix nilotica*, *T. aphylla*), keçi boynuzu (*Ceratonia siliqua*), yabani hurma (*Diospyros* sp), Senegal abanozu (*Dalbergia melanoxylon*) gibi ağaç türlerini de kullandıkları bilinmektedir. Mısır için yerli olan bu türlerin dışında, dişbudak (*Fraxinus ornus*), huş (*Betula* sp), şimşir (*Buxus* sp) gibi türler de Anadolu veya Suriye'den tedarik edilmiştir. Kirişlerinin ise keten ve bağırsaktan yapıldığı belirlenmiştir. Kullanılan kompozit malzemeler hakkında bilgi verilmemiştir (McLeod, W. 1970; Clark vd, 1974; Western ve McLeod, 1995; Loew, 2013).



Şekil 2. Tutankamun'un Mezarından Çıkan Yaylar (Spalinger, 2005).  
Figure 2. Bows from Tutankhamun's Tomb (Spalinger, 2005).

M.Ö. 2400'den önce yay profilinde değişiklik gözlenmektedir. Yapılan ikonografik analizler, basit yaylardan kompozit yaylara geçişin M.Ö. 3000'den en az birkaç yüzyıl önce gerçekleştiğini göstermektedir (Yadin, 1963). Mezopotamya'da M.Ö. 3800-3100 arasındaki dönem, kompozit yayların ikonografik eserlerde bir geçiş dönemini temsil etmektedir (Yadin, 1963). Bu geçiş döneminde (M.Ö. 3800-3100) yaygın olan yay profili çift içbükeydir ve statik bir tasarımdan (sert-katı baş kısımlara sahip yaylar) ve geniş, düz yay kollarından oluşmaktadır (Yadin, 1963).

M.Ö. 3800-2400 arasındaki dönemde, yayların baş kısımları bükülmeyen, günümüzdeki kompozit yay tasarımına benzer profile ortaya çıkmıştır. M.Ö. 3000'den itibaren, bölgedeki tüm ikonografik deliller, yay uzunluklarının 150 cm'den az olduğunu göstermektedir. Mısırlılar'da basit yaydan kompozit yaya geçişin tedrici olduğu söylenebilir. Tutankamun'un mezarındaki basit yayların varlığı bu yay yapım tekniğinin muhtemelen bir süre daha devam ettiğini göstermektedir. Basit yaylar, M.Ö. 4. bin yılın sonunda aşamalı olarak kullanımdan kalkmış, M.Ö. 2400 yılına gelindiğinde, çift içbükey profilli form, daha sonra yerini

uzun başlara sahip dinamik olimpik yay tasarımına bırakmıştır. M.Ö. 1850 yılından önce, çift içbükey profilli yayların ikonografik temsilleri ortadan kalkmış ve yerini köşeli profilli yaylar almıştır. Köşeli yaylar, ikonografik kayıtlarda ilk kez yaklaşık M.Ö. 2300'de ortaya çıkmıştır. Çift içbükey yaylar 3. bin yılın büyük bir bölümünde Mezopotamya ve Elam ikonografisinde görülmeye devam etmiş, ancak M.Ö. 2400'lerde yay tasarımı, statik dışbükey yaydan, dinamik dışbükey yay tasarımına geçiş yapmıştır (Yadin, 1963). M.Ö. 3. bin yıl ve erken 2. bin yıl boyunca ahşap yaylar, Mısır'da ve Doğu Akdeniz'de savaşlarda kullanılmıştır. Mezopotamya'da basit ahşap yaylar, kompozit yayın kullanılmaya başlandığı M.Ö. 3. bin yılın ortalarına kadar birincil silahlardan biri olmuştur (Miller vd, 1986).

Orta Çağ'dan modern döneme kadar, kompozit yay, Asya'nın yanı sıra Doğu Avrupa'nın bazı bölgelerinde baskın bir menzil silahı olarak kullanılmıştır (Grayson, 2007). Doğu toplumlarında olan Avarlar, Avrupayı istila ettiği Ortaçağ dönemi başlarında kompozit ve ters bükümlü yayları kullanmışlardır (Hamm, 2000). Kompozit yay tasarımındaki değişiklikler, Asya halkları arasında nispeten yakın zamanlara kadar devam etmiştir. Örneğin MS 17. yüzyıl Türk okçuları yaylarını yaklaşık 116 cm'ye kadar kısaltmışlar (Knecht, 1997) form ve yapım tekniği bakımından emsallerinden çok daha verimli yayları meydana getirmişlerdir.

Yaydaki verimsizliğinin büyük çoğunluğu yay kollarının geri dönüşündeki enerji kaybına bağlıdır. Verimli bir kompozit yay çekiş gücünün % 80'inden fazlasını okta aktarabilmelidir. Verimlilik açısından salın gösterdiği salınım hareketi yay kütlesinden daha önemlidir. Salınımın artırılması hızın düşmesine neden olmaktadır. Aynı profile sahip yaylar karşılaştırıldığında basit yaylarda enerji transfer verimliliği % 45 iken kompozit yaylarda % 80 den daha fazla olmaktadır. Bu aktarılan fazla enerji menzilde %75'lik bir farka tekabül etmektedir. Bu bakımdan kompozit yay kullanımının birincil avantajı ok menzilini artırmasıdır (Yadin, 1963). Bu veriler kompozit yayların basit yaylara göre üstünlüğünü kanıtlamaktadır. Yayın verimliliği savaşta düşmana karşı üstünlük kurmada ve savaşın kaderini belirlemede önemli bir unsurdur. Yay gücünün ve menzilin artması düşmanın hedef menziline girmeden ve zarar görmeden, daha uzak mesafeye ok atabilme kabiliyeti ile mümkün olabilmektedir. Bu bakımdan savaşlarda kompozit yay kullanan ordular, basit yay kullananlara karşı zafer kazanmada önemli bir üstünlük elde etmektedir. Kompozit yayların üstünlüğü sadece enerji verimliliği ile sınırlanmamalıdır. Basit yayların yanında kullanım kolaylığı ve uzun ömürlü olmaları da diğer üstün yanları olarak görülmelidir.

Kompozit yayın bilinen şeklini alması mutlaka uzun bir zaman sürecinde gerçekleşmiş olmalıdır. Muhtemelen önceleri basit yaylara keten gibi doğal bitki liflerinin dōşenmesi suretiyle, daha sonraları ise sal kısmına boynuz ve sinir dōşenerek kompozit yaylar geliştirilmiş olmalıdır. Loades (2016) ve Murdoch (1890) Kızılderili'lerin yayların kırılmasını önlemek için sinir şeritlerle desteklenmiş ahşap yaylar kullandığını bildirmektedir. Bu bilgi kompozit yayların ortaya çıkmasından önce de basit yayların

yapımında, sal kısımlarında sinir veya bitki lifleri gibi farkı elastik malzemelerin kullanıldığı tezini doğrulamaktadır. Bu liflerin dōşenmesi yayın kırılmasını önlediği gibi emsallerine göre çekiş kuvvetini önemli derecede arttırmış olmalıdır. Uzun basit kompozit yayların ebatlarından dolayı kullanma güçlüğü, daha ağır olması ve savaş arabalarında daha küçük yaylara ihtiyaç duyulması, bugünkü forma yakın uçbükümlü refleks yayların gelişimini sağlamış olmalıdır. Bu gelişim, basit yayların sal kısımlarının sinir veya başka lifli malzemeler ile desteklenmesi suretiyle kırılmaların önlenmesi, iç kısımlarına boynuz vurulması ile çekiş kuvvetlerinin artırılması ve daha sonra ise Firavunlar devrinde örnekleri görülen köşeli yay formlarının geliştirilmesi ve en son olarak da baş ve kasan kısımlarının geriye doğru bükülerek yapılan günümüz kompozit yaylarına benzer bir form ortaya çıkması olmalıdır. Çünkü yayı çekerken kaldıraç görevi gören kasan ve baş kısımları aynı çekiş mesafesinde daha fazla enerji depolanmasını sağlamıştır.

### 1.6. At, savaş arabaları ve kompozit yay kullanımı

Eski ordular çoğunlukla aynı tür teçhizatla savaşmış, ancak basit yay yerine kompozit yay, bakır yerine bronz, bronz yerine demir gibi yeniliklerin devrim niteliğinde etkileri olmuş, hatta at, savaş arabası ve kompozit yaydan oluşan silah sisteminin nükleer çağa kadar etkisi görülmüştür (Bradford, 2001). M.Ö 4000 yıllarında evcilleştirilen at, savaşlarda 3200 yıllarında kullanılmaya başlanmıştır. Atın hareket kabiliyeti başka bir bozkır yeniliği olan kompozit yay ile birleştirildiğinde yıkıcı bir taktik sistemi elde edilmiş, hareketlilik ve atış gücünü bir araya getirmiştir. Kompozit yayın nispeten küçük boyutu, at sırtında kullanan biri için ideal bir silah haline getirmiştir. Atın ilk defa bir savaş aracı yapılması ve okçu-süvari ordularının ortaya çıkışı Türklerin eseri olmuş ve askeri üstünlüklerini bu sayede sağlamışlardır. Yeni bir silah sistemi olan savaş arabalarının ilk defa M.Ö. 1700'lü yıllarda kullanılmaya başladığı düşünülmektedir. Atların hızı, kompozit yayın olağanüstü atış gücü ve uzun menzili, savaş arabalarını seçkin bir silah haline getirmiş ve Geç Tunç Çağı'nın en üstün silahı olmuştur. Savaş arabaları düşmana uzun mesafeden ok atışları yapılmasına ve hızla geri çekilmesine imkan vermiştir (Klopsteg, 1987; Aydoğan, 2005; Morillo vd., 2009; Vidal, 2010; Genz, ve Mielke, 2011).

Orta Krallık rölyefleri, (M.Ö. 2040 - 1785) Mısırlıların tek parça, güçlü esnek ağaçlardan yapılmış yaylar kullandığını gösteriyor. Kompozit yayın Mısır'a ne zaman geldiği tam olarak bilinmemekle birlikte yay ve savaş arabasının Mısır'da kullanılmaya başlanması Hiksos istilasıyla ilişkilendirilmekte ve bu kompozit teknolojinin en erken M.Ö. 1900 ile en geç M.Ö. 1700 arasında geldiği birçok bilim insanı tarafından kabul edilmektedir (Yadin, 1963; Spalinger, 2005; Randall, 2016). Mısır'a Ön Asya'dan M.Ö. 1710-1600 yılları arasında olan bu göç hareketi Mısır'ın yaşadığı ilk geniş çaplı ve uzun süreli istila hareketidir. Hiksos'lar kompozit yayları sayesinde savaşlarda Mısırlılara karşı üstünlük sağlamışlar (Buttery, 1974) ve Mısır'a 200 yıla yakın (Bradford, 2001) egemen olmuşlardır. Hiksos'ların içinde Hint-Avrupa ve hatta Asyalı kavimler

bulunmakta fakat büyük kısmını Sami kavimler oluşturmaktadır (URL1). Atlı savaş arabalarının ve kompozit yayın Hiksos tarafından M.Ö. 1782 tarihinden kısa bir süre önce Mısır'a getirildiğine inanılmaktadır. Eski Mısır'a kompozit yayım tekniklerinin gelişinden sonra en az birkaç yüzyıl boyunca basit yayların üretimi ve kullanımı devam ederken, kompozit yayların benimsenmesi Firavun I. Ahmose (M.Ö. 1539-1514) ile olmuştur (Yadin, 1963; David, 2009). Geleneksel savaşma biçimini altüst eden bu yeni savaş taktiği, dikkati daha çok okçuya odaklamıştır. Hiksos Dönemi, geleneksel olarak Nil Vadisi'nde askeri teknolojide büyük bir değişikliğin gerçekleştiği zaman olarak kabul edilmiştir. Mısırlılar M.Ö. 1400-1390 yıllarında IV. Thutmose'un saltanatı sırasında basit içbükey yaylarını üçgen kompozit yaylarla değiştirmeye başlamıştır (Spalinger, 2005).

Güney Mezopotamya'da (M.Ö. 2125) ve Mısır'daki İkinci Orta dönemin sonunda (M.Ö. 1539-1514) yay kullanımı savaş arabasıyla ilişkilendirilmektedir. Savaş arabalarının mobil okçuluk platformu olarak benimsenmesiyle birlikte kompozit yay boyutu önemli hale gelmiştir. Savaş arabasının icadı hareketli bir okçuluk platformunu yaratmış ve kompozit yayın icadı ile birlikte Orta ve Geç Tunç Çağı dönemlerinde ve Demir Çağı'nda (yaklaşık M.Ö. 1200) antik Yakın Doğu'da savaşların yönünü belirleyici rol oynamıştır (Yadin, 1963; Hamm, 2000). Savaşlarda uzun yaylı yaya okçuların manevra kabiliyetinin az olması, savaş arabalarıyla karşı karşıya kaldıklarında bir handikap teşkil etmekteydi. Kısa kompozit yaylar savaş arabasında ve at üzerinde yayı daha kullanışlı hale getirmiştir. M.Ö. 3. binyılın ortalarına doğru Mezopotamya savaşında atlı arabaların kullanılmaya başlanmasından kısa bir süre sonra, doğru, güvenilir ve daha iyi manevra imkânı sunan kompozit yayın ortaya çıkışı tesadüf değildir (Miller vd, 1986; Randall, 2016). Hititlerde de savaş arabaları seçkin birlikler içerisinde yer almaktadır (Morillo vd, 2009). M.Ö. 3. bin yılın ortalarında savaş arabasının kullanılmaya başlanması, daha kısa yaylara yönelik eğilimi güçlendirmiştir (Ragnar, 2002).

Savaş arabasının ve kompozit yayın tam olarak ne zaman ortaya çıktığı ve kabaca aynı zamanda ortaya çıkıp çıkmadıkları ele alınmamıştır, ancak bazı yazarlar hem savaş arabasının hem de kompozit yayın aynı anda geliştiğini düşünmektedir. M.Ö. 2. bin yılın başlarında savaş arabaları önemli bir askeri ünite haline gelmiştir. Kompozit yay ve savaş arabası arasındaki bu ilişki, doğal olarak, savaş arabası okçuluğunun, kompozit yayın tasvir edilip edilmediğini belirlemek için ikonografideki yay profilleri incelenmiş ve savaş arabasının kompozit yayın gelişimi için itici güç olmadığı anlaşılmıştır (Yadin, 1963). Bu teori ilk defa savaş arabası kullanan toplumlar için geçerli olabilir ama atla savaşmaya alışkın Orta Asya toplumlarında at üzerinde kullanımı için yayın kısa ve güçlü olması gerektiği açıktır. Bu bakımdan kompozit yay gelişimini savaş arabaların gelişimine paralel kabul etmek doğru bir teori olmayacaktır. Savaş arabalarında kompozit yay kullanımı avantaj sağlamaktadır. Çünkü okçunun hareket halinde ve her yöne atış yapması zorunluluğu varsayıldığında uzun bir yayın savaş arabasında verimli olarak kullanımı mümkün

görünmemektedir. Drews (1993)'de Kompozit yayların savaş arabası savaşçıları için uygun olduğunu ifade etmektedir. Fakat kompozit yayın gelişimi savaş arabalarının ortaya çıkışına dayandırılmaz. Savaş arabalarının benimsenmesi, ok menziline artırması nedeniyle muhtemelen kompozit yayın kullanımını teşvik etmiştir. Kompozit yaylar basit yayın menziline iki veya üç katına çıkarmıştır. Menzildeki bu artış o kadar önemlidir ki kompozit yay hızla yayılış göstererek M.Ö. 2. bin yılın başlarında Mezopotamya ve Mısır'da savaş arabaları ile birlikte etkili şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Yadin, 1963; Drews, 1993). Bu bakımdan savaş arabasının kullanılması, önceden var olan kompozit yay teknolojisini, Tunç Çağı sonunda daha etkili hale getirmiştir (Randall, 2016). Kompozit yapıyla geliştirilmiş performans, artan hareket kabiliyeti ile birlikte eklenen menzil, antik dünyanın savaşlarında güçlü bir kuvvet çarpanı olmuş, benimsenmesini ve savaş arabalarında kullanımını teşvik etmiştir (Yadin, 1963).

### 1.7. Avrupa'da kompozit yay kullanımı

Tarih öncesi kuzey-batı Avrupa'da kullanılan yaylar basit yaylardır (Kooi ve Bergman, 1997). İsviçre'de nadir bir Neolitik buluntu dışında, Ortaçağ Batı Avrupa'sında kompozit yaylara dair hiçbir arkeolojik kanıt yoktur ve genel kabul gören husus, kompozit yayın Batı Avrupa'daki Cermen kavimlerinde hiçbir zaman geniş çapta benimsenmediğidir. Ortaçağ'ın sonunda kompozit yay kullanıma dair kanıtlar özellikle, İtalya'nın belirli bölgelerinde bazı metinlerde ve Geç Ortaçağ arkeolojik kanıtlarında rastlanmıştır. Fakat bu kompozit yay resimlerinin Müslümanlarla ticaret yapan bölgelerde rastlandığı belirtilmektedir. 1360 tarihli Macar kroniklerinde kompozit yaylarla tasvir edilmiş askerler görülmektedir. İncilde'de kompozit yay ihtiva eden tasvirler bulunmaktadır. Fakat bu kaynaklar Avrupa'da kompozit yayın kullanıldığına delil kabul edilmemektedir. Kompozit yay kullanılmamasının nedenleri olarak aşırı nemli Avrupa ikliminin kompozit yayların çürümesine neden olduğu ve Avrupalı askerlerin kompozit yayın kullanımını bilmemeleri ileri sürülmektedir (Gorman, 2016; Kozowyk vd, 2020). Diğer neden, karmaşık yayım tekniğini kavrayamamış olmaları veya yay yapımına uygun malzeme bulamamaları olabilir. Çünkü kompozit yayların yapımı uzun süren ve oldukça gelişmiş beceriler gerektirdiğinden yüksek statülü ve maliyetli silahlardır (Yücel, 1999; Loades, 2016). Tüm protein bazlı tutkallar iklim şartlarından, özellikle nemli koşullardan kolay etkilenmektedir. Uygun muhafaza edilmedikleri takdirde mikrobiyal bozulmaya eğilimlidir. Bu nedenle muhtemelen arkeolojik kayıtlarda protein bazlı tutkallara fazla rastlanmamaktadır (Langejans vd, 2022). Yadin (1963)'de bu görüşe katılmakta ve ahşap, kemik, boynuz, geyik boynuzu ve sinir gibi yayı oluşturan malzemelerin fiziksel bozulmaya maruz kaldığından, antik dünyadan kalan yay kalıntılarının nadir olduğunu belirtmektedir.

Kompozit yayın batı dünyasına girişi M.Ö. 63-MS 14 yıllarında doğudan gelen Part paralı askerleri ile olduğu bilinmektedir. Avrupada rastlanan kompozit yay örnekleri

ise Hunlar gibi savaşçı toplumlara aittir. Sibirya bölgesindeki mezarlarda M.Ö. 3000-2000 yıllarına ait boynuz yaylar tespit edilmiştir. Bu yaylar ters bükümlü olmayan basit formda ve kasansız, boyları 102-150 cm arasında değişen sadece ahşap ve boynuz kullanılarak yapılan kompozit yaylardır (Hamm, 2000). Avrupa'da ahşap, sinir ve boynuz kullanılarak yapılan ilk kompozit yay ise Yrzi yayıdır. Bu yayın da kasan kısmı yoktur (Hamm, 2000). Yunan seramik betimlemelerinde ters bükümlü kompozit yaylar tasvir edilmesine rağmen, bu tasarım Yunanistan'a özgü değildir. Muhtemelen paralı savaşçılar olan İskit yaylarından esinlenerek resimlenmiş olmalıdır (Bowyer, 2017). Kompozit yay çok daha sonraları 16. yüzyılda Osmanlılar tarafından bir kere daha Avrupa ortalarına kadar götürülmüştür (Yücel, 1999).

### 1.8. Türklerde kompozit yay kullanımı

Dünya tarihinde askerlik ve harp sanatı açısından dikkat çeken milletlerin başında Türkler gelmektedir (Eralp, 1993). Orta Asya bozkırlarının diğer göçebe halkları gibi, Türkler de üstün atlılar ve tecrübeli savaşçılar olup kompozit yay ve kılıç konusunda uzmandılar (David, 2009). Bulunduğu zorlu coğrafyada hayatta kalmanın tek yolu sağlam bir ordu ve üstün silahlara sahip olmaktı. Bu bakımdan silah yapımı Türklerde en üst düzeyde gelişme göstermiş, mükemmel yaylar üretmiş ve bunları maharetli bir şekilde kullanmışlardır (Göksu, 2013; Küçük, 2018). Ok ve yay kullanımı Orta Asya toplumları için adeta bir zorunluluktur. Hareketli ve mücadeleli hayatlarını sürdürmek için ata ve at sırtında kullandıkları ok-yaya muhtaçtı. Göçebe, bozkırdaki hareketli hayatında gerek av gerekse düşmanla karşılaştığı kısa fırsat anını değerlendirmek zorundadır. Beslenme ve savunmasını sağlayan bir araç olarak ok ve yay göçebe insanın hayatında belki attan bile daha önemli yeri vardı. Hatta ok ve yay bu kültürü yönlendiren unsur olmuş, eski Türklerde yay göğü temsil ettiğinden kutsal sayılmış ve şaman ayinlerinde ve Türk boylarının yarışmalarında kullanılmıştır (Ögel, 1971; Yücel, 1999; Mikhailov ve Kainov, 2011; Yönel ve Türkmen, 2017). Türk kompozit yayı hakkındaki bilgileri yabancı kaynaklardan öğreniyoruz. Bunun sebebi ise M.S. 6. yüzyıla kadar eski Türk devletlerinin yazılı belge bırakmamış olmalarından kaynaklanmaktadır (Bozdemir, 1982). Türk yayının nasıl ortaya çıktığına tercih ettikleri bozkır yaşamı açıklık getirebilir. Henüz çocuk yaşta at binme ve yay kullanmaları nedeniyle Türkler için at ve yay ayrılmaz bir ikili olmuştur. At üzerinde yayın kullanışlı olması, yani okçunun hareket kabiliyetini sınırlamaması gerekiyordu. Uzun yaylar at üzerinde okçunun hareket kabiliyetini sınırlayacağından daha kullanışlı yapıya sahip olan kısa Türk kompozit yayını geliştirmişlerdir (İkibeş, 2022).

Ok ve yay Türklerin hayatlarının ayrılmaz bir parçası olmuştur. Buna bağlı olarak okçu millet olarak tarihte yer edinmeleri Türklerin en müstesna ve mümtaz özelliği olmuştur. Mete Han'ın, "Ok ve yay gerebilen kavimleri bir aile gibi birleştirdim, şimdi onlar Hun oldular" şeklindeki açıklaması bunun en güzel delilidir. 26 adet büyüklü küçükü devleti ortadan kaldırarak, Hun siyasi birliğini kuran Mete Han, ok ve yay kullanmakta diğer milletlerden

üstün tuttuğu Türkleri bu şekilde izah etmiştir (Çay, 2009; Metin, 2014; Gumilev, 2005). Orta Asya'da Hunlar döneminden kalma kompozit yay örnekleri bulunmuştur (Reisinger, 2010). Savaşlarda en mükemmel okçular olarak yetiştirmek ve orduyu yönetmek üzere, kendi icat ettiği "ötkün" okları icat etmiştir (Brion, 2018).

Tarihte geniş topraklara sahip ilk okçu millet İskitlerdir (Sakalar). İskitlerin tüm antik dünyada ün kazandıkları silah ok ve yaydı (Yücel, 1999; Cunliffe 2019). İskitlerin dinlerinin, dillerinin, sanatlarının, gelenek ve göreneklerinin eski Türklerle bağlantıları ve çok yönlü benzerlikleri, İskitlerin büyük çoğunluğunun, özellikle hâkim tabakanın Türk olduğu kanaatini doğurmaktadır. Kendilerinden sonra tarih sahnesine çıkan bozkır kavimleri, özellikle Türk kökenli kavimlerin kültürleri ile İskit kültürü arasındaki paralellik ve benzerlikler de ayrıca dikkate değer bir husus olarak görülüyor. Hatta Sakalar'a ismini veren Sa/Sak kelimesinin birçok Türk lehçesinde yaygın anlamlarından biri "yay" dır. Ayrıca, Sakaların çok iyi yay ve ok kullanmaları, bu özelliklerinin hem yazılı kaynaklar ve hem de arkeolojik bulgularla tespit edilmesi, onların adının yay ve okun birleşmesinden oluştuğu tezini kuvvetlendirmektedir. Bu bakımdan İskit/Saka adıyla anılan toplulukların Türk kültürü dairesi içinde yer aldıkları ortaya konulmuştur. Ural-Altay ırkına mensup bir kavim olduğu ve hatta Türk oldukları tezi gitgide bilim dünyasında kabul edilen göçebe İskitler (Durmuş, 2007), Asya'nın geniş bölgelerini kapsayan başarılı okçular ve atlılardı. Hatta İskit ordusu, çok az yaya birlikleri hariç, süvarilerden oluşmaktaydı (Knecht, 1997; 2008; Durmuş, 2019). Savaşlara at üzerinde yay kullanabilmek için kısaltılması gerektiği anlaşıldığından, İskitlerin savaş taktiklerini oluşturmada kompozit yayın etkisi büyük olmalıdır. Atın üzerinde yay gerip ok atabilme ve ani saldırıp geri çekilebilme kabiliyeti üstünlüklerinde önemli etken olmuştur. At üzerinde yay etkili bir savaş silahı hâline getirmişler ve saldırı silahları arasında ok ve yay ile "uzak savaş" usulünü benimsemişlerdir. İskitler yiğitliği ve kabiliyeti, atlarının hızı, yay ve oklarının mükemmelliği sayesinde istedikleri coğrafyayı kendilerine yurt edinmişlerdir (Durmuş, 2008).

Farklı yer ve zamanlarda imal edilmiş ve kullanılmış olmasına rağmen ilk yapılan kompozit yaylar İskit yaylarıdır (Loades, 2016; Durmuş, 2019). İskitlerde kurgan kültürünün olması, açılan mezarlarda, arasında kompozit yay olan birçok eşyanın elde edilmesini sağlamıştır (Cernenko vd, 1983; Tarhan, 2002; Durmuş, 2007, 2008; Cunliffe, 2019) (Şekil 3). İskit erkekleri ve kadınları kompozit İskit yayını çok iyi kullanan savaşçılardı. Silah teknolojisinde büyük bir ilerleme kabul edilen kompozit yay, okların daha hızlı ve daha uzağa uçmasını sağlamaktaydı (Simpson ve Pankova, 2017). İskitler kompozit yayın çekiş mesafesini ve etkinliğini en üst düzeye çıkarmıştır. Uzaktan atışı esas alan bu bozkır savaş sisteminde ok menzili 500 metrenin üzerinde, hatta doğu bozkırlarında menzilin 660- 884 metre arasında olduğu bilinmektedir (Durmuş, 2008). M.Ö. 3. yüzyılda, savaş taktikleri ve koruyucu zırhlardaki değişiklikler, temel İskit yay tasarımında değişiklik yapılmasını gerektirmiş, Hunlar ve Avarlar gibi Orta Asya

halkları, yaylarının baş kısımlarını keskin açılı tasarlamışlardır. Yayı kısaltan bu form değişikliği, kiriş takıldığında meydana gelen ön gerilim sayesinde çekişe

başlarken daha yüksek bir çekme kuvveti oluşturmuş ve enerji depolamasını arttırarak daha ağır bir okun daha verimli bir şekilde atılmasını sağlamıştır (Knecht, 1997).



Şekil 3. Kul'-Oba Altın Sürahi Üzerinde Karakteristik Giyimli İskit Savaşçısı Kompozit Bir Yayı Germesinin Tasvir Edilmesi (Cunliffe 2019).

Figure 3. A Depiction of Scythian Warrior, in Characteristic Clothing, Stretching a Composite Bow on a Kul'-Oba Gold Jug (Cunliffe 2019).

Stratejik ve taktiksel hareketlilik göçebelerin askeri başarısının anahtarıydı. Bozkır halkları sürülerini ve otlaklarını korumak için savaşırken, kendilerine özgü ve son derece etkili bir savaş yöntemi olan atlı okçuluğu geliştirdiler. At sırtındayken kullanımı kolay olan kısa ve güçlü kompozit yaylar kullandılar. Buna kompozit yaylarından ve yaşam tarzlarından türetilen eşsiz askerlik becerileri ve isabetli atış yeteneklerini de eklediler. Dakikada yirmiden fazla oku yüksek bir isabet ve hızla atış yapıyorlardı (Morillo vd., 2009; Hinds, 2010). Örneğin Partlar, geri çekilirken at sırtında ok atma taktikleriyle ünlenmişti. Part atışı olarak tanımlanan ve aslında İskitler tarafından geliştirilen at üzerinde geri dönerek yapılan ok atışı ile takip eden düşmanlara kayıplar verdirdikleri bir taktik uygulamışlardır. Bu taktik Urartular tarafından da uygulanmıştır (Cunliffe, 2019; Belis ve Colburn, 2020). İskit kompozit yayları kısa olduğundan at üzerinde kullanıma uygundur. İskitler kahramanlıkları ve savaş taktikleriyle de birçok kavimden farklılık göstermiştir. Onlara saldıranlar ellerinden kurtulamazdı, hepsi atlı ve ok atarak savaşmışlardır. Eski Türk toplulukları da aynı şekilde mücadele etmekteydiler. Türkler at üzerinde yayı etkili bir savaş silahı haline getirmişler ve at sayesinde süratli manevra kabiliyetine sahip oldukları için "uzak savaş" usulünü benimsemişlerdir (Tarhan, 2002).

Hemen hemen tüm Asya'da kompozit yay kullanılmıştır (Kooi, 1993). Basit bir ahşap yay ile aynı kütleye sahip bir kompozit yayın çok daha büyük bir çekiş gücüne sahip olması menzil atışlarındaki performansını açıklamaktadır. Buna, oldukça refleks ve çok hafif olmasına rağmen çok güçlü ve uzak mesafelere ok atabilen Türk yayları örnek verilebilir (Kooi ve Bergman, 1997). Birçok millet, boynuz ve sinirden yapılan kompozit yayları kullanmasına rağmen, olağanüstü gücü, etkinliği ve aynı zamanda küçük, zarif ve hafif yayların yapımında hiçbiri Türkler kadar uzmanlaşmamıştır (Klopsteg, 1934). Türk yaylarının diğer kompozit yaylardan tasarım farklılıkları, malzeme ve yapım teknikleri performansını arttırmıştır (Karpowicz, 2008). 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; Parlak, 2020). En iyi malzemelerin kombinasyonu ile yapılmış Türk yaylarında, birim kütle başına depolanan enerji miktarı bu yayların üstün performansını meydana getirmiştir (Kooi, 1994). Türkler, mühendislik harikası (Doğan, 2017) olarak görülen yayları tasarım ve yapımın zirvesine çıkarmıştır (Knecht, 1997). Bunda; kullanılan malzemelerin en üst kalitede olmasının yanında, ustalık, yüksek el becerisi, sabır ve yay yapımının tüm aşamalarına hakimiyet ve bileşenleri doğru ölçülerle kullanmak konusundaki titizlikleri gelmektedir (Klopsteg, 1987) (Şekil 4).



Şekil 4. Türk Yayı Yapım Aşamalarından İki Örnek; Halkaya Çekme ve Asa Gezinde Yayın Açılması (S.Parlak, 2022).  
Figure 4. Two Examples of Turkish Bow Making Stages: Pretzel Shape for Seasoning and Tillering in Asa Gez (S.Parlak, 2022).

## 2. Sonuç

Ok ve yay, tarih boyunca toplumlarda hem saldırı hem de savunma silahı olarak, ateşli silah teknolojisi gelişinceye kadar etkili bir şekilde kullanılmış, savaşların kaderini etkileyen en önemli silahlardan biri olmuştur. İlk çağlarda, esnek ağaçlardan yapılan basit yayların kırılabilirliği ve zamanla ahşabın esneklik özelliğini yitirmesi, insanları bu silahı geliştirmeye, daha kullanışlı ve etkin yapmaya yöneltmiştir. Bu geliştirme arayışında muhtemelen çok farklı formlarda ve malzemelerle denemeler yapılmıştır. Basit yaylardan farklı malzemelerle kompozit yay form ve imalatlarının geliştirildiği dönemde, form bakımından farklı, köşeli yay tipleri görülmektedir. Muhtemelen yayın kısaltılması ve sürekli gerili halde ağaç malzemenin deforme olmasını önlemek amacıyla, kabzada keskin bir açı oluşturulmak suretiyle köşeli yaylar imal edilmiştir. Bu suretle ahşabın deformasyonu geciktirildiği gibi, daha düşük kabza-kiriş mesafesi elde edilerek daha fazla çekiş mesafesi ile ahşabın limitlerine kadar kullanıldığı söylenebilir.

İlk kompozit yayın, her zaman hareketli bir yaşam süren ve kendilerini ve hayvanlarını korumak için silah geliştirmek zorunda olan göçebe kültürüne ait olması doğaldır. Bu göçebe kültürlerde yerleşik ve tarıma dayalı hayata geçişin çok geç olması nedeniyle uzun süre hayvancılıkla uğraşmaları, ellerindeki hayvansal malzemeleri silah imalinde kullanmalarına fırsat vermiştir. Atın ilk defa Orta Asya'da evcilleştirilmiş olması ve göçebe kültürlerde savunma ve saldırıda, savaş taktiklerinin geliştirilmesinde ata dayalı bir hareket planlaması, kompozit yayın geliştirilmesinde bir etken olmuştur. Göçebe kültürlerde her zaman bulunabilen malzemeler olan boynuz, tendon ve deriden elde edilen tutkallın özellikleri keşfedilmiş ve kompozit yaylarda erken dönemlerden itibaren kullanılmaya başlamıştır. İlk kompozit yay örneklerinin göçebe toplum olan İskitler'e (Sakalar) kadar dayandırılması tesadüf değildir. Yayın, tarihi süreç içerisindeki gelişiminde eş zamanlı çakışmaların olması muhtemeldir. İnsanların basit ahşap yayların kırılabilirliğini önlemek ve atış gücünü artırmak için başka malzemelerle desteklemeleri zorunluydu. Ayrıca basit yayların yapımında kullanılan esnek yapılı

ağaçların her yerde bulunmaması da bir handikapı. Bu bakımdan ilk kompozit yayların, basit yayların kırılabilirliği azaltmak için sırt kısımlarına döşenen bitkisel liflerden oluşması muhtemeldir. Daha sonraları ise uzun basit yayların çekiş güçlerinde azalma olmadan, baş kısımlarının ters bükümlü yapıları halinde boylarının kısaltılabileceği ve daha kısa yaydan daha fazla çekiş gücü elde edilebildiği keşfedilmiş olması muhtemeldir. Yine de at üzerinde kullanım için uzun olan bu yayların daha kısa yapılabilmesi için, kırılması güç bir malzeme ile desteklenme gereği ortaya çıkmıştır. Bu aşamadaki en iyi malzemenin, sıkışmaya çok mukavim, esnek ve kolay kırılmayan, işlenmesi kolay hayvan boynuzları olduğu fark edilmiştir. Birbiriyle uyumlu dört malzemenin bir araya gelmesiyle imal edilebilecek olan kompozit yayın gelişimi muhtemelen bu silsile ile gerçekleşmiş olmalıdır. Şüphesiz kompozit yay yapımını mümkün kılan en önemli gelişme hayvan derilerinden elde edilen tutkalların icadı olmuştur. M.Ö. 3000 yıllarında gerek deri, gerek balık tutkallarının imali ve ticaretinin yapılması bu tezi desteklemektedir.

## Kaynaklar

- Asbell, G.F., Baker, T., Comstock, P., Grayson, B., Hamm, J., Herrin, A., Massey, J., Parker, G., 1993. The Traditional Bowyer's Bible, Volume two. The Lyon S Pres S Guilford, Connecticut, Canada.
- Aydoğan, M., 2005. Antik Çağdan Küreselleşmeye Yönetim Gelenekleri ve Türkler, 1. Cilt. 4. Baskı Umay Yayınları, Tıbyan Matbaacılık, Alsancak, İzmir.
- Belis, A.M. ve Colburn, H. P., 2020. An Urartian Belt in the J. Paul Getty Museum and the Origins of the Parthian Shot. Alexis M. Belis and Henry P. Colburn. Getty Research Journal, 12:195–204.
- Bergman, C. A., 1993. The Development of the Bow in Western Europe: A Technological and Functional Perspective. – Hunting and Animal Exploitation in the Later Palaeolithic and Mesolithic of Eurasia. Archaeological Papers of the American Anthropological Association 4, edited by Gail Larsen Peterkin, Harvey M. Bricker and Paul Mellars. Washington, DC: American Anthropological Association, 95–105.

- Bowyer, E., 2017. Bow Designs on Ancient Greek Vases. University of California, Los Angeles Classical Civilizations Class of 2017.
- Bozdemir, M., 1982. Türk Ordusunun Tarihsel Kaynakları. Ankara Üniversitesi Siyasal Bilimler Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Bradford, A. S., 2001. With Arrow, Sword, and Spear. A History of Warfare in the Ancient World. Praeger Publishers, Greenwood Publishing Group, Inc. America.
- Brion, M., 2018. Hunların Hayatı. Çeviren: M. Reşat Uzman, Ötügen Neşriyat; 3. Basım, Beyoğlu İstanbul.
- Brockmann, W., Geib, P. L., Klingens, J., Schröder, B., 2009. Adhesive Bonding Materials, Applications and Technology. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (Çeviri, Mikhail, B.).
- Bryce, T., 2007. Hittite Warrior. Opsrey Publishing. Pp 70. New York USA.
- Buttery, A., 1974. Armies and Enemies of Ancient Egypt and Assyria. A war games research group publication, UK.
- Camera, A., 2010. Shooting the Stickbow A Practical Approach to Classical Archery. Virtualbookworm.com Publishing Inc. United States of America pp 436.
- Cernenko, E., Mc Bride, A., Gorelik, M. V., 1983. The Scythians 700-300 BC, Men-Art Arm Series. Osprey Publishing Ltd.
- Ceylan, A., Kozbe, G., Polat, Y., Sivas, T., Sivas, S., Şahin, I., Topaloğlu, Y. 2020. Türkiye Demir Çağı Araştırmaları Üzerine Değerlendirmeler [http://www.tayproject.org/downloads/DC\\_GK\\_etal.pdf](http://www.tayproject.org/downloads/DC_GK_etal.pdf) (Erişim tarihi 21.02.2022).
- Clark, J. D., James L. P., Preston S. S., 1974. Interpretations of Prehistoric Technology from Ancient Egyptian and other Sources. Part I: Ancient Egyptian Bows and Arrows and their relevance for African Prehistory. In: Paléorient, 1974, vol. 2, no 2. pp. 323-388; doi:https://doi.org/10.3406/paleo.1974.1057.
- Conroy, T., 1934. Glue Handbook. Keystone Glue Company, Williamsport, Penn, Printed in the USA.
- Cunliffe, B., 2019. The Scythians, The Scythians Nomad Warriors of The Steppe. Oxford University Press, Glasgow Great Britain. Published in the United States of America by Oxford University Press. New York, NY 10016, United States of America.
- Çay, A. M., 2009. Tarih. Türk Tarihi ve Kültürü Tarihte Türk Devlet ve Beylikleri (Türkiye Dışı). T.C. Kültür Ve Turizm Bakanlığı Türkiye Kültür Portalı Projesi.
- David, S., 2009. The Encyclopedia of. from Ancient Egypt to Iraq. A Penguin Company Copyright, Dorling Kindersley Limited.
- Doğan, A. 2017. "Osmanlıda Kemankeşlik (Okçuluk) ve Ahilik Ritüelleri", Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı. Samsun.
- Drews, R., 1993. The End of the Bronze Age. Princeton: Princeton University Press.
- Durmuş, İ., 2007. İskitler. Analiz Basım Yayın. Kaynak Yayınları: 491. Galatasaray-İstanbul ISBN: 978-975-343-503-1.
- Durmuş, İ., 2008. İskitler (Sakalar). Genelkurmay Askerî Tarih ve Stratejik Etüt Başkanlığı Yayınları, Genelkurmay Basımevi Ankara.
- Durmuş, İ., 2019. "Eskiçağ Anadolu'sunda Türk İzlerine Dair Tespit ve Öneriler", OANNES – Uluslararası Eskiçağ Tarihi Araştırmaları Dergisi- International Journal of Ancient History, 1/2, Eylül / , 95 – 116.
- Eralp, T. N., 1993. Tarih Boyunca Türk Toplumunda Silâh Kavramı ve Osmanlı İmparatorluğunda Kullanılan Silâhlar. Atatürk Kültür, Dil Ve Tarih Yüksek Kurumu Atatürk Kültür Merkezi Yayını-Sayı: 68. Türk Tarih Kurumu Basımevi-Ankara.
- Ergürer, H., 2010. Urartu Kemerleri Üzerindeki İnsan Tasvirleri. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2010 14 (2): 1-22.
- Eser, G., 2022. "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.
- Genz, H., Mielke, D.P., 2011. Insights into Hittite History and Archaeology. Colloquia Antiqua 2 (Leuven, Belgium).
- Gorman, S. 2016. The Technological Development of the Bow and the Crossbow in the Later Middle Ages. Ph.D. Thesis, Trinity College Dublin.
- Göksu, E. 2013. Okla Yükselen Millet (Türklerde ok ve okçuluk). Okçular Vakfı yayınları. Alioğlu Matbaacılık Basım Yay. ve Kağ. San. Tic. Ltd. Şti. İstanbul.
- Grayson, C. E; French, M; O'Brien, M. J., 2007. Traditional archery from six continents. University of Missouri Press, Columbia, Missouri.
- Gumilev, L. N., 2005. Hunlar. Ruscadan Çeviren D. Ahsen Batur, Dördüncü Baskı.
- Gündüz, G., Yaman, B., Özden, S., Dönmez, S.C., 2013. Anatomy of wooden core of Ottoman composite archery bows", Sains Malaysiana 42(5): 547-552.
- Hamm, J. 2000. The Traditional Bowyer's Bible. Volume 2, The Lyons Press.
- Hinds, K. 2010. Scythians and Sarmatians. Marshall Cavendish Corporation Publisher: Michelle Bisson, Malaysia.
- URL1. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/47257/mod\\_resource/content/0/C4%B0kinci%20Ara%20D%C3%B6nem.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/47257/mod_resource/content/0/C4%B0kinci%20Ara%20D%C3%B6nem.pdf)
- İkibeş, S., 2022. Savaş Tarihine Yön Veren Silah: Türk Kompozit Yay ve Tamamlayıcı Unsurları. Journal of Universal History Studies, 5 (1) , 32-50 . DOI: 10.38000/juhis.1122432.
- Judd Company, 1879. The Archery. New York: Oeange 245 :broadwat. 1879.
- Kani, M., 1836. Telhis-i Resailü'r- Rumat, s. 159-160, İstanbul (Matbaa-i Amire) 1263 (Çeviren, Yavuz, K., Canatar, M., 2010. Okçuluk Kitabı Telhis-i Resailat-ı Rumat). İstanbul Fetih Cemiyeti İstanbul.
- Karpowicz, A., 2008. Ottoman Turkish Bows: Manufacture and Design. Ottawa: Canada Cataloguing.
- Kavak, A., 2022. Bows Used as Symbols of Military Victory in the Neo-Assyrian Period Yeni Asur Döneminde Askerî Zafer Sembolü Olarak Kullanılan Yaylar. Sdu Faculty Of Arts And Sciences Journal Of Social Sciences,, No: 56, PP. 266-283.
- Klopsteg, P. E., 1934. Turkish Archery and the Composite Bow" Printed and Bound in Great Britain by Butler & Tanner Ltd, Frome and London,
- Klopsteg, P.E. 1987. Turkish Archery and the Composite Bow. Manchester: Simon Archery Foundation, The Manchester Museum.
- Knecht, H., 1997. Projectile Technology. Chapter 6 Sinew-Reinforced and Composite Bows Technology, Function, and Social

- Implications Christopher A. Bergman And Edward McEwen 143-160. Springer Science+Business Media, LLC
- Kooi, B. W., 1993. On the Mechanics of the Bow and Arrow. Groningen, The Netherlands PhD-thesis, Mathematisch Instituut, Rijksuniversiteit Groningen, The Netherlands.
- Kooi, B. W., 1994. "The Design of the Bow", Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen 97(3): 1–27.
- Kooi, B. W. ve Bergman, C. A., 1997. An Approach to the Study of Ancient Archery using Mathematical Modelling. *Antiquity*, 71:(271) 124–134.
- Kozowyk, P. R. B., Van Gijn, A. L.; Langejans, G. H. J., 2020. Understanding preservation and identification biases of ancient adhesives through experimentation. *Archaeol Anthropol Sci* 12, 209. <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01179-y>.
- Küçük, MA. 2018. "İslâm Öncésinden Sonrasına Türk Geleneğinde Bir Yaşam Stili: Okçuluk", *International Journal of Cultural and Social Studies (IntJCSS)* 4 (1) 178-191.
- Langejans, G., Aleo, A., Fajardo, S., Kozowyk, P. 2022. Archaeological Adhesives. In *Oxford Research Encyclopedia of Anthropology*. Oxford: Oxford University Press. Retrieved 23 March 2022. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190854584.013.198>
- Latham, J. D., ve Paterson, W. F., 1970. *Saracen Archery*. Latham Publisher: The Holland Press, London, ISBN: 0900470046.
- Lepola, M., 2015. Arctic Bowery – The Use Of Compression Wood in Bows in The Subarctic And Arctic Regions of Eurasia and America. Estonian Literary Museum, Estonian National Museum, University of Tartu ISSN 1736-6518 (print), ISSN 2228-0987 (online) 9 (1): 41–60
- Loades, M., 2016. *The Composite Bow*. Osprey Publishing Ltd. USA.
- Loew, R. A., 2013. Archery Exploits of The Pharaohs. Submitted to the faculty of The Archaeological Studies Program Department of Sociology and Archaeology. University of Wisconsin La Crosse.
- Mc. Pherson, J., Mc. Pherson, G., 1991. "Bulletin of Primitive Technology Official Publication of the Society of Primitive Technology". *The Society of Primitive Technology*, vol 1 no 2, 37-40,
- McLeod, W., 1970. *Composite Bows from the Tomb of Tutankhamun*. Oxford.
- Metin, T., 2014. Selçuklularda Okçuluğa Genel Bir Bakış. *Tarih Okulu Dergisi (TOD) Journal of History School (JOHS)* Mart 2014 March 2014 Yıl 7, Sayı XVII, ss. 131-153. Year 7, Issue XVII, pp. 131-153. DOI No: <http://dx.doi.org/10.14225/Joh457>
- Mikhail, B., 2009. *Adhesive Bonding Materials. Applications and Technology* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- Mikhail, K. A., Kainov, S.Y., 2011. Finds of Structural Details of Composite Bows From Ancient Rus. *Acta Archaeologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 62 (2011) 229–244. 10.1556/AArch.62.2011.1.10
- Miller, R., McEwen, E., Bergman, C., 1986. *Experimental Approaches to Ancient near Eastern Archery* Author(s): World Archaeology, Vol. 18, No. 2.
- Morillo, S., Black, J., Lococo, P., 2009. *War in World History, Society, Technology, and War from Ancient Times to the Present*. McGraw-Hill, New York.
- Murdoch, J., 1890. A study of the Eskimo bows in the U.S. National Museum. From the Report of the Smithsonian Institution, i883-'84, Part II, pages 307-316, and plates I-XII. Government Printing Office.
- Nathan, L., 2010., "The Ottoman Gunpowder Empire and the Composite Bow," *The Gettysburg Historical Journal: Vol. 9, Article 4*. <https://cupola.gettysburg.edu/ghj/vol9/iss1/4>
- Ögel, B., 1971. *Türk Mitolojisi (Kaynakları ve açıklamaları ile destanlar)* I. Cilt
- Parlak, S., 2020. "Türk yaylarında kullanılan ağaç türleri ve özellikleri", *Ağaç ve Orman*, 1(2) 25-34.
- Pizzi, A., Mittal, K. L., 2003. *Handbook of Adhesive Technology*. Taylor & Francis Group, LLC New York.
- Ragnar, I., 2002. The Two-Wood Bow, *Acta Borealia*, 19:1, 49-73, DOI: 10.1080/08003830215543
- Randall, K. C., 2016. "Origins and Comparative Performance of the Composite Bow". Phd. Thesis, University of South Africa 289.
- Reisinger, M., 2010. New Evidence about Composite Bows and Their Arrows in Inner Asia. *The Silk Road*. 8. 42-62.
- Simpson, J., Pankova, S. 2017. *Scythians: warriors of ancient Siberia*. Scythians British Museum, Large print exhibition text Scythians Warriors of ancient Siberia. The Trustees of the British Museum/ Thames & Hudson, London.
- Spalinger, A. J., 2005. *War in Ancient Egypt, The New Kingdom*. Blackwell Publishing.
- Tarhan, M. T., 2002. Türkler, Ön Asya Dünyasında İlk Türkler: Kimmerler ve İskitler, *Yeni Türkiye Yayınları*, Cilt 1. 597-610, Ankara.
- Vidal, J., 2010. *Studies on war in the ancient Near East Collected essays on military history-Ugarit-Verlag* (2010)
- Western, A. C. ve McLeod, W., 1995. Woods Used in Egyptian Bows and Arrows: *The Journal of Egyptian Archaeology*, 81: 77-94
- White, J., 2020. *Bows and Spears in Achaemenid Persia*. University of California Santa Barbara.
- Yadin, Y., 1963. *The Art of Warfare in Biblical Lands in the Light of Archaeological Discovery*. London: London Weidenfeld & Nicolson.
- Yönel, G. ve Türkmen, M. 2017. Türk Kültür Yaşamında Okçuluk. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5:55, 523-533.
- Yücel, Ü., 1999. *Türk Okçuluğu. Atatürk Kültür Merkezi Başkanlığı Yayınları*, Ankara.





## Depreme dirençli kentler: Bursa ili Yıldırım ilçesi örneği

### Resilient cities to earthquakes: The case of Yıldırım district, Bursa province

Büşra ŞENER<sup>\*</sup> , Anıl AKIN TANRIÖVER 

Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Bursa, Türkiye.

Sorumlu yazar:

Büşra ŞENER

E-mail:

busra.snr98@gmail.com

Gönderim Tarihi:

06/06/2023

Kabul Tarihi:

30/10/2023

Atf:

Şener, B., Akın Tanrıöver, A. 2023.

Depreme dirençli kentler: Bursa ili Yıldırım

ilçesi örneği. Ağaç ve Orman, 4(2), 47-57.

DOI: 10.59751/agacorman.1310296

#### Özet

Bu çalışma, kentsel dirençlilik ve afet dirençliliği kavramlarını tanımlamayı ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'ni kullanarak depreme dirençli kentler oluşturmayı amaçlamıştır. Çalışmada kent planlama çalışmalarının CBS ile entegre bir şekilde yürütülmesiyle, deprem ve diğer afetlere karşı dirençli kentler oluşturulmanın ve olası afetlerde meydana gelebilecek kayıpları önlemenin ya da minimum seviyeye indirmenin önemi vurgulanmaktadır. CBS'ye dayalı sistemlerin bu konudaki katkılarını gösterebilmek amacıyla, Bursa'nın ilk yerleşim yerlerinden olan, çok fazla göç alan, birçok fay hattının üzerinde ve yakınında konumlanan ve plansız ve çarpık kentleşme yapısına sahip Yıldırım ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Yıldırım ilçesinin jeolojik, demografik, yapısal ve çevresel özelliklerine göre depreme olan dirençliliği analiz edilerek yüksek ya da düşük dirence sahip bölgeleri tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dirençlilik, kentsel dirençlilik, deprem dirençliliği, CBS, mekânsal analizler.

#### Abstract

This study aimed to define the concepts of urban resilience and disaster resilience, and to create earthquake-resistant cities using Geographic Information Systems (GIS). By integrating GIS into urban planning efforts, the importance of creating resilient cities against earthquakes and other disasters to prevent or minimize potential losses in case of emergencies is emphasized. To demonstrate the contributions of GIS-based systems in this regard, the district of Yıldırım, which is one of the earliest settlements in Bursa, experiences significant migration, is located near multiple fault lines, and has an unplanned and haphazard urban structure, was chosen as the study area. The earthquake resilience of Yıldırım district was analyzed based on its geological, demographic, structural, and environmental characteristics, identifying areas with high or low resilience.

**Keywords:** Resilience, urban resilience, earthquake resilience, GIS, spatial analysis.

### 1. Giriş

Dünya genelinde kentlere olan talep gün geçtikçe artmaktadır ve dolayısıyla kırsaldan kentlere göçler yaşanmaktadır. Ülkemizde 1950'li yıllar sonrasında sanayi devrimiyle birlikte köylerden kentlere iç göçler başlamıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizin kentsel nüfus oranı, 1950 yılında %25 iken 1985 yılında ilk kez kırsal nüfusu geçerek %53 olmuştur ve 2022 yılında bu oran %94,8'e yükselmiştir. Bu verilerden yola çıkarak kentsel nüfus oranının önümüzdeki yıllarda da artış göstereceği öngörülmektedir. Kentlere olan iç göçün nedenleri olarak hızlı nüfus artışları ve köylerdeki altyapı yetersizlikleri gibi nedenlerin yanında kentlerin sağladığı istihdam, kamusal hizmetlere erişim, rekreasyon imkanları ve refah seviyesi sıralanabilir. Kentsel nüfusun hızla

artması, kentsel alanların genişlemesi ihtiyacını doğurmuştur ve bunun sonucunda kentlerde kontrolsüz ve plansız yapılaşmalar ortaya çıkmıştır. Hızla büyüyen kentlerde zamanla altyapı, konut, ulaşım ve istihdam imkânı gibi ihtiyaçlar artmış ve kentlerde ve yakın çevresinde hava kirliliği, su kirliliği, ekolojik döngünün bozulması, doğal kaynakların azalması ve doğal afetlere karşı savunmasızlık gibi çevresel sorunlar oluşmuştur. Kentlerin bu sorunlara yetersiz kaldığı durumlarda oluşabilecek riskler "kentsel dirençlilik" kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Kentlerin bu olası risklerden olabildiğince minimum düzeyde zarar görmesi için kentsel dirençliliği kent planlamaya entegre eden bütünleşik yaklaşım, zorunlu bir ihtiyaçtır ve kentlerin sürdürülebilirliği adına büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kentsel dirençlilik kavramı, depreme dirençlilik çerçevesinde ele alınarak Bursa ili Yıldırım ilçesinin depreme karşı dirençliliğinin Uzaktan

Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı analizler ile değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. Dirençlilik

“Resilience” (dirençlilik) kavramı geçmişten günümüze; hukuktan, siyasete, psikolojiden, toplumsal araştırmalara, mekanikten imalata, antropolojiden ekolojiye, afetten sürdürülebilirliğe kadar birçok disiplinde ve konu başlığında kullanılmıştır (Alexander, 2013; Ergün Konukçu, 2020). “Dirençlilik” terimi, “geçmişe atlamak” anlamına gelen Latince “resilio” kelimesinden türetilen “geçmişe dönüş” anlamına gelir (Manyena, 2006; Brassett ve Vaughan-Williams, 2015; Khalili vd., 2015; Bastaminia vd., 2018). “Resilience” kavramının Türkçe karşılığı olarak “dirençlilik” yerine “dayanıklılık” da kullanılmaktadır. Dayanıklılık, sıklıkla herhangi bir değişime karşı direnme ve ilk duruma geri dönme fikriyle ilişkilendirilir (Mehmoood, 2016). Dirençlilik, herhangi bir sistemin yapısını, işlevlerini ve kimliğini korurken dış değişimlerle başa çıkma kapasitesidir (Holling, 1973; Chelleri, 2012). Ekoloğlar dayanıklılığı normal streslere verilen tepkilerden çok beklenmedik afetlere karşı bir hasar görebilirlik ölçüsü olarak tanımlamaktadırlar (Şirin Dincer, 2016). Dirençlilik, bir yapıyı veya sistemini doğal afetler, ekonomik krizler, salgın hastalıklar veya sosyal çatışmalar gibi çeşitli tehditlere karşı koruma ve ayakta tutma, işlevlerini sürdürübilme yeteneğidir. Bu kavram, gelecekteki belirsizliklerle başa çıkabilmek ve sürdürülebilirlik için önemlidir.

### 2.1. Kentsel dirençlilik

Ekoloji bilimi perspektifi ile literatüre kazandırılan dirençlilik kavramı, milenyum sonrasında, kentlerin demografik, ekonomik ve sosyal açıdan öneminin daha da artmasının sonucunda kentsel planlamanın önemli bir bileşeni haline gelmiştir (Gürsoy ve Sadioğlu, 2021). Birleşmiş Milletler Uluslararası Stratejik Afet Azaltma (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, (UNISDR), kentsel dayanıklılık alanında yaygın olarak kullanılan bir tanım sağlamıştır. Bu tanıma göre dirençlilik, “tehlikelere maruz kalan bir şehir sisteminin, temel yapılarının ve işlevlerinin korunması ve restorasyonu yoluyla tehlikelerin etkilerine verimli bir şekilde direnme, absorbe etme, uyum sağlama, uyum sağlama ve bunlardan kurtulma yeteneğidir” (UNISDR, 2015; Parizi vd., 2022). Kentsel dirençlilik, kentlerin oluşabilecek beklenmedik durumlara karşı hazırlıklı olma, hızla uyum sağlayarak alacağı hasarı minimuma indirme, hızla normal şartlara dönme ve oluşan afetlerden fırsatlar yaratabilme yeteneğidir. Dirençli şehirlerin oluşan afetlerden fırsatlar yaratabilme yeteneği için, depremde zarar gören bir yerleşim alanının afete dirençli kent planlama anlayışı ile tekrar planlanması örnek verilebilir. Yaman ve Tezer (2011)’e göre dayanıklılık, kentlerin maruz kaldığı değişimin başarılı bir şekilde yönetilmesini sağlayan, çok boyutlu bir yaklaşımdır. Kentsel dayanıklılık, yapılaşmış çevre, sosyal dinamikler, metabolik akışlar ve yönetim ağlarının odak noktası konumundadır (Yaman ve Tezer, 2011). Kentsel dayanıklılık sadece beklenmedik durumlarla başa çıkmak

için değil, iklim değişikliği ya da ekonomik kriz gibi daha uzun vadede etkisini gösteren durumlar için de kentlerin sürdürülebilirliğini sağlayan önemli bir planlama stratejisidir.

### 2.2. Afete dirençli kentler

Bir olayın, afet sonucunu doğurabilmesi için bu olayın insanlar üzerinde büyük ölçüde fiziksel, sosyal ve ekonomik kayıplar veya zararlar doğurması gerekmektedir (Ergünay, 2002; Uzunçubuk, 2009). Doğa olaylarının afete dönüşmesini ve büyük kayıplar yaşanmasını önlemek için kent planlama çalışmalarına afet dirençli kent stratejileri dahil edilmelidir.

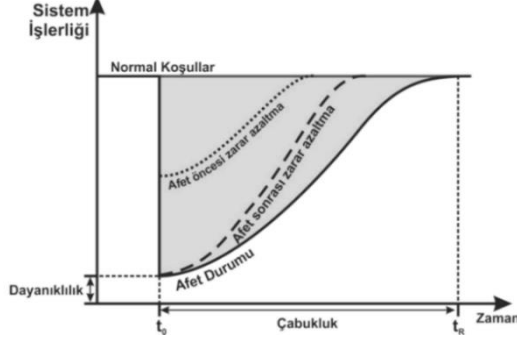
Doğal afetler, ne zaman gerçekleşeceklerinin ve etki alanlarının belirsiz olması ile kentler için büyük tehditler oluşturur. Afet yönetimi konularındaki “dirençlilik” kelimesi, Hyōgo for Action (2005-2015) yasal çerçevesinin benimsenmesinden sonra ortaya çıkmış ve afet riskinin azaltılmasının hem teorik hem de pratik alanlarında giderek daha fazla konum kazanmıştır (UNISDR, 2005; Manyena, 2006; Basabe, 2013; Djalante vd., 2013; Bastaminia vd., 2018). Dirençlilik teriminin afet alanındaki en yaygın tanımı şudur: “Dirençlilik, toplulukların afetlere tepki verme ve afetlerden kurtulma yeteneğidir ve sistemin bir olayın etkilerini absorbe etmesine ve bununla başa çıkmasına izin veren doğal koşulları içerir” (Paton vd., 2001; Kulig vd., 2008; Ainuddin ve Routray, 2012; Lorens, 2013; Rezaei vd., 2016; Bastaminia vd., 2018). Özden (2021) dirençlilik kavramını, “Ortaya çıkan afet riskleri karşısında normal yaşamın kesintiye uğramadan sürdürülebilmesi ve toplulukların afet etkileri ile kendi olanakları doğrultusunda baş edebilme kapasitesi” olarak açıklamıştır. Afete dirençli kentler, meydana gelebilecek doğal afetlere hazırlıklı olma, iyi organize olmuş kurtarma çalışmalarıyla kayıp azaltma ve afet sonrasında kısa vadede temel ihtiyaçların kesintiye uğramaması, uzun vadede ise kentin normal koşullarına geri dönmelerini sağlayarak afetlerin etkilerini minimize etmeyi amaçlar.

Afet dirençli kent planlaması için uygun stratejilerin belirlenmesi gereklidir. Bu stratejiler, yapısal ve fiziksel önlemlerden, toplum katılımı ve eğitim faaliyetlerine kadar çeşitli alanları kapsar. Bruneau ve arkadaşları (2003), dirençliliğin dört düzeyde uygulaması olduğunu öne sürmüşlerdir: teknik (fiziksel sistemler deprem kuvvetlerine maruz kaldığında gerçekleştirilmesi), örgütsel (acil durumlara cevap verme ve kritik işlevleri yerine getirme becerisi), sosyal (kritik hizmetlerin kaybedilmesinin olumsuz sosyal sonuçlarını azaltma kapasitesi), ekonomik (hem doğrudan hem de dolaylı ekonomik kayıpları azaltma kapasitesi) (Hatipoğlu, 2019).

Afet ve risk yönetimi dört evreden oluşur. Bunlar zarar azaltma, hazırlıklı olma, müdahale ve iyileştirme evreleridir. Zarar azaltma ve hazırlıklı olma evreleri, afet öncesi yapılan çalışmalar yani risk yönetimidir. Müdahale ve iyileştirme evreleri ise afet sonrası yapılan çalışmalar yani afet yönetimidir. Afete dirençli kentsel planlama, risk yönetimi kapsamında yapılmaktadır.

### 2.2.1. Zarar azaltma evresi

Zarar azaltma evresi, afetlerin etkilerini minimize etmek ve hasarı en aza indirmek amacıyla alınan önlemlerin uygulandığı aşamadır. Afet öncesi risk azaltma önlemleri ile kentin dirençli hale getirilmesi, kentin ve toplumun önemli fonksiyonlarını devam ettirebilecek şekilde adapte olabilmeye kapasitesini geliştirir. Böylelikle büyük afetler meydana geldiğinde kent daha hızlı iyileşir (Şekil 1) (Guo, 2012; Gerçek ve Güven, 2016).



Şekil 1. Kayıp üçgeni (Bruneau vd., 2003; Mc Daniels vd., 2007; Gerçek ve Güven, 2016).

Figure 1. The triangle of loss (Bruneau et al., 2003; Mc Daniels et al., 2007; Gerçek and Güven, 2016).

### 2.2.2. Hazırlıklı olma evresi

Hazırlıklı olma evresi, afet risklerini azaltma amacıyla alınan önlemleri kapsar. Hazırlıklı olma evresi, potansiyel afetlerin doğurabileceği sonuçları anlamak ve uygun önlemleri almak için yapılan çalışmalardır. Bu evrede, afet öncesi ve sonrası toparlanma stratejileri geliştirilir. Hazırlıklı olma önlemleri sürekli güncellenecek biçimde oluşturulmalı ve afet planları bu güncellemeler ile olası yeni gereksinimlere göre belirlenmelidir (Erden, 2009).

### 2.2.3. Müdahale evresi

Müdahale evresi, bir afet durumunda hızlı ve etkili bir şekilde acil yardım sağlama ve zararların en aza indirilmesi için planlanmış önlemlerin devreye girdiği aşamadır ve afet sonrası toplumun iyileşme sürecine geçiş yapabilmesi için temel bir adımdır. Müdahale, afetin oluşma anında başlamakta ve yaşam kurtarma, zarar azaltma ve iyileştirme evresinin etkinleştirilmesini sağlamak üzerine yoğunlaşmaktadır (Erden, 2009).

### 2.2.4. İyileştirme evresi

İyileştirme evresi, bir afetin ardından hasarın onarılması ve etkilenen bölgelerin yeniden yapılandırılması sürecidir ve gelecekteki afetlere karşı daha güçlü bir şekilde hazırlanmayı hedefler. Afetlerden hemen sonra hayat kurtarma için acil yardım çabalarının planlanması ve uygulanması, iyileşmeyi hızlandıracak rehabilitasyon önlemlerine hız kazandırılması ve afet sonrası devam eden sürekli gelişmenin teşvik edilmesini kapsamaktadır (Uzunçabuk, 2009). İyileştirme evresi, afetin yol açtığı zararları onarma, yaşam standartlarını yeniden kurarak normal hayata dönme ve sürdürülebilir bir gelecek inşa etme sürecidir.

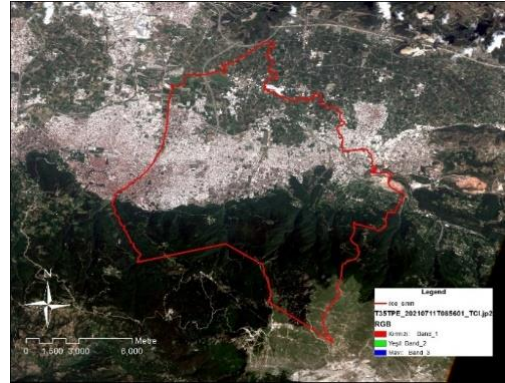
### 2.3. Depreme dirençli kentler

Depreme dirençli kentler, deprem riskine sahip bölgelerde yer almasına rağmen, çeşitli stratejiler ve önlemlerle afetlere karşı dayanıklılığı artırmayı amaçlamaktadır. Depreme dirençli kentler, deprem riski analizleri sonucu güvenli ve dayanıklı kabul edilen bölgelerde planlama ve yapılaşma faaliyetleri gösteren kentlerdir. Deprem, can kaybı, yapı hasarları ve ekonomik kayıplar gibi sonuçlarıyla kentler için büyük bir tehdittir. Bu nedenle depreme dirençli kentler, kentsel planlama sürecinde dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Bir kentin depreme karşı dirençliliği kentin hem fiziksel hem de sosyal anlamda deprem sonrası normale dönme süreçlerini kısaltıcı yönde işleyen unsurlarla değerlendirilir (Gerçek ve Güven, 2016). Deprem riskini etkileyen faktörler; deprem tehlikesi, arazi kullanımı, demografik yapı ve ekonomik yapı olarak dört başlık altında değerlendirilebilir (Kundak, 2007; Güven, 2016).

### 3. Materyal

#### 3.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olan Yıldırım, 1987 yılında ilçe kabul edilmiştir ve Bursa'nın merkez ilçelerinden biridir (Şekil 2). Uludağ'ın eteklerine kurulmuş olan Yıldırım ilçesinin denizden yüksekliği 150-155 metredir.



Şekil 2. Çalışma alanı Bursa-Yıldırım İlçesi.

Figure 2. The study area is Bursa-Yıldırım District.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2022 yılı verilerine göre Bursa ilinin nüfusu 3.194.720 ve Yıldırım ilçesinin nüfusu 655.856'dır. Yıldırım ilçesi, Osmangazi ilçesinden sonra en yüksek nüfuslu ilçedir. İlçenin ortasından Bursa-Ankara Karayolu geçmektedir. İlçede metro, tramvay, belediye otobüsleri, minibüsler ve teleferik gibi toplu ulaşım alternatifleri vardır. İlçede sanayi gelişmiştir.

Bursa, ülkemizin en aktif deprem kuşağını oluşturan Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Ege Graben Sistemi olmak üzere iki aktif fay kuşağı arasında yer almaktadır. Bursa Büyükşehir Belediyesi (2014) tarafından hazırlanan Bursa Şehir Sağlık Profili 'ne göre Bursa'nın Büyükorhan, Keles, Harmançık, Orhaneli ilçeleri ve İnegöl ilçesinin güneyi ikinci derece deprem bölgesi, bu alanlar dışında Bursa'nın tamamı birinci derece deprem bölgesidir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Türkiye Deprem Tehlike Haritaları verilerine göre Yıldırım İlçesi sınırlarının içinde ve çevresinde diri fay hatları bulunmaktadır (Şekil 3). Yıldırım

İlçesi'ndeki yerleşim alanlarının hemen tümü, Bursa'nın kaçak ve plansız yapılaşma tipolojisine dâhildir (AFAD, 2022). Yıldırım İlçesinin diri fay hatlarının etkisi altında olmasının yanı sıra plansız ve sıkışık yapılaşması, olası deprem ve diğer afetler için büyük bir risk taşımaktadır ve ilçenin çalışma alanı olarak seçilmesinde etkili olmuştur. İlçede, arazi kullanım ve yapılaşma kararlarında bölgenin deprem riski dikkate alınmalıdır.



Şekil 3. Yıldırım ilçesi ve fay hatları.  
Figure 3. Yıldırım district and fault lines.

### 3.2. Kullanılan veriler

Çalışmada depreme dayanıklılık kapsamında uydu görüntüleri, ulaşım, fay hatları, nüfus verileri ve stratejik binaların konum verileri kullanılmıştır. Spot uydusundan 1989 ve Sentinel uydusundan 2021 tarihli uydu görüntüleri elde edilmiştir. Fay hatları ve ulaşım verileri belediyelerin ilgili birimlerinden sayısal formatta elde edilmiştir. TÜİK'ten 2021 yılına ait mahalle bazında nüfus verileri elde edilmiştir. Zemin sınıfları, Bursa Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Başkanlığı Dairesi'nin yayınlamış olduğu Bursa İli Zemin Sınıfları Haritasının CBS ortamında sayısallaştırılması ile elde edilmiştir. Stratejik binaların konumsal verileri, Google Earth Pro yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve CBS ortamına aktarılmıştır. Stratejik binalar hastaneleri, sağlık ocaklarını, belediye binalarını, okulları ve akaryakıt istasyonlarını kapsamaktadır.

### 4. Yöntem

Çalışmanın yöntemi olarak CBS ortamında yapılan ön hazırlık işlemleri, arazi örtüsü ve alan kullanımı (AÖAK) sınıflandırması, sayısallaştırma, enterpolasyon, yakınlık analizi ve çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır.

#### 4.1. Ön hazırlık işlemleri

Orijinal uydu görüntüsünün elde edildiği andaki çevresel faktörler, algılayıcının konumu ve algılayıcıya ait özelliklerin etkisiyle görüntüde değişime uğramış ya da tamamen görüntüye ait olmayan bilgiler mevcut olabilir ve yüzey özelliklerinin anlaşılması güçleşir. Yeryüzüne ulaşan enerjinin farklı sebeplerle tamamının gerekli şekilde yansımamasından dolayı görüntüde istenmeyen bilgilerin yok edilmesi ve görüntüye ait özelliklerin tam olarak elde edilebilmesi için bazı ön hazırlık işlemlerinden geçmesi gerekir (Düzgün, 2010; Güllüoğlu vd., 2014). Görüntü ön işleme, daha ileri analizler için bilgi ayıklamak amacıyla

görüntü kalitesinin iyileştirilmesini sağlar. Puslu atmosferin etkileri için dijital değerleri ayarlamak için radyometrik ön işleme ve bir görüntüyü bir harita veya başka bir görüntüyle uyumlu hale getirmek için geometrik ön işleme, tipik ön işleme prosedürleridir (Campbell, 1996; Şenel, 2018).

#### 4.1.1. Geometrik düzeltme

Görüntü verileri, radyometrik bozulma kaynaklarından daha fazla geometrik bozulma kaynağına sahiptir. Ayrıca, geometrik bozulmaların etkileri daha şiddetlidir (Richards ve Jia, 2006; Şenel, 2018). Uzaktan algılanan verileri önceden işlemek ve geometrik bozulmayı ortadan kaldırmak için geometrik düzeltme gereklidir, böylece pikseller uygun planimetrik harita konumlarında olur (Baboo ve Devi, 2011). Geometrik düzeltme, coğrafi verilerin doğru konumlandırılması ve yatay düzlemde düzgün bir şekilde hizalanması için kullanılan bir işlemidir. Geometrik görüntü dönüşümünün ilk aşaması piksel koordinat dönüşümüdür. Piksel koordinat dönüşümünde amaç, giriş görüntüsündeki piksellerin, sonuç görüntüsündeki koordinatlarını hesaplamaktır. Çoğunlukla görüntü evrensel enlem/boylam ya da UTM (Universal Transverse Mercator) gibi koordinat sistemine kaydedilir. İkinci aşama ise sonuç görüntüdeki piksellerin parlaklığını hesaplamakta kullanılan gri düzey enterpolasyonu yani yeniden örneklemedir (Temiz ve Doğan, 2005; Akın Tanrıöver vd., 2016).

#### 4.2. Arazi örtüsü/alan kullanım sınıflandırması

Arazi örtüsü alan kullanım sınıflandırması kentsel planlama, doğal kaynak yönetimi, doğal afet risk yönetimi gibi birçok çalışma alanında kullanılabilir bir arazi analizi yöntemidir. Arazi örtüsü (AÖ), arazinin yüzeyindeki orman, su, ekinler ve kentsel altyapı gibi fiziksel özellikleri tanımlar; ancak arazi kullanımı (AK), insan gereksinimlerine ve eylemlerine göre arazi örtüsünün modifikasyonudur. Arazi örtüsü, alan kullanımının en iyi göstergesidir (Udin ve Zahuri 2017; Zaidi vd 2017; Hussain vd., 2019). Arazi örtüsü alan kullanım sınıflandırma çalışmaları, mevcut arazi durumunun belirlenmesi ve değişim analizi çalışmalarında kullanılmaktadır. Obje tabanlı sınıflandırma, Arazi örtüsü alan kullanım sınıflandırmalarında sıkça kullanılan yöntemlerden biridir.

##### 4.2.1. Obje tabanlı sınıflandırma

Aplin ve Smith (2008)'e göre objeye dayalı sınıflandırma kavramının çalışma örnekleri, 1980'lere kadar (örn. Mason vd., 1988) uzanmaktadır. Sınıflandırma, sayısal veriler kullanarak pikseller arasındaki benzerlikleri ortaya çıkarmaktır (Berberoğlu vd., 2009a). Obje tabanlı yöntem, görüntüdeki formu, yansıma özelliklerini ve tekstürü dikkate alarak komşu pikselleri anlamlı bölgeler halinde gruplandırır. Segmentasyon işlemi obje tabanlı sınıflamanın ilk ve en önemli aşamasıdır (Akın, 2007). Nesne tabanlı yaklaşımın doğruluğu, peyzajın doğasına ve analiz için kullanılan görüntülerin türüne bağlı olarak farklılık gösterir (Dronova vd., 2011; Kindu vd., 2013). Bu yöntem kentsel planlama, ormancılık, arazi kullanımı gibi birçok alanda uygulama kullanılmaktadır.

### 4.3. Sayısallaştırma

CBS için grafik bilgisinin vektör verisi olması esastır. Temel vektör veri temsilleri nokta, çizgi ve çokgendir. Bu öğeleri tanımlamak için bir dizi koordinat ve bir dizi belirli geometrik özellik gereklidir (Di Lisio ve Russo, 2010; Bonham-Carter, 2014; Sestras vd., 2019). Sayısallaştırma, haritalar, hava fotoğrafları veya diğer coğrafi veri kaynaklarından elde edilen bilgileri sayısal formata yani dijital formata dönüştürme uygulamalarıdır. CBS için harita veya tarihi hava fotoğraflarının hazırlanmasındaki ilk adım, dijitalleştirilmesi veya analog formdan dijital forma çevrilmesidir. Diğer bir adım, dijital haritalara (coğrafi referanslama) veya dijital hava fotoğraflarına (ortorektifikasyon) grafiksel referans koordinatları atamaktır (Boltiziar ve Chrastina, 2018). CBS' de sayısallaştırma, görüntülerden/haritalardan gelen bilgilerin coğrafi olarak doğru bir şekilde "izlenmesi" işlemidir (Manjula vd., 2010). Sayısallaştırma, coğrafi verileri daha kolay depolamamızı ve analiz etmemizi sağlar.

### 4.4. Enterpolasyon

Enterpolasyon araçları, coğrafi olarak dağılmış ancak sıklıkla sınırlı olan mevcut nokta verilerine dayalı sürekli bir yüzey oluşturur. Doğal afet araştırmacıları, sürekli bir yüzeyi enterpolasyon yaparak, karmaşık sistemlerden gelen verileri başka türlü seyrek olabilecek verilerle birleştirebilir (Page-Tan vd., 2021). Mekânsal enterpolasyon yöntemleri, aynı bölge içindeki nokta gözlemlerinden çevresel değişkenleri tahmin ederek örneklenmemiş alanlarda sürekli veri sağlar (Burrough ve McDonnell, 1998; Srivastava vd., 2019). Enterpolasyon, çevreleyen noktalara ait bilinen yüzey değerlerine dayalı olarak, örneklenmemiş noktalara ait yüzey değerlerinin belirlenmesi işlemidir (URL-1). Ters ağırlıklı mesafe (Inverse Distance Weighted, IDW), Empirical Bayesian Kriging (EBK), doğal komşuluk (Natural Neighbor), Spline, Doğal Bariyerli Spline (Spline with Natural Barriers), Topo to Raster ve Trend gibi çeşitli enterpolasyon teknikleri vardır (Page-Tan vd., 2021). Birleşik Krallık nüfus sayımında yaygın olarak kullanılan nokta tabanlı yöntemlerden biri, Martin (1989) tarafından önerilen Kernel tabanlı enterpolasyondur (Bracken ve Martin, 1989; Martin ve Bracken, 1991; Bracken, 1991; Wu vd., 2005).

#### 4.4.1. Kernel yoğunluk yöntemi

Flahaut vd (2003), basit bir ağ üzerinde bir Kernel yoğunluğu tahmin yöntemi geliştirmiştir (Okabe vd., 2008). Kernel yoğunluk yöntemi; belirlenen bir yarıçapa sahip çember içerisine düşen noktaların yoğunluğu ile bu kaynaktan uzaklaştıkça değişen noktasal yoğunluğu ifade eder (Gündoğdu, 2010, Tağlı ve Alevyakalı, 2013; Özmen vd., 2017). Kernel Yoğunluk Tahmini, kısmen anlaşılması ve uygulanması kolay olduğu için nokta olay dağılımının birinci dereceden özelliklerini analiz etmek için en popüler yöntemlerden biridir (Bailey ve Gatrell, 1995; Silverman, 1986; Xie ve Yan, 2008). Kernel tabanlı enterpolasyonda, sırayla her kontrol noktasının üzerine bir pencere yerleştirilir ve kaynak bölge popülasyonu, kaynak bölge merkezi ile ızgara hücresi arasındaki mesafe azalma fonksiyonuna

dayanan benzersiz bir ağırlıklandırma kullanılarak pencerenin içine düşen ızgara hücrelerine tahsis edilir (Wu vd., 2005). Kentteki yoğun nüfuslu bölgelerin, trafik kazaları yaşanan yolların ya da orman yangınları yaşanan bölgelerin tespiti gibi çalışmalar bu yöntemin kullanıldığı alanlara örnek gösterilebilir.

### 4.5. Yakınlık analizi

Yakınlık analizleri herhangi bir coğrafi objenin başka bir objeye uzaklığının analizi ile oluşturulur (Rüsmetov, 2014). Buffer (Tampon), Multiple Ring Buffer (Çoklu Halka Tamponu), Thiessen Polygons (Thiessen Çokgenleri) ve Euclidean Distance (Öklid Mesafesi) araçları gibi yakınlık analizi araçları mevcuttur. Bu çalışmada yakınlık analizleri Öklid mesafesi yöntemi ile oluşturulmuştur.

Öklid Uzaklığı aracı, her bir hücrenin en yakın ilgi noktasına olan mesafesini hesaplar (Page-Tan vd., 2021). Öklid mesafesi aracı, yönlendirme ve tahsis gibi farklı hesaplamaları mümkün kılar. Öklid mesafesi işlevi, önceden tanımlanmış bir konumdan en yakın yerleri bulmak için sıkça kullanılır. Öklid mesafesi çıktı rasteri, her hücrenin en yakın kaynağa olan ölçülen mesafesini içerir. Bu mesafeler, haritadaki belirli nesnelere doğru hat üzerinde ölçülür (Tepavcevic vd., 2012).

### 4.6. Çok kriterli karar verme yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemleri, karmaşık karar süreçlerinde birden fazla kriterin ve alternatifin dikkate alındığı yöntemlerdir. Çok kriterli karar analizi, karar vericinin adaletli bir karara varabilmesi için birçok kriter göz önüne alınarak, seçeneklerin veya senaryoların karşılaştırılmasına olanak sağlayan bir karar destek aracıdır (Roy, 1996; Erden, 2009). Çok kriterli karar verme yöntemi, karar verme sürecinde çeşitli kriterlerin önem derecesini belirleyerek alternatiflerin değerlendirilmesine ve sonuçların karşılaştırılmasına olanak ve kolaylık sağlar. Temel bir yaklaşımla, çok kriterli mekânsal bir karar problemi, ilgili değerlendirme ölçütlerine dayanarak bir veya birden fazla seçenek içerisinden mekânsal olarak tanımlanmış bir seçeneğin seçilmesini içerir (Carver, 1991; Heywood vd., 1995; Jankowski, 1995; Keller, 1996; Malczewski, 1996; Malczewski, 1999a; Erden, 2009). CBS tabanlı çok kriterli analiz; çevre planlama ve ekoloji yönetimi, şehir ve bölge planlama, hidroloji ve su kaynakları, ormancılık, ulaşım, tarım, doğal afet yönetimi, sağlık hizmetleri kaynak tahsisi vb. gibi çok çeşitli karar ve yönetim durumlarında kullanılır (Vahidnia vd., 2008). En popüler çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri Analitik Hiyerarşi Süreci'dir, ana özelliği, karar probleminin, tepe noktası problemin ana amacı olan bir hiyerarşi kullanılarak modellenmesi ve değerlendirilecek olası alternatiflerin tabanda bulunmasıdır (Saaty, 1980; Sánchez-Lozano, 2013).

#### 4.6.1. Analitik hiyerarşi süreci (AHP)

Analitik Hiyerarşi süreci, 1980 yılında Saaty tarafından tanımlanan ve geliştirilen güçlü bir araçtır (Siddayao vd., 2014). AHP, bir sorunu temsil etmek için hiyerarşik yapıları kullanan ve daha sonra kullanıcının yargısına dayalı olarak

alternatifler için öncelikler geliştiren çok kriterli bir karar verme yöntemidir (Saaty, 1980; Vahidnia vd., 2008). Hem fiziksel hem de sosyal alanlarda ölçüm oluşturmak için kullanılabilir bir yöntemdir (Saaty ve Vargas, 2006; Sabri ve Yaakup, 2008). AHP, karar verme sürecinde öncelikleri belirlemek ve kriterleri ağırlıklandırmak için kullanılır. Önceliklerin belirlenmesi ve kriterlerin ağırlıklandırılması karar vericilerin yargısına bağlı olduğu için AHP ile elde edilen sonuçlar subjektiftir. AHP prosedürü altı temel adımı içerir (Lee vd., 2008; Vahidnia vd., 2008): 1. Yapılandırılmamış problemi tanımlama; 2. AHP

hijerarşisini geliştirme; 3. İkili kıyaslama; 4. Bağlı ağırlıkları tahmin etme; 5. Tutarlılığı kontrol etme; 6. Genel puanı alma.

Oluşturulan matrislerde ikili karşılaştırma sonuçlarını sayısal değerlere dönüştürmek için Saaty (1980) tarafından geliştirilen, Çizelge 1'de yer alan 1-9 ölçeği kullanılır. Matriste kriterler kendisiyle karşılaştırılıyorsa "1" değerini alır. Puan verilirken pozitif değerlerin kullanılması gerekir. "0" çiftlerin karşılaştırılmayacağı anlamına geldiği için kullanılmaması gerekir (Berberoğlu vd., 2009b).

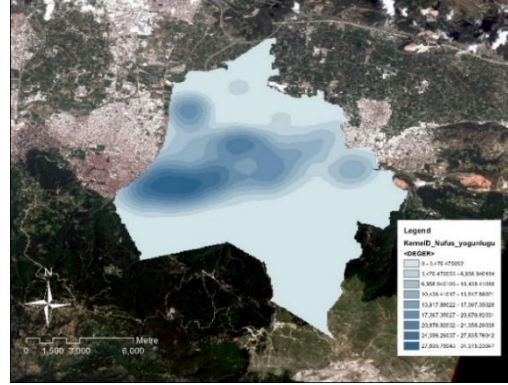
Çizelge 1. Saaty'nin ikili karşılaştırma ölçekleri (Berberoğlu vd., 2009b).  
Table 1. Saaty's pairwise comparison scales (Berberoğlu et al., 2009b).

| Sayısal Ölçekler | Anlamı  | Açıklaması   |
|------------------|---|--|
| 1                | Eşit önemli                                     | İki faktör amaca eşit olarak katkıda bulunmaktadır.  |
| 3                | Bir faktör diğer faktöre göre biraz daha önemli | Tecrübe ve yargılama sonucunda bir faktör başka bir faktöre göre biraz daha tercih edilmektedir.       |
| 5                | Bir faktör diğer faktöre göre kuvvetlice önemli | Tecrübe ve yargılama sonucunda bir faktör başka bir faktöre göre biraz daha fazla tercih edilmektedir. |
| 7                | Açıklanmış veya çok fazla önemli                | Bir faktör çok fazla tercih edilir veya üstünlüğü uygulamada ispatlanmıştır.                           |
| 9                | Son derece önemli                               | Bir faktörün başka bir faktöre tercih edilmesinin ispatının doğrulanması çok yüksek olasılıklıdır.     |
| 2, 4, 6, 8       | İki yakın ölçek arasındaki ara değerler         | Uzlaşmaya gerek duyulduğunda kullanılmaktadır.   |

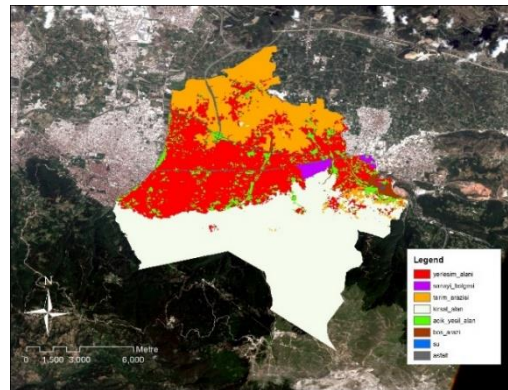
## 5. Araştırma Bulguları

Çalışmanın ön hazırlık aşamasında, uydu görüntülerine geometrik düzeltme (rektifikasyon) işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın geometrik düzeltme işlemi, görüntü üzerindeki koordinatları bilinen kontrol noktaları belirlenerek görüntü yeniden örneklendirilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen Yıldırım ilçesinin sınırları ArcMap arayüzünde çizilmiştir. Google Earth Pro yazılımı kullanılarak Yıldırım İlçesi'nde bulunan mahallelerin merkez noktalarının koordinatları belirlenmiştir. Mahallelerin elde edilen koordinat ve nüfus bilgileri ile Excel 2013 yazılımında bir tablo oluşturulmuştur. Bu tablo, XY verisi olarak ArcMap ortamına eklenmiştir ve Kernel yoğunluk fonksiyonu yöntemi kullanılarak nüfus yoğunluğu haritası oluşturulmuştur (Şekil 4).

Çalışma alanının mevcut arazi durumunun belirlenmesi amacıyla arazi örtüsü ve alan kullanımı sınıflandırması yapılmıştır (Şekil 5). Arazi örtüsü ve alan kullanımı tespitinde obje tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle çalışma alanının coğrafi özellikleri sayısal olarak değerlendirilebilir olması sağlanmıştır. Arazi örtüsü ve alan kullanımında yerleşim alanları, kentsel açık yeşil alanlar, kırsal alanlar, tarım alanları, sanayi alanları, sulak alanlar, boş araziler ve yolların sınıflandırılmış görüntüsü oluşturulmuştur. Oluşturulan obje tabanlı sınıflama görüntüsü, ilçe sınırı ile maskelenmiştir.

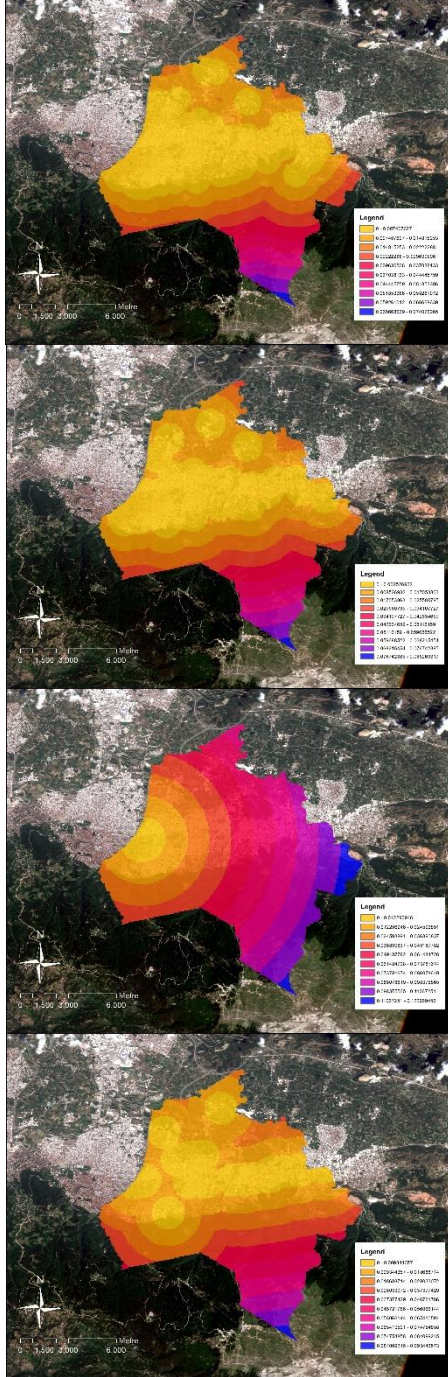


Şekil 4. Nüfus verileri ile oluşturulmuş Kernel yoğunluk haritası.  
Figure 4. Kernel density map created with population data.



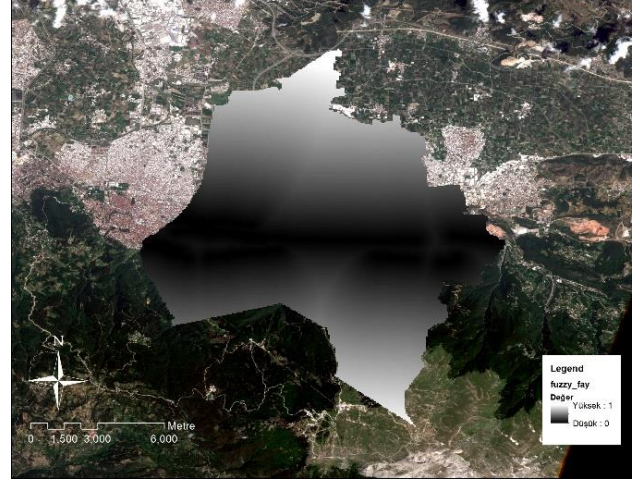
Şekil 5. Arazi örtüsü/alan kullanımı sınıflaması.  
Figure 5. Land cover/land use classification.

Çalışmada stratejik binalar ve fay hatları için Öklid mesafesi yöntemi uygulanmıştır (Şekil 6). Sonrasında oluşturulan Öklid mesafesi görüntülerine Fuzzy Membership aracı ile yakın ve uzak mesafelere yüksek ya da düşük değerler verilmiştir. Örneğin Fuzzy large fonksiyonu ile fay hatlarına uzak alanlara dirençlilik açısından yüksek değer, fay hatlarına yakın alanlara düşük değer verilerek Fuzzy görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 7).



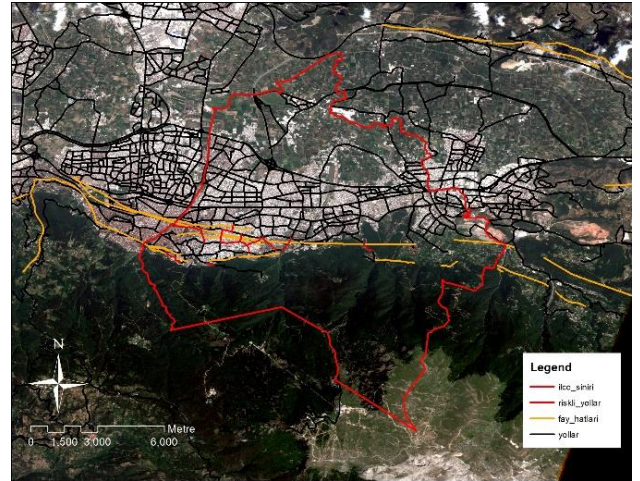
Şekil 6. Öklid mesafeleri; a) okullar, b) sağlık binaları, c) belediye binaları, d) akaryakıt istasyonları.

Figure 6. Euclidean distances; a) schools, b) health buildings, c) municipal buildings, d) fuel stations.



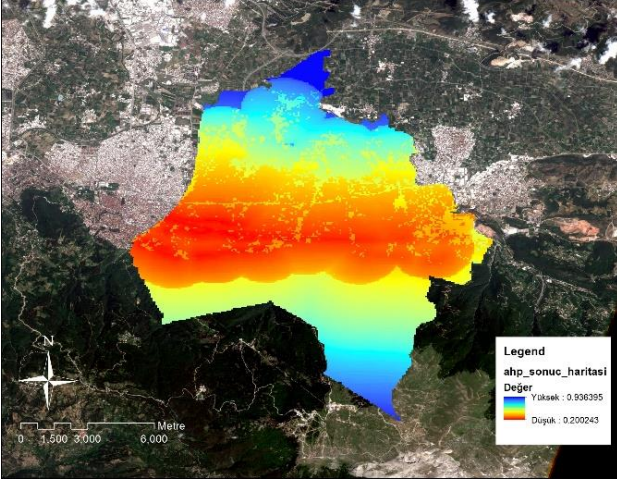
Şekil 7. Fay hatları ve Fuzzy Membership analizi.  
Figure 7. Fault lines and Fuzzy Membership analysis.

Çalışma alanındaki fay hatları ile dik bir şekilde kesişen yollar, depremde tahrip olarak kullanılamaz hale gelme ve o bölgelere erişimin sağlanamaması riski olduğundan dolayı tespit edilmiştir (Şekil 8). Fuzzy Membership analizi ile fay hatlarını dik kesen yollara yakın alanlara düşük değer verilmiştir.



Şekil 8. Fay hatlarını dik kesen yollar.  
Figure 8. Roads perpendicular to fault lines.

Çalışmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi kullanılarak uygunluk haritası oluşturulmuştur. Bu çalışmada deprem direnci düşük ya da yüksek alanların belirlenmesinde sağlıklı bir seçim yapılabilmesi için ÇKKV'nin en bilinen yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılmıştır. Fay hatlarına yakınlık, yüksek nüfus, yerleşim alanlarına yakınlık ve fay hatlarını ile dik kesen yollar kentsel dirençliliği düşürürken stratejik binalar ve açık yeşil alanlara yakınlık kentsel dirençliliği arttırmaktadır. Yapılan analizler AHP yöntemi ile önem derecelerine göre puanlandırılarak bir tablo oluşturulmuştur. Bu puanlamaya göre bir sonuç haritası oluşturulmuş ve ilçenin deprem dirençliliği düşük olan bölgeleri tespit edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. AHY ile oluşturulan depreme dirençlilik haritası.  
Figure 9. Earthquake resilience map created with AHY.

## 6. Sonuç

Yıldırım, Bursa'nın plansız kentleşen ve yoğun nüfuslu en eski yerleşim yerlerinden olan bir ilçesidir. İlçe aynı zamanda birçok fay hattının üzerine kurulmuştur ve yakın çevresinde de fay hatları bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı bu bölgede deprem riski yüksektir. Yerleşim alanları, fay hatlarının üzerinde ve yakın çevresinde konumlanmıştır. Kentteki yerleşim alanlarının önemli bir ölçüdeki kısmını en az 30 yıllık binalar oluşturmaktadır. Bazı araç yolları, fay hatları ile dik bir şekilde kesilmektedir. Kent içinde açık yeşil alanlar az ve yetersizdir. Tüm bu etmenler yüksek risk barındırmakta ve kentin deprem dirençliliğini düşürmektedir. Bunların yanında yerleşim alanlarının saçaklanmadan büyümesi ve stratejik binaların genel olarak yerleşim alanlarına erişilebilir mesafede olması kentsel direnci arttıran etmenlerdir. AHS ile oluşturulan sonuç haritası incelendiğinde Yıldırım ilçesindeki kentsel alanların büyük bir çoğunluğu deprem dirençliliği düşük bölgede yer almaktadır. Bu bölgede gerçekleşecek olası bir depremde, ilçede büyük yıkımlar ve kayıpların olması ve afet sonrasında büyük önem taşıyan müdahale evresinde arama-kurtarma çalışmalarında da zorluklar yaşanması muhtemeldir.

## Kaynaklar

AFAD, 2022, İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP), Bursa.

Akın, A., 2007. Çukurova Deltası kıyı alanında arazi örtüsü değişimlerinin belirlenmesinde farklı uzaktan algılama yöntemlerinin değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akın Tanrıöver, A., Berberoğlu, S., Atanur, G., Polat, S., 2016. Yoğun kentleşme baskısı altında kalan Bursa Kenti'nde kentsel arazi kullanımı değişimlerinin belirlenmesi ve 2040 yılı için modellenmesi, Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No: 2015-01-012.

Alexander, D.E., 2013. Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey, *Natural Hazards and Earth System Sciences Discuss*, (1), 1257-1284p.

Aplin, P., Smith, G.M., 2008. Advances in object-based image classification, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 725-728p.

Ainuddin, S., Routray, J.K., 2012. Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2, 25-36p.

Baboo, S.S., Devi, M.R., 2011. Geometric correction in recent high resolution satellite imagery: A case study in Coimbatore, Tamil Nadu, *International Journal of Computer Applications*, 14(1), 32-37p.

Bailey, T.C., Gatrell, A.C., 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*, Essex: Longman.

Basabe, P., 2013. Hyogo Framework for Action 2005-2015, *Encyclopedia of Natural Hazards*, Springer.

Bastaminia, A., Safaeepour, M., Tazesh, Y., Rezaei, M.R., Saraei, M.H., Dastoorpoor, M., 2018. Assessing the capabilities of resilience against earthquake in the city of Yasuj, Iran, *Environmental Hazards*, 17(4), 310-330p, DOI: 10.1080/17477891.2018.1456397.

Berberoğlu, S., Altunkasa, M.F., Sirel, B., Uslu, C., EvrenDilek, F., Özkan, C., Erginkaya, C., 2009a. Farklı yönetim politikaları doğrultusunda Adana kentsel gelişiminin geleceğe yönelik modellenmesi, TÜBİTAK Araştırma Projesi Gelişme Raporu, Çukurova Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Proje No: 107Y112, Rapor No: 2.

Berberoğlu, S., Altunkasa, M.F., Sirel, B., Uslu, C., EvrenDilek, F., Özkan, C., Erginkaya, C., 2009b. Farklı yönetim politikaları doğrultusunda Adana kentsel gelişiminin geleceğe yönelik modellenmesi, TÜBİTAK Araştırma Projesi Gelişme Raporu, Çukurova Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Proje No: 107Y112, Rapor No: 3.

Boltziar, M., Chrastina, P., 2018. Application of Geographical Information System (GIS) in geography (Digital data pre-processing for land-use changes analysis), *DIVAI 2018 – The 12th international scientific conference on Distance Learning in Applied Informatics*, 29-36s.

Bonham-Carter, G.F., 2014. *Geographic Information Systems for geoscientists: modelling with GIS*, Pergamon, Elsevier.

Bracken, I., 1991. A surface model approach to small area population estimation, *Town Planning Review*, 62(2), 225-237p.

Bracken, I., Martin, D., 1989. The generation of spatial population distributions from census centroid data source, *Environment and Planning A*, 21(4), 537-543p.

Brassett, J., Vaughan-Williams, N., 2015. Security and the performative politics of resilience: Critical infrastructure protection and humanitarian emergency preparedness, *Security Dialogue*, 46, 32-50p.

Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Lee, G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A.M., Shinozuka, M., Tierney, K.T., Wallace W.A., Von Winterfeldt, D., 2003. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities, *earthquake spectra*, 19(4), 733-752p. Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2014, Bursa şehir sağlık profili, Bursa.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A., 1998. Creating continuous surfaces from point data, In *Principles of Geographic Information Systems*, Oxford University Press, Oxford, UK.

Campbell, J.B., 1996. *Introduction to Remote Sensing* (2nd ed.), New York: Guilford Press.

Carver, S.J., 1991. Integrating multi-criteria evaluation with Geographic Information Systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 5, 321-339p.



- Chelleri, L., 2012. From the «resilient city» to urban resilience. A review essay on understanding and integrating the resilience perspective for urban systems, *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 58(2), 287-306p.
- Di Lisio A., Russo, F., 2010. Thematic maps for land-use planning and policy decisions in the Calaggio stream catchment area, *Journal of Maps*, 6, 68-83p.
- Djalante, R., Holley, C., Thomalla, F., Carnegie, M., 2013. Pathways for adaptive and integrated disaster resilience, *Natural Hazards*, 69, 2105-2135p.
- Dronova, I., Gong, P., Wang, L., 2011. Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake, China, *Remote Sensing of Environment*, 115, 3220-3236p.
- Düzgün, Ş., 2010. Uzaktan algılamaya giriş, <http://www.acikders.org.tr/course/view.php?id=28>. (Erişim: Aralık, 2013).
- Erden, T., 2009. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analitik Hiyerarşi Yöntemi'ne dayalı itfaiye istasyon yer seçimi: İstanbul örneği (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ergün Konukçu, B., 2020. Akut Şok ve Kronik Stresler Karşısında Kentsel Dayanıklılık & Sürdürülebilir Dayanıklılık Yaklaşımı, *Resilience*, 4(2), 323-345s.
- Ergünay, O., 2002. Afete Hazırlık ve Afet Yönetimi, Türkiye Kızılay Genel Müdürlüğü Afet Operasyon Merkezi, Ankara.
- Flahaut, B., Mouchart, M., Martin, E.S., Thomas, I., 2003. The local spatial autocorrelation and the kernel method for identifying black zones a comparative approach, *Accident Analysis & Prevention*, 35, 991-1004p.
- Gerçek, D., Güven, İ.T., 2016. Kentsel dirençliliğin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile analizi: Deprem ve İzmit kenti, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 51-64s.
- Godschalk, D.R., 2003. Urban hazard mitigation: creating resilient cities, *Natural Hazards Review*, 4(3), 136-143p.
- Guo, Y., 2012. Urban resilience in post-disaster reconstruction towards a resilient development in Sichuan, China, *International Journal of Disaster Risk Science*, 3(1), 45-55p.
- Güllüoğlu, S.S., Palabaş, T., Melek, C.G., 2014. Uydu görüntülerinden elde edilen bilgilerle yeryüzü şekillerinin tanımlanması ve değişimlerinin gözlenmesinde coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanılması üzerine bir ön çalışma, *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, 5(16), 37-42s., DOI: 10.5824/1309-1581.2014.3.003.x.
- Gündoğdu, G., 2010. Coğrafi bilgi teknolojileri kullanılarak trafik kaza analizi: Adana örneği (Yüksek Lisans Tezi), Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gürsoy, O., Sadioğlu, U., 2021. 21. yüzyılda kente ilişkin olarak ortaya çıkan yeni kavramlar, *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, DOI: 10.33630/ausbf.995115.
- Hatipoğlu, Y., 2019. Kentsel dirençlilik ile açık ve yeşil alanların erişilebilirliğinin ilişkisi: İstanbul'un kentsel alanları üzerine bir değerlendirme (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Heywood, I., Oliver, J., Tomlinson, S., 1995. Building an exploratory multicriteria modelling environment for spatial decision support, In: P. Fisher (Ed.), *Innovations in GIS 2*, London: Taylor & Francis, 127-136p.
- Holling, C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23p.
- Hussain, S., Mubeen, M., Ahmad, A., Akram, W., Hammad, H.M., Ali, M., Masood, N., Amin, A., Farid, H.U., Sultana, S.R., Fahad, S., Wang, D., Nasim, W., 2019. Using GIS tools to detect the land use/land cover changes during forty years in Lodhran District of Pakistan, *Environmental Science and Pollution Research*, DOI: 10.1007/s11356-019-06072-3.
- Jankowski, P., 1995. Integrating Geographic Information Systems and Multicriteria Decision Making Methods, *International Journal of Geographic Information Systems*, 9(3), 251-273p.
- Keller, C.P., 1996. Decision making using multiple criteria, NCGIA Core Curriculum, Unit 57, Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis.
- Khalili, S., Harre, M., Morley, P., 2015. A temporal framework of social resilience indicators of communities to flood, case studies: Wagga wagga and Kempsey, NSW, Australia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13, 248-254p.
- Kindu, M., Schneider, T., Teketay, D., Knoke, T., 2013. Land Use/Land Cover change analysis using object-based classification approach in Munessa-Shashemene landscape of the Ethiopian highlands, *Remote Sensing*, 5, 2411-2435p, DOI: 10.3390/rs5052411.
- Kulig, J.C., Edge, D., Joyce, B., 2008. Community resiliency as a measure of collective health status: Perspectives from rural communities, *CJNR (Canadian Journal of Nursing Research)*, 40, 92-110p.
- Kundak, S., Türkoğlu, H., 2007. İstanbul'da deprem risk analizi, *İTÜ Dergisi Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 6(2), 37-46s.
- Lee, A.H.I., Chen, W.C., Chang, C.J., 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan, *Expert Systems with Applications* 34, 96-107p.
- Lorens, D.F., 2013. The diversity of resilience: Contributions from a social science perspective, *Natural Hazards*, 67, 7-24p.
- Malczewski, J., 1996. A GIS-based approach to multiple criteria group decision making, *International Journal of Geographic Information Systems*, 10(8), 955-971p.
- Malczewski, J., 1999a. GIS and multicriteria decision analysis, John Wiley and Sons Inc. U.S.A.
- Manjula, K.R., Jyothi, S., Kumar Varma, S.A., 2010. Digitizing the forest resource map using ArcGIS, *International Journal of Computer Science Issues*, 7(6), 300-306p.
- Manyena, S.B., 2006. The concept of resilience revisited, *Disasters*, 30, 434-450p.
- Martin, D., 1989. Mapping population data from zone centroid locations, *Transactions of the Institute of British Geographers*, 14(1), 90-97p.
- Martin, D., Bracken, I., 1991. Techniques for modeling population-related raster databases, *Environment and Planning A*, 23(7), 1069-1075p.
- Mason, D.C., Corr, D.G., Cross, A., Hogg, D.C., Lawrence, D.H., Petrou, M., Tailor, A.M., 1988. The use of digital map data in the segmentation and classification of remotely-sensed images.

*International Journal of Geographical Information Systems*, 2, 195-215p.

Mc Daniels, T., Chang, S., Peterson, K., Mikawoz, J., Reed, D., 2007. Empirical framework for characterizing infrastructure failure interdependencies, *Journal of Infrastructure Systems*, 13(3), 175-184p.

Mehmood, A., 2016. Of resilient places: planning for urban resilience, *European Planning Studies*, 24(2), 407-419p, DOI: 10.1080/09654313.2015.1082980.

Okabe, A., Satoh, T., Sugihara, K., 2008. A Kernel density estimation method for networks, its computational method, and a GIS-based tool, Tokyo Üniversitesi Mekânsal Bilgi Bilimleri Merkezi.

Özden, A.T., 2021. COVID-19 sonrası mekânın değişimi üzerine spekülasyonlar, *Mimarlık Dergisi*, 417, 26-30s.

Özmen, H.B., Huseynova, T., Pekkan, E., Tün, M., 2017. Türkiye'de meydana gelen depremlerin mekânsal istatistiksel analizi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı.

Page-Tan, C., Fraser, T., Aldrich, D.P., 2021. Mapping resilience: GIS techniques for disaster studies, *Research Methods of Disaster and Emergency Management: Social Science Approaches in Application*, 339-354p.

Parizi, S.M., Taleai, M., Sharifi, A., 2022. A GIS-based multi-criteria analysis framework to evaluate urban physical resilience against earthquakes, *Sustainability*, 14 (5034), DOI: 10.3390/su14095034.

Paton, D., Millar, M., Johnston, D., 2001. Community resilience to volcanic hazard consequences, *Natural Hazards*, 24, 157-169p.

Rezaei, M.R., Bastaminia, A., Saraei, M.H., 2016. Evaluation of dimensions, approaches and concepts of resilience in urban societies with an emphasis on natural disasters, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8, 1630-1649p.

Richards, J.A., Jia, X., 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis, DOI: 10.1007/3-540-29711-1.

Roy, B., 1996, *Multicriteria methodology for decision aiding*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Rüsmetov, V., 2014. Coğrafi bilgi sistemleri ve 3D modelleme, *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 16(Özel Sayı II), 146-150s.

Saaty, T.L., 1980. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York, NY: McGraw-Hill; 437.

Saaty, T.L., Vargas, L.G., 2006. *Decision Making With The Analytic Network Process, Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*, pittsburgh: Springer.

Sabri, S., Yaakup, A., 2008. Multi-Criteria decision making for Urban Sprawl, using Analytic Network Process and GIS, case of Iskandar Malaysia Region.

Sánchez-Lozano, J.M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P.L., García-Cascales, M.S., 2013. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544-556p.Sestras,

P., Sălăgean, T., Bilaşco, S., Bondrea, M.V., Naş, S., Fountas, S., Cîmpeanu, S.M., 2019. Prospect of a GIS based digitization and 3D model for a better management and land use in a specific micro-areal for crop trees, *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(6), 1269-1277p.

Siddayao, G., Valdez, S., Fernandez, P., 2014. Analytic Hierarchy Process (AHP) in spatial modeling for floodplain risk assessment, *International Journal of Machine Learning and Computing*, 4(5), DOI: 10.7763/IJMLC.2014.V4.453.

Silverman, B.W., 1986. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman Hall, London.

Srivastava, P.K., Pandey, P.C., Petropoulos, G.P., Kourgialas, N.N., Pandey, V., Singh, U., 2019. GIS and remote sensing aided information for soil moisture estimation: A comparative study of interpolation techniques, *Resources*, 8(2), DOI: 10.3390/resources8020070.

Şenel, G., 2018. Delineation of water bodies with Landsat 8 and Sentinel 2 satellite imagery using different image processing algorithms (Master of Science Thesis), Istanbul Technical University Graduate School of Science, Engineering and Technology.

Şirin Dincer, Ş.E., 2016. Dayanıklı kentler için kentsel tasarım ilkeleri (Yüksek Lisans Tezi), Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tağıl, Ş., Alevkayalı, Ç., 2013. Ege Bölgesi'nde depremlerin mekânsal dağılımı: jeostatistiksel yaklaşım, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6 (28), 369-379p.

Temiz, M.S., Doğan, S., 2005. Dijital görüntülerin rektifikasyonu: sensör modelleri, geometrik görüntü dönüşümleri ve yeniden örnekleme, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara.

Tepavcevic, B., Šijakov, M., Šidanin, P., 2012. Gis technologies in urban planning and education, *Pollack Periodica*, 7, 185-191p, DOI: 10.1556/Pollack.7.2012.S.18.

Udin, W.S., Zahuri Z.N., 2017. Land use and land cover detection by different classification systems using remotely sensed data of Kuala Tiga, Tanah Merah Kelantan, Malaysia, *Journal of Tropical Resource Sustainable Science*, 5, 145-151p.

UNISDR, U., 2005. Hyogo framework for action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters, Extract from the final report of the World Conference on Disaster Reduction (A/CONF. 206/6).

UNISDR, 2009. United Nations, Terminology on disaster risk reduction.URL-1, Coğrafi bilgi sistemleri terimleri, <https://web.itu.edu.tr/~coskun/contents/lessons/gismanagement/CB%20TERIMLERI%20SOZLUGU.pdf>. (Erişim: Mayıs, 2023).

Uzunçubuk, L., 2009. Doğal afetlerin kentsel ve bölgesel planlamada yeri, *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(101), 18-27s.

Vahidnia, M.H., Alesheikh, A., Alimohammadi, A., Bassiri, A., 2008. Fuzzy analytical hierarchy process in GIS application, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 593-596p.

Wu, S., Qiu, X., Wang, L., 2005. Population estimation methods in GIS and remote sensing: A review, *GIScience & Remote Sensing*, 42(1), 80-96p, DOI: 10.2747/1548-1603.42.1.80.

Xie, Z., Yan, J., 2008. Kernel density estimation of traffic accidents in a network space, *Computers, Environment, and Urban Systems*, 35(5), 396-406p.

Yaman, Z.D., Tezer, A., 2011. Dayanıklılık kuramının kent planlama ile ilişkilendirilmesi.

Zaidi, S.M., Akbari, A., AbuSamah, A., Kong, N.S., Gisen, A., Isabella, J., 2017. Landsat-5 time series analysis for land use/land cover change detection using NDVI and semi-supervised classification techniques, *Polish Journal Environmental Studies*, 26(6), 2833-2840p, DOI: 10.15244/pjoes/68878.



## UV direnci arttırılmış faz değıştiren malzemeler ile emprenye edilmiş ahşap malzemenin renk değeri üzerine hızlandırılmış UV yaşlandırmanın etkisi

### The effect of accelerating weathering on the color values of wood material impregnated with phase change materials with increased UV resistance

Ahmet CAN 

Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye.

Sorumlu yazar:  
Ahmet CAN

E-mail:  
acan@bartin.edu.tr

Gönderim Tarihi:  
12/07/2023

Kabul Tarihi:  
12/10/2023

Atf:  
Can, A. 2023. UV direnci arttırılmış faz değıştiren malzemeler ile emprenye edilmiş ahşap malzemenin renk değeri üzerine hızlandırılmış UV yaşlandırmanın etkisi. Ağaç ve Orman, 4(2), 58-65. DOI: 10.59751/agacorman.1326617

#### Özet

Bu çalışmada, melez kavak (*Populus x euroamericana*) odununun toprak üstü kullanım yerlerinde maruz kalabileceği UV ışımına karşı direncinin arttırılması amaçlanmıştır. Bu sebeple kavak odun örnekleri laurik asit ( $C_{12}H_{24}O_2$ ), miristik asit ( $C_{14}H_{28}O_2$ ) ve şellak polimeri kullanılarak emprenye edilmiştir. Elde edilen örnekler toplam 400 saat hızlandırılmış yaşlandırma işlemine maruz bırakılmıştır. Örneklerin teste başladıktan 100, 200, ve 400 saat sonra toplam renk değışimi ( $\Delta E$ ) değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu örneklerde, test süresinin ilk 100. saatinde şellak kullanılmayan (kontrol, MA1, MA2, LA1, LA2) varyasyonların  $\Delta L^*$  değeri artma, ilerleyen sürelerde (200-400 saat) ise azalmalar, buna karşın  $\Delta a^*$  ve  $\Delta b^*$  değeri ilk 100 saat negatif yönde bir eğilim söz konusu iken, 200 ve 400 saatlerde ise pozitif yöne doğru bir artış gözlenmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma testinin ilk zamanlarında artma toplam renk değışimi ( $\Delta E^*$ ) oluşurken, ilerleyen zamanlarda renk değışimi azalmıştır. 400 saat hızlandırılmış yaşlandırma testi sonunda kontrol örneklerinde 13,65, şellak polimerinde 14,54'lük toplam renk değışimi elde edilirken, diğer varyasyonlarda daha düşük toplam renk değışimi elde edilmiştir. Minimum toplam renk değışimi 2,95 ile MA2Sh grubunda elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hızlandırılmış UV yaşlandırma, laurik asit, miristik asit, şellak, melez kavak.

#### Abstract

This study aimed to increase the resistance of hybrid poplar (*Populus x euroamericana*) wood to UV rays that it may be exposed to in above-ground areas. For this reason, poplar wood samples were impregnated using lauric acid ( $C_{12}H_{24}O_2$ ), myristic acid ( $C_{14}H_{28}O_2$ ), and shellac polymer. The samples obtained were subjected to 400 hours of accelerated aging. The total color change ( $\Delta E$ ) of the samples was evaluated at 100, 200, and 400 hours after starting the test. In these examples, there was an increase in  $\Delta L^*$  values of the variations without shellac (control, MA1, MA2, LA1, LA2) in the first 100 hours of the test period and a decrease in later times (200-400 hours). In contrast, the  $\Delta a^*$  and  $\Delta b^*$  values in the first 100 hours while there was a negative trend, an increase was observed in the positive direction at 200 and 400 hours. While an increased total color change ( $\Delta E^*$ ) occurred in the early stages of the accelerated aging test, the color change decreased later. At the end of the 400 hours accelerated aging test, a total color change of 13.65 in the control samples and 14.54 in the shellac polymer was obtained. In contrast a lower total color change was obtained in the other variations. The minimum total color change of 2.95 was obtained in the MA2Sh group.

**Keywords:** Accelerated weathering, lauric acid, myristic acid, shellac, hybrid poplar.

## 1. Giriş

Odun insanlığın en önemli ve en değerli doğal kaynaklarından biridir. İnşaat/yapı, mobilya ve birçok ürün ile insan aktivitelerinde önemli rol oynar. Ancak, odun canlı

organizmalar ve abiotik faktörler (UV, rüzgâr, yağmur) karşısında bozunuma uğramaktadır. Odun rutubet ve dış ortam koşullarına maruz kaldığında mantar ve böcekler odunda bulunan lignoselülozik bileşenleri tüketmektedir. Bu

durum odunda fiziksel ve mekanik özelliklerde önemli değişimlere neden olmaktadır (Wong ve ark., 2014).

Odun mantarların sebep olduğu %10'luk ağırlık kaybı, odunun direnç özelliklerinde %50'lik bir azalmaya neden olmaktadır (Cai and Ross, 2010). Bu nedenle odun koruma yöntemleri uygun maliyetler ile bu olumsuzlukları azaltmak, odun ürünlerin hizmet ömrünü uzatmak ve odunu daha verimli kullanmak için farklı birçok uygulamalar geliştirmektedir (Yin ve ark., 2017; Teng ve ark., 2018).

Şellak, doğal olarak oluşan reçineler arasında en önemli yeri işgal etmiştir. Dünyada gomalak (lac) yetiştiren ülkeler sadece Hindistan ve Tayland'dır (Bose ve ark., 1963). Hindistan'daki başlıca konukçu ağaç türleri, Rangeeni çeşidi lac ürünleri için palas (*Butea monosperma*) ve ber (*Zizyphus mauritiana*); Kusumi çeşidi lak ürünleri içinse kusumdur (*Schleichera oleosa*). Endüstriyel uygulamaları çok olmasına karşılık düşük termal stabilitesi ve neme karşı direnci nedeniyle genişlemesi sınırlıdır (Khanna ve Tripathi, 1979). Şellak, (*Kerria lacca*) böceği tarafından salgılanan eşsiz bir doğal reçinedir. Şellağın kimyasal bileşimi, konakçı ağacın tipine, böcek türüne ve rafinasyon yöntemine bağlıdır. Gıda endüstrisinde koruyucu kaplama veya parlaticı, ilaç endüstrisinde enterik kaplama yaygın olarak kullanılmaktadır. Şellak çevre dostu ve yüksek kullanım potansiyeline sahiptir. Ancak, kendi içinde meydana gelen polimerizasyon reaksiyonlarının neden olduğu mekanik kırılabilirlik ve zayıf stabilitesinden dolayı kullanımı hala sınırlıdır (Bar ve Bianco-Peled, 2020).

Şellak, düşük buhar geçirgenliği, iyi yapışma, yüksek parlaklık, düşük maliyet ve mükemmel film oluşturma özelliklerine sahiptir. Fakat suya dayanıklılığı zayıftır. Biyoyumlu olan şellak, oda sıcaklığında kürlenebilir (Luangtana-Anan ve ark., 2017).

Şellağın odun korumada kullanımı ve dolayısıyla konu hakkındaki araştırmalar son yıllarda artmıştır. Şellağın odun koruma alanında kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalara bakıldığında; Liu ve ark. (2020), keten tohumu yağını ve şellağı kullanarak odunda renk ve boyutsal stabiliteyi incelemişler, çözeltiyi hazırlamada etanolü kullanmışlar ve ağırlık yüzdesi artışı (WPG, weight percentage gain) oranının keten tohumu yağı için %21,70 ve şellak için %19,00 olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada, kontrol örneklerine oranla L, a ve b değerlerinde anlamlı farklılık oluşmamıştır. Boyutsal stabilizasyonda ise şellak içeren örnekler, enine ve radyal yönde kontrol örneklerine göre sırasıyla %21.80 ve %16.70 daha az şişme özelliği göstermiştir. Liu ve ark., (2020) tarafından yapılan çalışmada, şellağın odunun boyutsal stabilizasyonunu, fizikokimyasal yapılarını ve ahşabın termostabilitesini incelenmiştir. FTIR analizleri sonucunda 3400 cm<sup>-1</sup> bandında bulunan hidroksil gruplarında düşüşlerin gerçekleştiğini, bu durumun da boyutsal stabiliteyi arttırdığını bildirmişlerdir. Yan ve ark. (2021) ise mikrokapsülasyon işleminde kullandıkları şellağın özelliklerini incelemişler ve elde ettikleri çözeltilerin etkilerini ihlamur (*Tilia sp.*) odununda değerlendirmişlerdir. Çalışmada %5'lik şellak kullanılarak 600 rpm ile hazırlanan çözeltilerde kopma uzaması ve parlaklık değerleri en yüksek çıkmıştır. Çalışma sonucunda %5'lik şellak kullanılarak 600

rpm de hazırlanan çözeltilerde kopma uzaması ve parlaklık değerleri en yüksek değeri verdiğini bildirmişlerdir.

Araştırmamızda ise UV direnci artırılmış faz değiştiren malzemeler ile (laurik asit, miristik asit ve şellak) emprenye edilmiş ahşap malzemenin renk ve pürüzlülük değerleri üzerine hızlandırılmış yaşlandırmanın etkisi belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve metod

### 2.1. Materyal

Çalışmada ağaç türü olarak 20 (teğet yön) x 50 (boyuna yön) x 5 (radyal yön) mm boyutlarında melez kavak, emprenye maddesi olarak laurik asit (C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O<sub>2</sub>), miristik asit (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>12</sub>COOH) ve şellak (Şekil 1) kullanılmıştır. Maddelerin çözündürülmesinde etanol tercih edilmiştir.



Şekil 1. Şellak pullar.  
Figure 1. Shellac flakes.

Şellağın çözündürülmesinde etanol (Chen ve ark., 2018), ispirto (spirit) (Ghosh ve ark., 2015) ve sodyum hidroksit (NaOH) (Mei ve ark., 2018) gibi çözücüler kullanılmaktadır. Ucuz ve kolay ulaşılabilir olduğundan dolayı bu çalışma kapsamında etanol tercih edilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan maddelere ait bazı özellikler.  
Table 1. Some properties of the materials used in the study.

|                               | Laurik asit<br>(LA) | Miristik asit (MA) | Şellak<br>(Sh) |
|-------------------------------|---------------------|--------------------|----------------|
| Erime noktası (°C)            | 43,20               | 54,40              | 75,00          |
| Molar kütle (g/mol)           | 200,31              | 228,37             | 586,70         |
| Kaynama noktası (°C)          | 298,90              | 326,20             | -              |
| Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | 880,00              | 862,00             | 1021,00        |

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Emrenye işlemleri

Çalışmada etanol içerisinde %5 şellak katılmış ve manyetik karıştırıcıda 3 saat karıştırılmış; bu 100 ml şellak çözeltisine 25 g ve 75 g LA ve MA ayrı ayrı katılarak çözeltiler hazırlanmıştır; ayrıca etanol ile de %25 ve %75'lik LA ve MA çözeltileri hazırlanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Hazırlanan çözeltiler ve varyasyonların kısaltılmış isimleri.

Table 2. Abbreviated names of prepared solutions and variations.

| Çözeltiler | İsimleri   |
|------------|--|
| Kontrol    | Emprenyesiz kavak odunu deney örnekleri  |
| MA1        | %25 etanol ile hazırlanmış myristik asit   |
| MA2        | %75 etanol ile hazırlanmış myristik asit   |
| LA1        | %25 etanol ile hazırlanmış laurik asit   |
| LA2        | %75 etanol ile hazırlanmış laurik asit   |
| Sh         | %5 etanol ile hazırlanmış şellak örnekleri   |
| MA1Sh      | %5 etanol ile hazırlanmış şellak içerisinde %25 konsantrasyon oluşturacak oranda myristik asit katılmıştır               |
| MA2Sh      | %5 etanol ile hazırlanmış şellak içerisinde %75 konsantrasyon oluşturacak oranda myristik asit katılmıştır               |
| LA1Sh      | %5 konsantrasyonda etanol ile hazırlanmış şellak içerisinde %25 konsantrasyon oluşturacak oranda laurik asit katılmıştır |
| LA2Sh      | %5 konsantrasyonda etanol ile hazırlanmış şellak içerisinde %75 konsantrasyon oluşturacak oranda laurik asit katılmıştır |

Tablo 2'de belirtilen konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltiler ile kavak odun örnekleri 650 mm/Hg vakum altında 1 saat vakum sonrası atmosferik basınç altında 2 saat bekletilerek empenye edilmiş ve sonra 50°C'de 4 gün bekletilerek tam kuru hale gelmeleri sağlanmıştır (Şekil 2).

### 2.2.2. Hızlandırılmış yaşlandırma testi

Hızlandırılmış yaşlandırma testi, Atlas Marka test cihazında ve ASTM G154-12a (2012) standartlarına ait 1 numaralı prosedüre göre gerçekleştirilmiştir. Örnekler yüksek sıcaklıklarda, UV ışığa ve çeşitli nem döngülerine 400 saat boyunca maruz bırakılmıştır. Dış ortam koşulları için kullanılan 340 nm lambalar, 0,89 W/m<sup>2</sup>/nm ışınımında, 60±3°C sıcaklıkta 8 saat ultraviyole ışık (UV) ve ardından 50±3°C sıcaklıkta 4 saat kondenzasyon döngüsünde gerçekleştirilmiştir.

Örnek yüzeylerindeki renk değişimlerinin ölçümü için 100, 200 ve 400 saatte örnekler cihazdan alınmış daha sonra örnek yüzeyindeki su damlaları dikkatli bir şekilde peçete ile silinmiş ve örnek yüzeylerinde renk ölçümleri yapılmıştır.

İlgili işlemlerin ardından örnekler tekrar test cihazına yerleştirilmiştir. Test sonrasında örnekler güneş ışığı görmeyen bir alanda muhafaza edilmiştir.

### 2.2.3. Renk parametrelerinin belirlenmesi

Renk ölçümü, Konica Minolta CD-600 renk ölçüm cihazıyla ve ISO 7724-2 (1984) standartlarına uygun yapılmıştır. Her varyasyon için 10 odun örneği kullanılmış ve her örnek üzerinde 3 ölçüm gerçekleştirilmiştir. CIELab (Commission Interational de i'Eclairage) sistemi üç değişkenden oluşmaktadır (ISO 7724-2, 1984). Çünkü CIELab (Commission Interational de i'Eclairage; CIE; cie.co.at) ... L: Işık stabilitesi, a ve b kromotografik koordinatları ifade etmekte olup +a kırmızı için, -a yeşil için, +b sarı için ve -b mavi için kullanılmaktadır. Araştırmada Δa, Δb, ΔL ve ΔE değerleri aşağıdaki renk formülleri ile hesaplanmıştır:

$$\Delta a = (a_{\text{yaşlandırılmış örnek}} - a_{\text{kontrol}}) \quad (1)$$

$$\Delta L = (L_{\text{yaşlandırılmış örnek}} - L_{\text{kontrol}}) \quad (2)$$

$$\Delta b = (b_{\text{yaşlandırılmış örnek}} - b_{\text{kontrol}}) \quad (3)$$

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{0.5} \quad (4)$$

### 2.3. İstatiksel analiz

Homojenlik grupları, standart sapmalar, varyasyon katsayıları, maksimum ve minimum sonuçları ve ortalama sonuçları SPSS programı ile hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular

Tablo 2'deki odun örneklerine ait istatistiksel analiz sonuçları, (L) için Tablo 3'te; (a) için Tablo 4'te ve (b) için Tablo 5'te yer almaktadır. Işık yoğunluğu (L) değerine ait sonuçlar Tablo 3'te görülmektedir. Işık yoğunluğu (L) değerine ait sonuçlar Tablo 2'de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre, yaşlandırma süresinin sonunda kırmızı renk tonu değerlerinin şellak katılmayan örneklerde düşüş gösterdiği, fakat şellak katılarak hazırlanan örneklerde ise artış gösterdiği görülmektedir.

Tablo 3. Işıklılık (L) değerine ait bulgular.  
Table 3. Results for Luminance (L) value.

| Uygulama              | Yaşlandırma Süresi | X     | Değişim (%) | HG       | SS   | Minimum | Maksimum | COV   |
|-----------------------|--------------------|-------|-------------|----------|------|---------|----------|-------|
| Emprenyesiz (Kontrol) | 0 saat             | 86,05 | -           | A        | 0,61 | 85,16   | 86,68    | 0,71  |
|                       | 100 saat           | 73,60 | ↓14,47      | HIJKLM   | 0,70 | 72,64   | 74,30    | 0,95  |
|                       | 200 saat           | 75,37 | ↓12,41      | GHIJK    | 1,27 | 74,11   | 77,37    | 1,69  |
|                       | 400 saat           | 72,91 | ↓15,27      | IJKLMNOP | 0,95 | 72,09   | 74,11    | 1,31  |
| Ma1W                  | 0 saat             | 86,17 | -           | A*       | 1,28 | 84,69   | 87,72    | 1,49  |
|                       | 100 saat           | 71,95 | ↓16,50      | MNO      | 2,20 | 69,15   | 74,99    | 3,05  |
|                       | 200 saat           | 75,66 | ↓12,20      | FGHIJ    | 1,59 | 73,17   | 77,00    | 2,10  |
|                       | 400 saat           | 79,19 | ↓8,10       | CDE      | 1,25 | 77,67   | 80,90    | 1,58  |
| Ma2W                  | 0 saat             | 84,89 | -           | A        | 0,62 | 84,16   | 85,42    | 0,73  |
|                       | 100 saat           | 69,89 | ↓17,67      | NOPR     | 0,96 | 68,43   | 70,94    | 1,38  |
|                       | 200 saat           | 68,48 | ↓19,33      | PRST     | 1,21 | 67,23   | 69,86    | 1,77  |
|                       | 400 saat           | 75,25 | ↓11,36      | GHIJKL   | 1,05 | 74,06   | 76,89    | 1,40  |
| La1W                  | 0 saat             | 84,12 | -           | AB       | 0,99 | 82,61   | 84,92    | 1,17  |
|                       | 100 saat           | 77,95 | ↓7,33       | DEFG     | 0,77 | 76,81   | 78,87    | 0,99  |
|                       | 200 saat           | 78,67 | ↓6,48       | CDEF     | 0,97 | 77,62   | 80,09    | 1,23  |
|                       | 400 saat           | 80,37 | ↓4,46       | CD       | 0,68 | 79,26   | 81,09    | 0,84  |
| La2W                  | 0 saat             | 81,43 | -           | BC       | 1,10 | 80,05   | 82,79    | 1,35  |
|                       | 100 saat           | 69,60 | ↓14,53      | NOPRS    | 2,20 | 66,35   | 71,59    | 3,16  |
|                       | 200 saat           | 76,09 | ↓6,56       | EFGHI    | 1,04 | 74,31   | 76,89    | 1,37  |
|                       | 400 saat           | 76,17 | ↓6,46       | EFGH     | 4,03 | 73,21   | 80,59    | 5,29  |
| Sh                    | 0 saat             | 45,74 | -           | Y**      | 4,90 | 38,13   | 50,53    | 10,71 |
|                       | 100 saat           | 53,36 | ↑16,66      | X        | 3,81 | 48,94   | 59,07    | 7,14  |
|                       | 200 saat           | 57,17 | ↑24,99      | W        | 4,89 | 52,51   | 64,71    | 8,55  |
|                       | 400 saat           | 56,72 | ↑24,01      | W        | 5,33 | 49,24   | 61,89    | 9,39  |
| Ma1Sh                 | 0 saat             | 62,02 | -           | V        | 1,98 | 59,41   | 63,88    | 3,19  |
|                       | 100 saat           | 66,53 | ↑7,27       | ST       | 1,41 | 64,12   | 67,79    | 2,11  |
|                       | 200 saat           | 72,46 | ↑16,83      | JKLMNOP  | 1,44 | 70,57   | 74,20    | 1,98  |
|                       | 400 saat           | 74,81 | ↑20,62      | GHIJKLM  | 1,71 | 72,48   | 76,82    | 2,29  |
| Ma2Sh                 | 0 saat             | 69,52 | -           | OPRS     | 0,62 | 68,45   | 70,05    | 0,89  |
|                       | 100 saat           | 65,65 | ↓5,57       | TU       | 1,83 | 63,24   | 67,30    | 2,78  |
|                       | 200 saat           | 66,81 | ↓3,90       | RST      | 2,07 | 64,12   | 68,93    | 3,10  |
|                       | 400 saat           | 72,03 | ↑3,61       | LMNO     | 0,78 | 71,38   | 73,12    | 1,08  |
| La1Sh                 | 0 saat             | 57,74 | -           | W        | 3,69 | 54,37   | 62,99    | 6,38  |
|                       | 100 saat           | 67,60 | ↑17,08      | RST      | 2,00 | 64,26   | 69,67    | 2,96  |
|                       | 200 saat           | 69,98 | ↑21,20      | NOPR     | 1,83 | 67,89   | 71,53    | 2,61  |
|                       | 400 saat           | 72,14 | ↑24,94      | KLMNO    | 0,88 | 71,12   | 73,54    | 1,23  |
| La2Sh                 | 0 saat             | 63,57 | -           | UV       | 3,90 | 58,03   | 67,91    | 6,14  |
|                       | 100 saat           | 71,57 | ↑12,58      | MNOP     | 1,99 | 69,56   | 73,71    | 2,78  |
|                       | 200 saat           | 72,62 | ↑14,24      | JKLMNOP  | 1,86 | 69,76   | 74,19    | 2,56  |
|                       | 400 saat           | 77,46 | ↑21,85      | DEFG     | 1,57 | 75,75   | 79,48    | 2,02  |

X: Ortalama, SS: Standart Sapma, HG: Homojenlik Grubu, COV: Varyasyon Katsayısı, Homojenlik Grubu sütunu için \*: En yüksek değer, \*\*: En düşük değer

Kırmızı (a\*) renk tonu değerine ait sonuçlar Tablo 4'te gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre, yaşlandırma süresi sonunda kırmızı renk tonu değerlerinin şellak katılmayan

örneklerde azaldığı, şellak katılarak hazırlanan örneklerde ise arttığı görülmektedir.

Tablo 4. Kırmızı (a\*) renk tonu değerine ait bulgular.  
Table 4. Results for the red (a\*) hue value.

| Uygulama              | Yaşlandırma Süresi | X     | Değişim (%) | HG   | SS   | Minimum | Maksimum | COV    |
|-----------------------|--------------------|-------|-------------|------|------|---------|----------|--------|
| Emprenyesiz (Kontrol) | 0 saat             | 2,58  | -           | O    | 0,16 | 2,41    | 2,79     | 6,29   |
|                       | 100 saat           | 9,80  | ↑279,84     | DEF  | 0,38 | 9,38    | 10,10    | 3,88   |
|                       | 200 saat           | 8,03  | ↑211,24     | GHIJ | 0,78 | 6,88    | 8,81     | 9,72   |
|                       | 400 saat           | 6,78  | ↑162,79     | JKL  | 0,58 | 5,87    | 7,38     | 8,54   |
| Ma1W                  | 0 saat             | -0,44 | -           | RS   | 0,35 | -0,71   | 0,14     | -80,64 |
|                       | 100 saat           | 9,24  | ↑2200,00    | FG   | 1,22 | 7,78    | 11,09    | 13,19  |
|                       | 200 saat           | 7,20  | ↑1736,36    | IJK  | 0,65 | 6,32    | 8,10     | 9,00   |
|                       | 400 saat           | 5,13  | ↑1265,91    | MN   | 0,40 | 4,48    | 5,50     | 7,79   |
| Ma2W                  | 0 saat             | 0,47  | -           | PR   | 0,16 | 0,27    | 0,65     | 33,60  |
|                       | 100 saat           | 9,71  | ↑1965,96    | EF   | 1,33 | 8,19    | 11,42    | 13,65  |
|                       | 200 saat           | 11,04 | ↑2248,94    | CDE  | 0,70 | 10,12   | 11,69    | 6,37   |
|                       | 400 saat           | 6,80  | ↑1346,81    | JKL  | 1,10 | 5,87    | 8,09     | 16,11  |
| La1W                  | 0 saat             | -1,34 | -           | S**  | 0,35 | -1,75   | -0,87    | -26,07 |
|                       | 100 saat           | 5,23  | ↑490,30     | MN   | 0,31 | 4,89    | 5,70     | 5,93   |
|                       | 200 saat           | 5,36  | ↑500,00     | LMN  | 0,22 | 5,04    | 5,64     | 4,12   |
|                       | 400 saat           | 4,18  | ↑411,94     | N    | 0,32 | 3,87    | 4,61     | 7,57   |
| La2W                  | 0 saat             | 1,46  | -           | OP   | 1,32 | -0,17   | 2,96     | 90,99  |
|                       | 100 saat           | 8,89  | ↑508,90     | FGH  | 0,37 | 8,39    | 9,32     | 4,15   |
|                       | 200 saat           | 5,80  | ↑297,26     | KLM  | 1,19 | 3,95    | 7,23     | 20,48  |
|                       | 400 saat           | 4,99  | ↑241,78     | MN   | 1,81 | 3,01    | 6,62     | 36,23  |
| Sh                    | 0 saat             | 12,63 | -           | B    | 0,67 | 11,74   | 13,34    | 5,29   |
|                       | 100 saat           | 14,21 | ↑12,51      | A    | 0,63 | 13,24   | 14,82    | 4,42   |
|                       | 200 saat           | 14,79 | ↑17,10      | A*   | 1,27 | 12,56   | 15,75    | 8,59   |
|                       | 400 saat           | 14,33 | ↑13,46      | A    | 1,76 | 12,41   | 15,82    | 12,27  |
| Ma1Sh                 | 0 saat             | 8,99  | -           | FGH  | 0,92 | 7,67    | 10,01    | 10,25  |
|                       | 100 saat           | 11,20 | ↑24,58      | BCD  | 1,25 | 9,57    | 12,99    | 11,18  |
|                       | 200 saat           | 8,87  | ↓1,33       | FGH  | 0,83 | 8,06    | 10,05    | 9,36   |
|                       | 400 saat           | 7,26  | ↓19,24      | IJK  | 0,73 | 6,36    | 7,98     | 10,06  |
| Ma2Sh                 | 0 saat             | 9,26  | -           | FG   | 0,82 | 8,46    | 10,24    | 8,83   |
|                       | 100 saat           | 12,15 | ↑31,21      | BC   | 0,92 | 10,87   | 13,47    | 7,58   |
|                       | 200 saat           | 12,06 | ↑30,24      | BC   | 1,76 | 10,41   | 14,15    | 14,57  |
|                       | 400 saat           | 8,73  | ↓5,72       | FGHI | 1,13 | 7,86    | 10,69    | 12,98  |
| La1Sh                 | 0 saat             | 12,47 | -           | BC   | 1,41 | 11,21   | 14,69    | 11,28  |
|                       | 100 saat           | 9,38  | ↓24,78      | FG   | 1,41 | 7,87    | 11,06    | 14,98  |
|                       | 200 saat           | 8,97  | ↓28,07      | FGH  | 0,90 | 8,22    | 10,47    | 10,04  |
|                       | 400 saat           | 7,63  | ↓38,81      | HIJ  | 1,59 | 5,16    | 9,57     | 20,82  |
| La2Sh                 | 0 saat             | 12,24 | -           | BC   | 0,89 | 11,04   | 13,16    | 7,28   |
|                       | 100 saat           | 9,40  | ↓23,20      | FG   | 0,71 | 8,18    | 9,86     | 7,50   |
|                       | 200 saat           | 7,43  | ↓39,30      | HIJ  | 2,58 | 3,78    | 11,00    | 34,72  |
|                       | 400 saat           | 5,21  | ↓57,43      | MN   | 1,71 | 2,28    | 6,52     | 32,86  |

X: Ortalama, SS: Standart Sapma, HG: Homojenlik Grubu, COV: Varyasyon Katsayısı, Homojenlik Grubu sütunu için \*: En yüksek değer, \*\*: En düşük değer

Sarı(b\*) renk tonu değerine ait sonuçlar Tablo 5'te gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre, yaşlandırma süresinin sonunda sarı renk tonu değerlerinin tüm varyasyonlarda ilk

100 saat artış gösterdiği, fakat 200 saat sonrası La2W, Ma1Sh ve La2Sh örneklerinde artış gösterdiği görülmektedir.



Tablo 5. Sarı (b\*) renk tonu değerine ait bulgular.  
Table 5. Results for yellow (b\*) hue value.

| Uygulama              | Yaşlandırma Süresi | X     | Değişim (%) | HG    | SS   | Minimum | Maksimum | COV   |
|-----------------------|--------------------|-------|-------------|-------|------|---------|----------|-------|
| Emprenyesiz (Kontrol) | 0 saat             | 17,74 | -           | LMNOP | 0,19 | 17,54   | 17,96    | 1,08  |
|                       | 100 saat           | 30,41 | ↑71,42      | ABC   | 0,81 | 29,40   | 31,21    | 2,65  |
|                       | 200 saat           | 22,77 | ↑28,35      | GHIJ  | 2,34 | 19,38   | 25,11    | 10,27 |
|                       | 400 saat           | 18,77 | ↑5,81       | KLMN  | 0,78 | 17,45   | 19,50    | 4,13  |
| Ma1W                  | 0 saat             | 14,04 | -           | RS    | 4,97 | 8,41    | 17,98    | 35,42 |
|                       | 100 saat           | 31,39 | ↑123,58     | ABC   | 2,45 | 27,76   | 34,63    | 7,82  |
|                       | 200 saat           | 22,05 | ↑57,05      | HIJ   | 1,82 | 19,65   | 24,65    | 8,27  |
|                       | 400 saat           | 14,62 | ↑4,13       | PRS   | 0,87 | 13,08   | 15,15    | 5,93  |
| Ma2W                  | 0 saat             | 15,10 | -           | OPR   | 1,58 | 12,97   | 16,35    | 10,44 |
|                       | 100 saat           | 29,02 | ↑92,19      | BCD   | 3,51 | 25,20   | 34,61    | 12,09 |
|                       | 200 saat           | 25,67 | ↑70,00      | EFG   | 1,72 | 23,56   | 27,55    | 6,70  |
|                       | 400 saat           | 16,76 | ↑10,99      | MNOPR | 1,28 | 15,56   | 18,23    | 7,61  |
| La1W                  | 0 saat             | 15,77 | -           | NOPR  | 0,86 | 14,59   | 16,96    | 5,44  |
|                       | 100 saat           | 22,46 | ↑42,42      | GHIJ  | 1,46 | 20,21   | 24,01    | 6,50  |
|                       | 200 saat           | 15,95 | ↑1,14       | NOPR  | 0,78 | 15,23   | 16,88    | 4,87  |
|                       | 400 saat           | 11,76 | ↓25,43      | S**   | 0,79 | 11,18   | 12,98    | 6,74  |
| La2W                  | 0 saat             | 15,74 | -           | NOPR  | 0,74 | 14,66   | 16,52    | 4,67  |
|                       | 100 saat           | 26,79 | ↑70,20      | DEF   | 2,28 | 23,20   | 29,28    | 8,53  |
|                       | 200 saat           | 14,74 | ↓6,35       | PRS   | 2,17 | 11,81   | 17,88    | 14,68 |
|                       | 400 saat           | 15,80 | ↑0,38       | NOPR  | 3,62 | 11,31   | 18,85    | 22,88 |
| Sh                    | 0 saat             | 24,80 | -           | FGH   | 2,82 | 20,77   | 27,60    | 11,36 |
|                       | 100 saat           | 33,14 | ↑33,63      | A     | 2,28 | 30,30   | 36,28    | 6,87  |
|                       | 200 saat           | 33,21 | ↑33,91      | A*    | 1,62 | 30,60   | 34,89    | 4,86  |
|                       | 400 saat           | 32,34 | ↑30,40      | A     | 1,69 | 30,66   | 34,28    | 5,23  |
| Ma1Sh                 | 0 saat             | 22,21 | -           | HIJ   | 1,50 | 20,61   | 23,90    | 6,77  |
|                       | 100 saat           | 31,40 | ↑41,38      | ABC   | 3,18 | 27,13   | 35,49    | 10,13 |
|                       | 200 saat           | 22,20 | ↓0,05       | HIJ   | 2,63 | 19,46   | 25,83    | 11,84 |
|                       | 400 saat           | 18,30 | ↓17,60      | LMNO  | 0,89 | 17,38   | 19,43    | 4,85  |
| Ma2Sh                 | 0 saat             | 20,92 | -           | IJKL  | 2,28 | 18,35   | 23,66    | 10,90 |
|                       | 100 saat           | 31,82 | ↑52,10      | AB    | 2,30 | 27,81   | 33,20    | 7,21  |
|                       | 200 saat           | 26,91 | ↑28,63      | DEF   | 2,59 | 23,51   | 29,71    | 9,62  |
|                       | 400 saat           | 19,77 | ↓5,50       | JKLM  | 2,37 | 17,87   | 23,83    | 12,00 |
| La1Sh                 | 0 saat             | 21,71 | -           | HIJK  | 1,23 | 20,05   | 23,28    | 5,66  |
|                       | 100 saat           | 27,05 | ↑24,60      | DEF   | 3,54 | 22,78   | 30,36    | 13,09 |
|                       | 200 saat           | 23,92 | ↑10,18      | FGHI  | 2,42 | 20,44   | 27,24    | 10,10 |
|                       | 400 saat           | 20,33 | ↓6,36       | JKL   | 2,18 | 17,54   | 23,51    | 10,72 |
| La2Sh                 | 0 saat             | 24,65 | -           | FGH   | 1,94 | 21,83   | 27,27    | 7,88  |
|                       | 100 saat           | 28,34 | ↑14,97      | CDE   | 3,61 | 23,31   | 31,84    | 12,73 |
|                       | 200 saat           | 22,58 | ↓8,40       | GHIJ  | 4,66 | 19,40   | 30,69    | 20,62 |
|                       | 400 saat           | 15,74 | ↓36,15      | NOPR  | 1,25 | 13,68   | 16,88    | 7,94  |

X: Ortalama, SS: Standart Sapma, HG: Homojenlik Grubu, COV: Varyasyon Katsayısı, Homojenlik Grubu sütunu için \*: En yüksek değer, \*\*: En düşük değer

#### 4. Tartışma ve sonuç

Kontrol ve test örneklerine ait fotoğraflar Şekil 2’te görünmekte olup emprenye sonrası odun örneklerinin

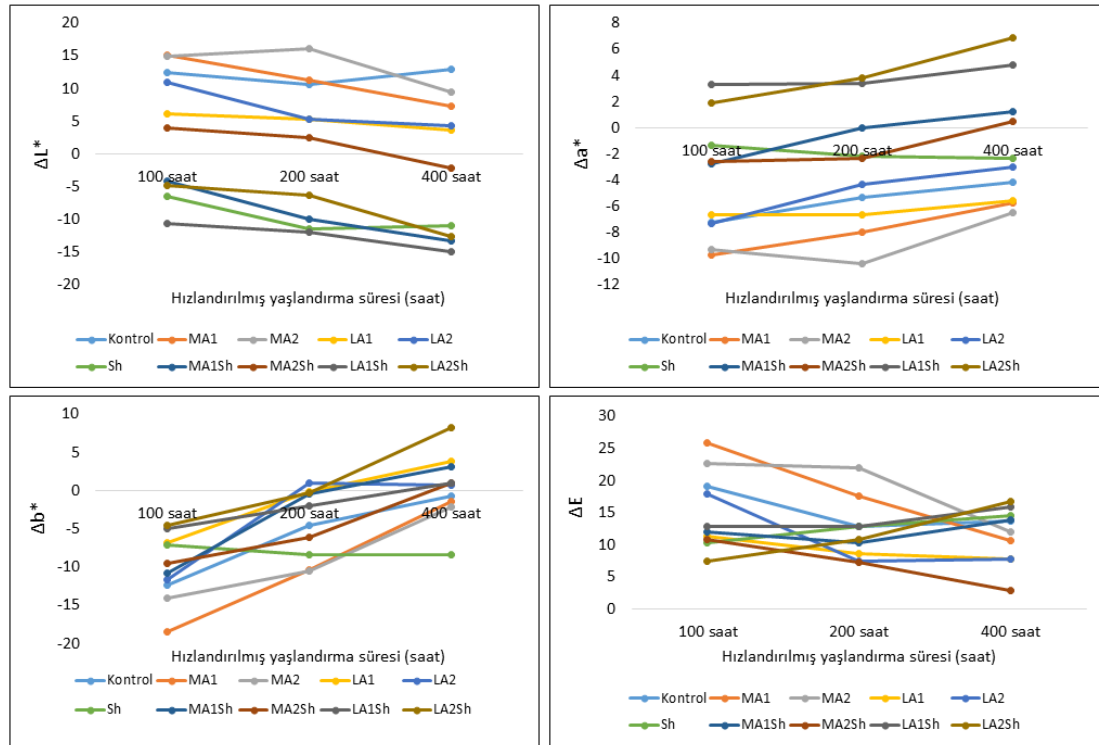
renginin koyulaştığı, 400 saat yaşlandırma testi sonrası ise beyaz yüzeyli örnekler elde edildiği gözükmemektedir.



Şekil 2. Test ve kontrol örneklerinin yaşlandırma öncesi ve sonrasına ait görüntü.  
Figure 2. Image of test and control samples before and after aging.

Test ve kontrol örneklerinde renk değişim değerleri CIELab sistemine göre belirlenen L (ışık yoğunluğu), a ve b kromotografik koordinatları (+a kırmızı, -a yeşil, +b sarı ve -

b mavi) kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 1'de  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ , ve toplam renk değişimi  $\Delta E$  değişim değerleri yer almaktadır.



Şekil 3. Renk parametrelerine ait veriler  
Figure 3. Data for color parameters

Şekil 3'te  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  ve toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değerleri yer almaktadır. Şekil 3a'da tüm örneklerin hızlandırılmış yaşlandırma testi etkisi nedeniyle ilk 400 saat sonunda açılma eğiliminde olduğu, Sh, Ma1Sh, Ma2Sh, La1Sh, ve La2Sh örneklerinde ise 100 saatten sonra koyulaşma eğiliminin olduğu görülmektedir. Bu durumun kullanılan şellak maddesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şellak (-6.47) kullanılarak emprenye edilen tüm örneklerde kontrole (12.51) kıyasla daha koyu renk elde edilmiştir.

Şekil 3b'de  $\Delta a^*$  değerleri tüm örnekler için test süresi ile beraber artış gösterdiği görülmektedir.  $\Delta a$  değerlerinde şellak kullanılan örnekler, şellak kullanılmayan örneklerden yüksek  $\Delta a$  değerine sahip olmuşlardır.

Şekil 3c'de tüm örnekler için  $\Delta b$  değerlerinin test süresi ile beraber arttığı görülmektedir. 400 saat sonunda en düşük  $\Delta b$  değeri Sh örneklerinde (-8.45), en yüksek  $\Delta b$  değeri ise La2Sh (8.20) örneklerinde elde edilmiştir.

Toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değerleri (Şekil 3d) yönüyle, ilk 100 saat en az (minimum) renk değişimi La2Sh (7.45) örneklerinde ve en fazla (maksimum) renk değişimi Ma1 (25.85) örneklerinde elde edilmiş; kontrol örneklerinde ise toplam renk değişimi 20 olarak bulunmuştur. Pandey (2005) odun örneklerinin yüzeyindeki fenolik ekstraktiflerin foto-degradasyon oranını arttırdığını ve bu nedenle odun yüzeylerindeki delignifikasyonun arttığını rapor etmiştir. Benzer şekilde, Tondi ve ark. (2013), UV ışınlarını daha fazla absorbe eden ve aromatik olarak zengin koyu yüzeylerin elde edildiğini bildirmişlerdir.

### Teşekkür

Çalışma süresince verdikleri katkılardan dolayı Prof. Dr. Eylem Dizman Tomak'a teşekkürlerimi sunarım.

### Kaynaklar

ASTM G154-12a, 2012. Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials, American Society for Testing and Materials (ASTM-International; astm.org), West Conshohocken, PA, USA

Bar, H., Bianco-Peled, H., 2020. Modification of shellac coating using Jeffamine® for enhanced mechanical properties and stability, *Progress in Organic Coatings*, 141: 105559. Doi: 10.1016/j.porgcoat.2020.105559

Bose, P.K., Sankaranarayanan, Y., Sen-Gupta, S.C., 1963. *Chemistry of Lac*. Indian Lac Research Institute. Ranchi, Jharkhand, India

Cai, Z., Ross, R. J., 2010. Mechanical Properties of Wood-based Composite Materials. *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material: Chapter 12*. Centennial ed. General Technical Report FPL, GTR-190. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Lab. (fs.usda.gov/research/treesearch/37420; Ziyaret tarihi: 17.07.2023)

Chen, S., Xu, C., Mao, L., Liu, F., Sun, C., Dai, L., Gao, Y., 2018. Fabrication and characterization of binary composite nanoparticles between zein and shellac by anti-solvent co-precipitation. *Food and Bioprocess Processing*, 107: 88-96. Doi: 10.1016/j.fbp.2017.11.003

Ghosh, M., Gupta, S., Kumar, V.S., 2015. Studies on the loss of gloss of shellac and polyurethane finishes exposed to UV. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 17(1): 39-44. Doi: 10.4067/S0718-221X2015005000004

Khanna, B.B., Tripathi, S.K.M., 1979. Modification of lac, *Chemicals and Petrochemicals Journal*, 1 (1979): 1-8

Şu eserin s-49'na göre: dspace.ncl.res.in:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12252/2728/TH1727.pdf?sequence=1

Liu, M., Tu, X., Liu, X., Wu, Z., Lv, J., Varodi, A., 2020. A comparative study on the effects of linseed oil and shellac treatment on the hygroscopicity, dimensional stability, and color changes of Chinese ash wood. *BioResources*, 15(4): 8085-8092

Luangtana-Anan, M., Soradech, S., Saengsod, S., Nunthanid, J., Limmatvapirat, S., 2017. Enhancement of moisture protective properties and stability of pectin through formation of a composite film: Effects of shellac and plasticizer. *Journal of Food Science*, 82(12): 2915-2925. Doi: 10.1111/1750-3841.13956

Mei, S., Han, P., Wu, H., Shi, J., Tang, L., Jiang, Z., 2018. One-pot fabrication of chitin-shellac composite microspheres for efficient enzyme immobilization. *Journal of Biotechnology*, 266: 1-8

Pandey, K. K., 2005. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer Degradation and Stability*, 87(2): 375-379

Teng, T. J., Arip, M. N. M., Sudesh, K., Nemoikina, A., Jalaludin, Z., Ng, E. P., Lee, H. L., 2018. Conventional technology and nanotechnology in wood preservation: A review. *BioResources*, 13(4): 9220-9252

Tondi, G., Schnabel, T., Wieland, S., Petutschnigg, A., 2013. Surface properties of tannin treated wood during natural and artificial weathering. *International Wood Products Journal*, 4(3): 150-157

Wong, L. J., H'ng, P. S., Wong, S. Y., Lee, S. H., Lum, W. C., Chai, E. W., Wong, W.Z., Chin, K. L., 2014. Termite digestomes as a potential source of symbiotic microbiota for lignocelluloses degradation: A review. *Pakistan Journal of Biological Sciences-PJBS*, 17(8), 956-963

Yan, X., Tao, Y., Chang, Y., 2021. Effect of shellac waterborne coating microcapsules on the optical, mechanical and self-healing properties of waterborne primer on *Tilia europaea* L. wood. *Coatings*, 11(7): 785. Doi: 10.3390/coatings11070785

Yin, J., Yuan, T., Lu, Y., Song, K., Li, H., Zhao, G., Yin, Y., 2017. Effect of compression combined with steam treatment on the porosity, chemical composition and cellulose crystalline structure of wood cell walls. *Carbohydrate Polymers*, 155: 163-172



## A comparative study on paper recycling wastewater treatment using microwave irradiation and centrifuge technology

### Mikrodalga ışınlama ve santrifüj teknolojisi kullanılarak kağıt geri dönüşümü atıksu arıtımı üzerine karşılaştırmalı bir çalışma

Uğur ÖZKAN<sup>\*</sup> , Halil Turgut ŞAHİN 

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

Sorumlu yazar:

Uğur ÖZKAN

E-mail:

ugurozkan@isparta.edu.tr

Gönderim Tarihi:

14/09/2023

Kabul Tarihi:

31/10/2023

Atf:

Özkan, U., Şahin, H. T. 2023. A comparative study on paper recycling wastewater treatment using microwave irradiation and centrifuge technology. Ağaç ve Orman, 4(2), 66-72. DOI: 10.59751/agacorman.1360297

#### Abstract

In this study, the effect of MW irradiation on wastewater obtained from recycling office papers was evaluated. Wastewater samples were centrifuged in the MW oven for periods between 1.0 minutes and 15.0 minutes after MW irradiation. The effect of a centrifuge on the general appearance of wastewater samples was determined. There was no significant pH change depending on treatment conditions. MW irradiation affects electrical conductivity (EC) and Total Dissolved Solids (TDS). It was found to be in the range of 177 ppm for the sample (A1) centrifuged only for 1.0 min and 241 ppm for the MW irradiated and 15.0 min. It is significant to note that all wastewater samples were either centrifuged only (group A) or MW irradiated and then centrifuged (group B) and showed lower ORP values than the control. The highest ORP value of 309 mV was found in the control, but the lowest value of 251 mV was found for the MW irradiated sample (B1) centrifuged for 1.0 minutes. The lowest turbidity values were seen in control and MW irradiated samples with the longest centrifugation (15.0 min). 28 NTU was measured for samples centrifuged only (A15) at 15.0 min conditions and 10 NTU (B15) for MW irradiated and subsequently centrifuged samples. The highest turbidity reduction of 143 NTU was found in a sample under 1.0 min centrifugation. There is a positive relationship between turbidity reduction and centrifuge time, but paper recycling wastewater MW treatments further reduce the effects of turbidity values with less centrifuge time.

**Keywords:** Paper recycling, turbidity, centrifuge, office paper, wastewater treatment.

#### Özet

Bu çalışmada, MW ışınlamasının ofis kağıtlarının geri dönüşümünden elde edilen atık su üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Atıksu numuneleri MW fırınında MW ışınlamasından sonra 1.0 dakika ile 15.0 dakika arasındaki sürelerde santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Santrifüjün atıksu numunelerinin rengi üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Arıtma koşullarından bağımsız olarak önemli bir pH değişikliği bulunmamıştır. MW ışınlamasının elektriksel iletkenlik (EC) ve Toplam Çözünmüş Katı (TDS) üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. 1.0 dakika sadece santrifüjlenmiş örnek (A1) için 177 ppm, ışınlanmış MW ve 15.0 dakika için 241 ppm aralığında bulunmuştur. Tüm atık su numunelerinin ya sadece santrifüjlendiğini (A grubu) ya da MW ışınlandığını ve sonra santrifüjlendiğini (B grubu), kontrolden daha düşük ORP değerleri gösterdiğine dikkat etmek önemlidir. En yüksek ORP değeri 309 mV kontrolde bulunmuştur ancak en düşük değer 251 mV ile 1.0 dakika santrifüjlenmiş MW ışınlanmış numune (B1) numunesi için bulunmuştur. En düşük bulanıklık değerleri, en uzun santrifüjleme (15.0 dakika) ile hem kontrol hem de MW ışınlanmış numunelerde görülmüştür. 15.0 dakika koşullarında sadece santrifüjlenmiş (A15) için 28 NTU ve MW ışınlanmış ve daha sonra santrifüjlenmiş numuneler için 10 NTU (B15) olarak ölçülmüştür. 143 NTU' nun en yüksek bulanıklık azalması, 1.0 dakikalık santrifüj koşullarında bir numunede bulunmuştur. Bulanıklık azalmaları ile santrifüj süresi arasında pozitif bir ilişki vardır ancak kağıt geri dönüşüm atıksuyu MW arıtmaları, daha az santrifüj süresi ile bulanıklık değerlerinin etkilerini daha da azaltır.

**Anahtar kelimeler:** Kağıt geri dönüşümü, bulanıklık, santrifüj, ofis kağıdı, atıksu arıtma.

## 1. Introduction

Papermaking is a capital and energy-intensive industry involving the manufacture of several products from cellulose pulp. In the case of depletion of natural resources, paper recycling has continuously increased worldwide (Čabalová et al., 2011; Sahin, 2013). In this regard, paper recycling has become an essential topic of the paper industry, covering the recovery and processing of post-consumer paper into new products. However, recovered papers are typically used to produce various of products, while high grades, such as printing and writing paper, usually require virgin pulp (Biermann, 1996).

After the cellulosic matter, the main structural element in sheet structure, water is the second most crucial medium for the paper industry (Biermann, 1996; Hubbe et al., 2016). It mainly involves processes, including furnish preparation, pulp treatment, and paper web formation. Although the quantity of water consumption varies for each mill depending on the desired paper grade, it requires fresh water for every tonne of paper manufactured (Biermann, 1996; Ozkan et al., 2023).

Paper recycling produces a broad spectrum of pollutants in the water stream (Kamali and Khodaparast, 2015; Hubbe et al., 2016; Han et al., 2021). In general, besides a series of chemicals and their derivatives (i.e., salts, Ti, Si, Fe, Al, Na, Ca, Mg, K) hydrogen peroxide, chlorinated compounds (absorbable organic halides, AOX), wastewater of paper recycling mills are considered as rich of in starch (derived from coatings), calcium ion (Ca<sup>2+</sup>, derived from calcium carbonate from filler and coating pigments) sticky matter (derived from adhesives and coating binders) and sulphate (derived from aluminum sulphate in the sizing process) (Pokhrel and Viraghavan, 2004; Toczyłowska-Mamińska, 2017; Han et al., 2021). These results in a series of complications to the environment. Therefore, identifying effluents, effective treatments, and reducing water consumption are necessary to manage the water system (Coskun 2022). Many wastewater treatment methods have been adopted for the pulp and paper industry, including primary, secondary, and tertiary treatments (Hubbe et al., 2016; Han et al., 2021).

As cost-effective and easy to operate, the centrifuges (also called decanters) have been used without a costly filtering medium for decades. Typically, it operates by using the sedimentation principle (Anlauf, 2007). Substances are separated based on their density under the influence of gravitational force (Anlauf, 2007; Choy et al., 2016). However, it is useful in a wide variety of wastewater, ranging from sludge dewatering to sorting solids. It has been well documented that the centrifuge impact on suspended particles can be accomplished by four mechanisms: charge neutralization, bridging, double-layer compression, and sweep coagulation (Choy et al., 2016). The centrifuges are generally utilized as primary treatments, but they have some drawbacks: high energy consumption, noise issues, and the need for a standby unit. Therefore, improvements need to be made to the wastewater infrastructure.

Microwave (MW) irradiation is an electromagnetic ultrahigh-frequency radiation, radio waves from a frequency of 0.3 GHz to 300 GHz. It has gained much attention owing to the molecular level heating in various processes (Remya and Lin, 2011; Vialkova et al., 2021). Many researchers have conducted a comprehensive study of the existing state of MW technology for adopting wastewater treatment (Remya and Lin, 2011; Wang and Wang, 2016; Wei et al., 2020; Vialkova et al., 2021; Ozkan et al., 2023). It was reported to be used for complex oxidation of wastewater containing ammonia (Lin et al., 2009), phosphorous compounds (Jung 2011), phenols (Remya and Lin, 2011; Wang et al., 2021) pesticides (Cheng et al., 2015), medical preparations (Remya and Lin, 2011), and some other elements (Wang and Wang, 2016; Wei et al., 2020; Vialkova et al., 2021).

Researchers reported that the MW irradiation effect to decompose contaminants had numerous advantages: selectivity and reaction rate increase while process time, activation energy, and equipment size decrease (Vialkova et al., 2021). In the MW irradiation of wastewater in aquatic environments, a series of physicochemical transformations impact the properties of water and activation in chemical reactions (i.e., oxidation of organic matter), resulting in increased dissolution, coagulation, and demulsification of pollution (Vialkova et al., 2021).

This study mainly deals with MW treatment of wastewater derived from paper recycling in laboratory conditions. It has been considered to be a variation in some quality indicators of wastewater, while it may be an alternative cost-effective approach to conventional methods.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Materials

Using standard paper recycling procedures, the post-consumer office paper was utilized to produce wastewater. In limited studies, one-sided laser-printed office papers, typically made of fully bleached kraft paper, are supplied from offices. For the treatment of wastewater, a 20-liter household microwave oven (Beko brand) operating at 2.4 GHz was used.

### 2.2. Methods

A laboratory-type 1.0-liter blender was used for disintegration at 15-20% w/v. All the sheets are transformed into secondary pulp after a 5- to 10-minute period of disintegration. The effluent from this slurry was then treated with a centrifuge and a microwave after being screened on a 200-mesh sieve.

A small laboratory-type centrifuge instrument (Medwelt 800 D, China) was used. It has a capacity of six tubes (20 ml). However, centrifuge procedures on both control and MW irradiated water samples at constant rpm (3000) with periods 1.0 to 15.0 minutes have used. The MW trials were conducted at 90 watts with 60 seconds of duration. Detailed information on experimental procedures can be found elsewhere (Özkan and Şahin, 2023).

Using a multi-parameter instrument (Apera PC5, Wuppertal, Germany), the pH, Total Dissolved Solids (TDS), Electrical Conductivity (EC), and Oxidation Reduction Potential (ORP) were measured. A turbidity meter (Hanna HI 93703, East Drive Woonsocket, RI, USA) was used to measure the turbidity (cloudiness) of water samples by the ISO 7027 International Standard. Equations (1) were used to determine the effectiveness of turbidity removal (Choy et al., 2016).

$$\text{Turbidity removals (\%)}: [(Initial\ turbidity - final\ turbidity) / (initial\ turbidity)] * 100 \quad (1)$$

Some abbreviations were used throughout the study. These are C0: Control, A: only centrifuged wastewater, B: MW irradiated and centrifuged wastewater, 1-15: centrifuge durations of wastewater.

### 3. Results and Discussions

The basic physicochemical properties of samples such as pH, EC, TDS, and ORP are presented in Table 1 and have already been reported to be useful methods for determining wastewater characteristics. Those are also subjected to many wastewater quality properties.

The monitoring of the acidity (pH level) is a critical factor in determining processing requirements for wastewater treatments, which require nearly 7.0, with a range of 6.6 to 7.4 considered acceptable for anaerobic digestion (Hubbe et al., 2016; Boczkaj and Fernandes, 2017). However, there is no considerable pH variation observed among samples which are the lowest pH value of 6.92 was found with control (C0), and the highest pH of 7.23 was found with a 1.0 min centrifuged sample (A1). The difference between the two values is only 0.31 (metric), which is in the marginal range. It has been well documented that pH is essential in the efficiency of effluent treatments to ensure that it is optimal (Han et al., 2021). In this study, MW irradiation appears to only marginally impact the pH of paper recycling wastewater.

In order to determine dissolved material in an aqueous (nutrient) solution, the Electrical conductivity (EC) measurement of the wastewater samples was conducted. The EC of a 15 min MW irradiated and centrifuged sample (B15) is a relatively high EC value (483 uS/cm), while the lowest EC value of 355 uS/cm was found with only a 1.0 min centrifuged sample (A1). It appears to have MW irradiation increasing effects on the EC of paper recycling wastewater. It may be a rise in the mobility of the water molecules because the EC of wastewater samples increased.

Vialkova et al., (2021) have also reported similar results for MW irradiated wastewater treatments.

Total Dissolved Solids (TDS) are one of the most often used tests in the quality control of wastewater. These can be chemical substances (i.e., minerals, salts, metals). Like EC values, a similar trend was also found with TDS, which ranged from 177 ppm (A1) to 241 ppm (B15). Considering a typical three-step treatment process for recycled paper mills, it has been proposed that much soluble organic matter can be removed by secondary treatment (Remya and Lin 2011). However, in our study, MW irradiation appears not to be effective for removing suspended solids in paper recycling wastewater. These results could be improved by using extended MW irradiation or different power levels to find optimum conditions.

Oxidation-reduction potential (ORP) is a numerical index, typically measured to determine an indicator of water quality (Račys et al., 2010). The measurements showed that all treated wastewater samples were from sample groups of either only centrifuged or MW irradiated and then centrifuged showed lower ORP values than control (C0). The highest ORP value of 309 mV was found with control, followed by samples A15 (290 mV), A1 (281 mV), B15 (268 mV), and B1 (251 mV), in that order. It is vital to note MW irradiated samples show lower ORP values than only centrifuged samples. A higher ORP generally indicates a more significant potential for oxidation, while a lower ORP indicates a more tremendous potential for reduction. ORP values can be affected by factors such as pH, temperature, and other substances in the water.

The wastewater is varied in appearance; numerous coloring ingredients, including inks during papermaking, while can be released into the water during recycling. The general appearance of wastewater derived from recycling and treated at selected conditions is shown in Figure 1. The initial appearance (control) of wastewater appears to be a darkish color at ambient conditions (Fig. 1a). The sediment flakes are uneven and coarse-dispersed. When procedures are conducted within 1.0 min (Fig. 1b) and 15.0 min (Fig.1d), some level of clarification of the samples is visually realized. However, further clarifications were also evident for MW irradiated samples at 1.0 min (Fig. 1c) and 15.0 min centrifuge conditions. It is important to note that approximately 3000 different effluents have been reported for industrial wastewater, which is very difficult to evaluate each of them (Vialkov et al., 2021). However, it may be suggested that several mechanisms could mediate this response, as seen in Figure 1.

Table 1. The general physicochemical properties of samples.

| Time      | pH       |          | EC (uS/cm) |          | TDS (ppm) |          | ORP (mV) |          |
|-----------|----------|----------|------------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| <b>C0</b> | 6.92     |          | 378        |          | 190       |          | 309      |          |
| <b>1</b>  | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>A</b>   | <b>B</b> | <b>A</b>  | <b>B</b> | <b>A</b> | <b>B</b> |
|           | 7.23     | 7.0      | 355        | 438      | 177       | 219      | 281      | 251      |
| <b>15</b> | 7.10     | 7.17     | 422        | 483      | 211       | 241      | 290      | 268      |

1. Strong centrifugal forces from the rotation of a cylindrical bowl impact separating solid/liquid mixes from paper recycling wastewater (Fig. 1b-e),
2. The finely distributed solid particles are separated from the suspension, increasing solids content (Fig. 1b-c),
3. Solubilization of organic substances and minerals may occur in microwave irradiation (Fig. 1c and e),
4. The oxygen molecules may participate in the oxidative reactions of organic matter (Fig. 1c and e).

One of the distinctive features of the microwave is its thermal effect, which involves high thermostet reaction rates. In fact, the structure of water and its ingredients change under electromagnetic radiation. Figure 2 shows some micrographs from selected samples. It is clearly distinguished that the centrifuge reduces the effects of large

particles and clarifies wastewater (Fig. 2b and d) at some level. At the same time, the control sample has higher particulate suspended in wastewater (Fig. 2a), The centrifuge impacts both inorganic and organic matter to be broken up. On the other hand, MW radiation could be caused by more mobile, less ordered, and expanded water clusters, resulting in transformed suspended solids to a soluble structure. The micrograph of Fig 2c and e obviously supports this information compared to counterpart control samples (Fig. 2 b and d).

Depending on the type and properties, turbidity measurement is a beneficial method for ensuring the quality of the wastewater. Figures 1 and 2 show that the centrifuge treatments clearly affect appearance, particularly intensity. Besides visual analysis, it was suggested to measure the cloudiness-haziness (Turbidity) of wastewater using a turbidity method (Stephenson and Duff, 1996; Choy et al., 2016; Özkan and Sahin, 2023; Ozkan et al., 2023).

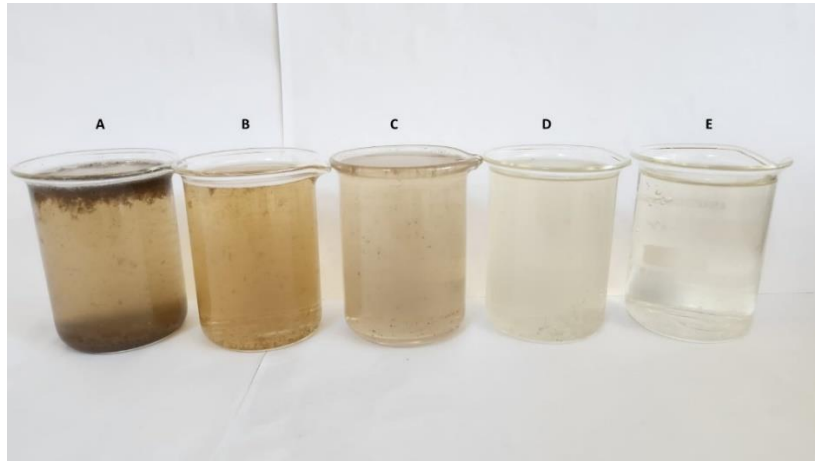


Figure 1. The general appearance of wastewater samples (A: Control, B: 1.0 min centrifuged control, C: 1.0 min MW+centrifuged, D: 15.0 min centrifuged control, E: 15 min MW+centrifuged).

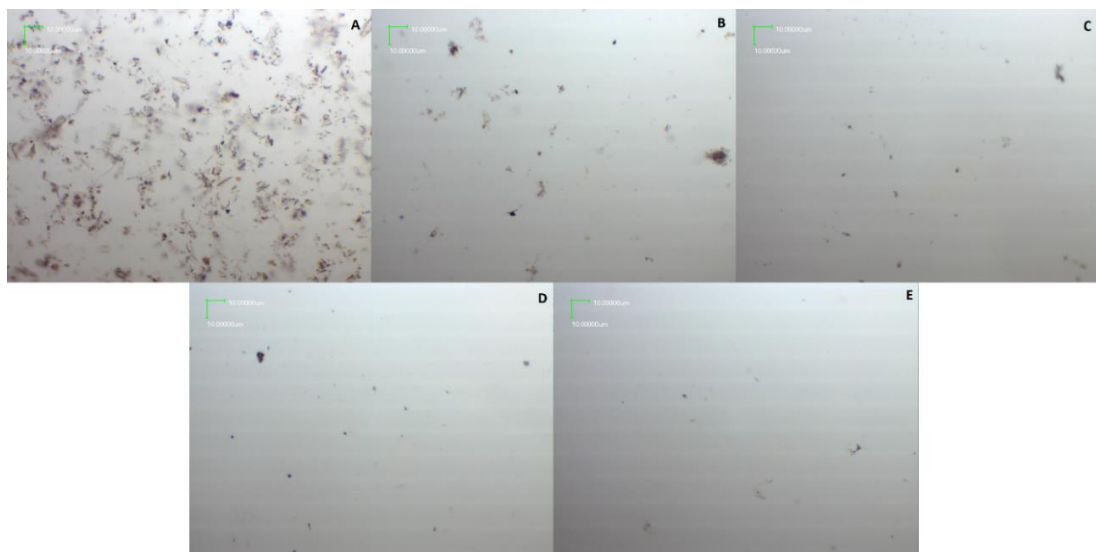


Figure 2. Micrographs of wastewater (A: Control, B: 1.0 min centrifuged control, C: 1.0 min MW+centrifuged, D: 15.0 min centrifuged control, E: 15 min MW+centrifuged).

The turbidity values of wastewater samples are shown in Table 2. The highest turbidity value of 570 NTU was found with the control sample (C0), continuously reduced with a centrifuge in both control and MW irradiated samples. The lowest turbidity values were obtained with the longest centrifuge (15.0 min), in both samples. It was found to be 28 NTU for control (A15) and 10 NTU for MW irradiated and then at centrifuged sample (B15) in 15.0 min conditions, respectively. An improvement in the solubility of substances under MW irradiation was also evident by turbidity measurements that insoluble compounds can become soluble under MW conditions. It is hypothesized that MW irradiation could accelerate the oxidation of organic compounds due to dipolar polarisation, which could affect solubility in the aquatic environment (Vialkov et al., 2021). In the light of this information, the results in this study were withdrawn.

In order to evaluate the effects of MW irradiations on turbidity changes from 1.0 to 15.0 min centrifuge conditions, the calculated turbidity reduction values were plotted comparatively (Figure 3). The highest turbidity reduction

(highest turbidity removal) of 143 NTU was found at 1.0 min centrifuge conditions (B1). It appears MW irradiations are positively correlated to turbidity removal. At the same time, it was continuously improved with centrifuge durations, but it appears to it levelling off at 13.0 min, conditions which show to ineffective for removing turbidity.

The MW irradiation appears to further reduce effects on turbidity by lowering centrifuge time significantly. However, when Table 2 and Figure 3 are carefully analyzed, the turbidity removal is closely correlated to centrifuge treatment. The greater the duration, the more significant the turbidity change. Numerous authors noted changes in wastewater quality indicators; wastewater surface tension rapidly decreased along with the temperature growth under MW irradiation conditions. Thus, it may cause the oxidation of non-fibrous minerals and organic matter (Remya and Lin, 2011; Vialkova et al., 2021). As a result, the coagulation of suspended substances in wastewater under the influence of microwave irradiation is intensified during MW treatment.

Table 2. The turbidity properties of samples.

| Time (min) | NTU (A) | NTU (B) |
|------------|---------|---------|
| C0         | 570     | 570     |
| 1          | 212     | 69      |
| 2          | 156     | 35      |
| 3          | 116     | 28      |
| 4          | 95      | 24      |
| 5          | 81      | 19      |
| 6          | 69      | 16      |
| 7          | 63      | 17      |
| 8          | 59      | 16      |
| 9          | 40      | 14      |
| 10         | 36      | 13      |
| 11         | 35      | 12      |
| 12         | 32      | 11      |
| 13         | 29      | 11      |
| 14         | 29      | 10      |
| 15         | 28      | 10      |

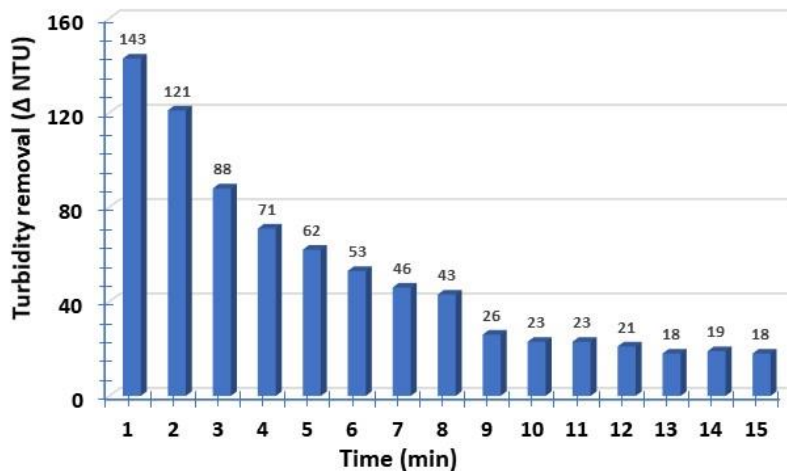


Figure 3. The turbidity removal (Δ NTU) effects of MW irradiations at different centrifuges.



For evaluating turbidity reductions (%) with MW treated and then centrifuged, the measured values were plotted comparatively and presented in Figure 4. As expected, a positive relationship exists between turbidity reductions (%) and centrifuge time. Notably, there is a moderate correlation between centrifuge time and turbidity reductions with MW irradiations ( $R^2$ : 0.61). Han et al., (2021) reported that cationic inorganic polymers like Polyaluminium Chloride (PAC) have a fast sedimentation rate and low turbidity achievement and are suitable for treating starchy wastewater (i.e., paper recycling wastewater). Stephenson and Duff (1996) observed the removal of colour and turbidity of 90% and 98%, respectively, when treating effluent rich in inorganic salts such as aluminum sulphate and calcium carbonate, which is similar to recycled paper effluent. In this study, it was observed that MW irradiation considerably impacted on turbidity reductions (%) without using any costly coagulants because of an advantage to adopt MW treatment systems for paper recycling wastewater as alternative and cost-effective treatment methods.

#### 4. Conclusions

In the paper recycling process, depending on the paper grade, significant amounts of non-fibrous components could

be presented in wastewater and may cause undesired environmental effects. For many years, the papermaking industry has been experiencing social and regulatory pressures to reduce the volume and toxicity of its industrial waste. Therefore, eco-friendly alternative wastewater treatment systems have been gaining importance in the industry.

There have been numerous literature reports about microwave irradiation in various affluent treatments. A household microwave utilized a household microwave oven to treat wastewater from recycled office papers. According to our findings, microwave treatment appears to further reduce particulate in solutions, which impacts water turbidity removal. However, commercialization of MW for real-time paper recycling wastewater treatment requires an understanding the mechanism of MW and MW coupled treatment methods.

Although MW is used in many sectors as a heating and process aid, there has not been much research on how to handle the wastewater produced during paper recycling. It is suggested that MW irradiation can be employed in the wastewater treatment process for paper recycling based on the approach used and the results attained.

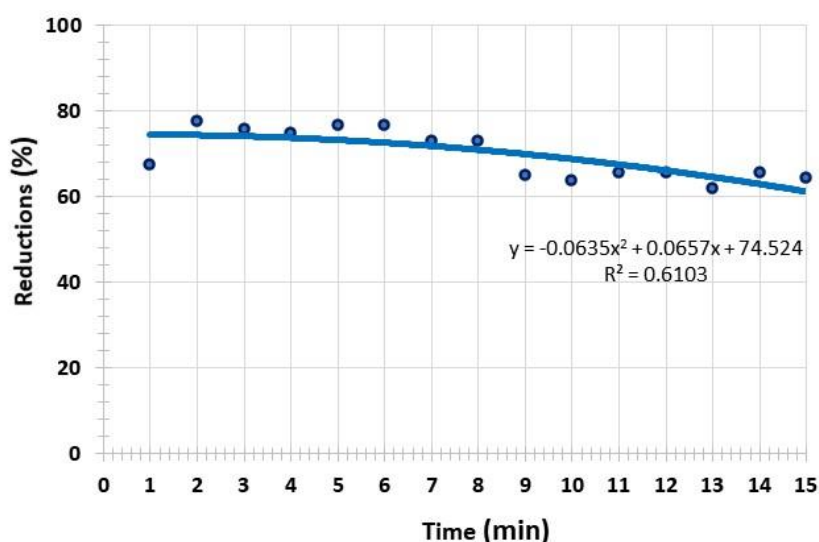


Figure 4. The turbidity reductions (%) of MW irradiated samples at different centrifuges.

#### References

- Anlauf, H., 2007. Recent developments in centrifuge technology. *Separation and Purification Technology*, 58(2), 242-246.
- Biermann, C. J., 1996. *Handbook of pulping and papermaking*. Elsevier.
- Boczkaj, G., Fernandes, A., 2017. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: A review. *Chemical engineering journal*, 320, 608-633.
- Čabalová, I., Kačík, F., Geffert, A., Kačíková, D., 2011. The effects of paper recycling and its environmental impact. *Environmental management in practice*, 17, 329-350.
- Cheng, G., Lin, J., Lu, J., Zhao, X., Cai, Z., Fu, J., 2015. Advanced Treatment of Pesticide-Containing Wastewater Using Fenton Reagent Enhanced by Microwave Electrodeless Ultraviolet. *BioMed Res. Int.* 1-8.
- Choy, S.Y., Prasad, K.N., Wu, T.Y., Raghunandan, M. E., Ramanan, R.N., 2016. Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal. *Ecological engineering*, 94: 352-364.
- Coskun, S., 2022. Zero waste management behavior: Conceptualization, scale development and validation—A case study in Turkey. *Sustainability*, 14(19), 12654.

- Han, N., Zhang, J., Hoang, M., Gray, S., Xie, Z., 2021. A review of process and wastewater reuse in the recycled paper industry. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101860.
- Hubbe, M. A., Metts, J. R., Hermosilla, D., Blanco, M. A., Yerushalmi, L., Haghghat, F., Lindholm-Lehto, P., Khodaparast, Z., Kamali, M., Elliot, A., (2016). Wastewater treatment and reclamation: a review of pulp and paper industry practices and opportunities. *BioResources*, 11(3), 7953-8091.
- Jung, S.C., 2011. The microwave-assisted photo-catalytic degradation of organic dyes. *Water Sci. Technol.* 63, 1491–1498.
- Kamali, M., Khodaparast, Z., 2015. Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. *Ecotoxicology and environmental safety*, 114:326-342.
- Lin, L., Chen, J., Xu, Z., Yuan, S., Cao, M., Liu, H., Lu, X., 2009. Removal of ammonia nitrogen in wastewater by microwave radiation: A pilot-scale study. *J. Hazard. Mater.* 168, 862–867.
- Ozkan, U., Bayram, O., Göde, F., Coskun, S., Sahin, H. T., 2023. Application of Response Surface Methodology (RSM) for Optimizing Turbidity of Paper Recycling Wastewater Using Microwave Technology. *Asian Journal of Applied Chemistry Research*, 13(1), 13-22.
- Özkan, U., Şahin, H.T., 2023. Treatment of paper recycling wastewater using microwave technology. *Turkish Journal of Forestry*, 24(2): 134-138.
- Pokhrel, D., Viraraghavan, T., 2004. Treatment of pulp and paper mill wastewater—a review. *Science of the total environment*, 333(1-3), 37-58.
- Račys, V., Kliučininkas, L., Jankūnaitė, D., Albrektienė, R., 2010. Application of orp for the evaluation of water contamination. *Linnaeus Eco-Tech*, 1082-1089.
- Remya, N., Lin, J.-G., 2011. Current status of microwave application in wastewater treatment—A review. *Chemical Engineering Journal*, 166(3), 797-813.
- Sahin, H., 2013. A study on paper recycling effects on cellulose properties. *Turkish Journal of Forestry*, 14(1), 74-80.
- Stephenson, R. J., Duff, S. J., 1996. Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent—I. Removal of carbon, colour and turbidity. *Water research*, 30(4), 781-792.
- Toczyłowska-Mamińska, R., 2017. Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 764-772.
- Vialkova, E., Obukhova, M., Belova, L., 2021. Microwave irradiation in technologies of wastewater and wastewater sludge treatment: A review. *Water*, 13(13), 1784.
- Wang, N., Sun, X., Zhao, Q., Wang, P., 2021. Treatment of polymer-flooding wastewater by a modified coal fly ash-catalysed Fenton-like process with microwave pre-enhancement: System parameters, kinetics, and proposed mechanism. *Chem. Eng. J.* 2021, 406, 126734.
- Wang, N., Wang, P., 2016. Study and application status of microwave in organic wastewater treatment—a review. *Chemical Engineering Journal*, 283, 193-214.
- Wei, R., Wang, P., Zhang, G., Wang, N., Zheng, T., 2020. Microwave-responsive catalysts for wastewater treatment: A review. *Chemical Engineering Journal*, 382, 122781.



## *Spartium junceum* L. (Katırtırnağı)'un küresel iklim değişimi etkisi altındaki potansiyel yayılış alanlarının modellenmesi

### Modeling of potential distribution areas of *Spartium junceum* L. (Spanish broom) under the impact of global climate change

Almira UZUN<sup>1\*</sup> , Ömer K. ÖRÜCÜ<sup>2</sup> 

\*Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye.

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Isparta, Türkiye.

Sorumlu yazar:  
Almira UZUN

E-mail:  
almirauzun0@gmail.com

Gönderim Tarihi:  
29/10/2023

Kabul Tarihi:  
11/12/2023

Atf:  
Uzun, A., Örcü, Ö. K. 2023. *Spartium junceum* L. (Katırtırnağı)'un küresel iklim değişimi etkisi altındaki potansiyel yayılış alanlarının modellenmesi. Ağaç ve Orman, 4(2), 73-81. DOI: 10.59751/agacorman.1383004

#### Özet

İklimin canlılar üzerindeki yaşamsal etkileri ve bu etkilerin sebepleri yaşamın varlığı boyunca bilinmekte ve araştırılmaya devam etmektedir. İklim değişikliğinin bitkiler üzerinde de birçok farklı etkisi bulunmakta ve çoğu zaman da bu etkiler olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bu çalışmada, parlak sarı çiçekleri ile dikkat çeken ve özellikle toprak tutma kabiliyeti olan *Spartium junceum* L. (Katırtırnağı)'un günümüz yayılış alanı ve gelecekte iklim değişikliği etkisi altında potansiyel yayılış alanları MaxEnt algoritması ile modellenmiştir. Modelde, örnek noktalar ve biyoklimatik değişkenlerle birlikte IPSL CM6A-LR iklim değişikliği modelindeki SSP2 4.5 ve SSP5 8.5 senaryolarının 2041-2060 (~2050) ve 2081-2100 (~2090) periyotları kullanılmıştır. Çalışmada oluşturulan model sonuçlarına göre Katırtırnağı'nın günümüzdeki tahmini potansiyel uygun ve çok uygun yayılış alanlarının 52270 km<sup>2</sup> olduğu tahmin edilmiştir. IPSL CM6A-LR iklim değişikliği modeline göre ise gelecekte yayılış alanlarında büyük oranda azalmalar yaşanacağı ve SSP5 8.5 senaryosu 2081-2100 periyotlarında çok uygun yayılış alanlarının sadece 17 km<sup>2</sup> olarak kalacağı, yani birçok açıdan ekonomik ve ekolojik değere sahip bu türün neslinin ülkemiz koşullarında tehlikeye gireceği görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Katırtırnağı, *Spartium junceum* L., MaxEnt, tür dağılım modeli, iklim değişimi.

#### Abstract

The vital effects of climate on living things and the reasons for these effects have been known throughout the existence of life and continue to be researched. Climate change has many different effects on plants, and often these effects have negative consequences. In this study, the current distribution area of *Spartium junceum* L. (Spanish broom), which draws attention with its bright yellow flowers and has especially soil retention ability, and its potential distribution areas under the influence of climate change in the future were modeled with the MaxEnt algorithm. The 2041-2060 (~2050) and 2081-2100 (~2090) periods of the SSP2 4.5 and SSP5 8.5 scenarios in the IPSL CM6A-LR climate change model were used in the model, along with sample points and bioclimatic variables. According to the model results created in the study, the predicted potential suitable and very suitable distribution areas of Spanish broom today are predicted to be 52270 km<sup>2</sup>. According to the IPSL CM6A-LR climate change model, it is seen that there will be serious decreases in its distribution areas in the future and that the very suitable distribution areas will remain only 17 km<sup>2</sup> in the SSP5 8.5 scenario 2081-2100 periods, meaning that this species, which has economic and ecological value in many respects, will be endangered in our country's conditions.

**Keywords:** Spanish broom, *Spartium junceum* L., MaxEnt, species distribution model, climate change.

## 1. Giriş

Son yıllarda popülerlik kazanan ve çalışmalara sıklıkla konu olan iklim değişikliği insanlığı ve tüm canlı alemini, doğal biyolojik çeşitlilikte değişimler, organizmaların kendi arasındaki ve buldukları çevreleriyle olan etkileşimlerindeki değişim, ekolojik besin halkalarında kopukluklar gibi sonucu belli olmayan ekolojik felaketlerle karşı karşıya getirmektedir (Demir, 2009). İklim değişikliği altında korumayı planlamak ve ekonomik açıdan önemli bitki popülasyonlarının üretkenliğini yönetmek amacıyla her iki süreci de anlamak açıkça önemlidir (Des Marais vd., 2013; Parmesan ve Hanley, 2015; Uzun vd., 2023).

Gelecek yıllarda karşılaşılabilecek iklim krizi için, çalışmalarda çoğunlukla sera gazı emisyonlarının göz önünde tutulduğu senaryolar üretilmektedir. Bunların çeşitli matematiksel iklim modellerine yüklenmesiyle ortaya çıkarılan veriler, iklimde günümüzde başlayan değişim ve krizlerin gelecekte de süreceğini göstermektedir (Öztürk, 2002; Uzun ve Sarıkaya, 2021). Yayılış alanı tahmini ve haritalamalar, azalan yerli bitki toplulukları, tehdit altındaki ve nesli tükenmekte olan türlerin izlenmesi için çok önemli bir görev üstlenmektedir (Gaston, 1996; Örucü, 2019). Bu çalışmalar için birçok modelleme yaklaşımı bulunmakta ve bu yaklaşımlardan en çok MaxEnt kullanılmaktadır. MaxEnt'in kullanım sebebi, daha az veri ile bile daha iyi performans göstermesidir (Örucü, 2019; Pearson vd., 2007; Phillips ve Dudík, 2008; Süel, 2014; Tsoar vd., 2007).

Bu çalışmanın amacını, ülkemizde doğal olarak yetişen, formu ve çiçeklenme yapısı ile peyzaj değeri yüksek olan *Spartium junceum* L.'un IPSL-CM6A-LR iklim değişikliği senaryosuna göre potansiyel günümüz ve gelecek yayılış alanlarının Maksimum Entropi Algoritması ile modellenmesi oluşturmaktadır. Çalışmada; Türün olası bir iklim değişikliğine karşı yayılış alanlarında vereceği tepkiler nelerdir? Tür için yayılış alanında önemli olan iklimsel parametreler hangileridir? Türün devamlılığı için nasıl bir strateji uygulanmalıdır? Sorularına cevap aranmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Bu makale çalışmasının materyalini *Spartium junceum* L. bitkisi oluşturmaktadır (Şekil 1). Fabaceae familyasının monotipik bir üyesidir. Batı Akdeniz'e özgü olan tür ülkemizde, İspanyol Katırtırnağı, Katırtırnağı, Kuş Çubuğu, Katırkuyruğu, Boruk isimleriyle bilinmektedir (Chamberlain, 1970; Erken ve Özzambak, 2012; Turhan, 1997; Tuzlaci, 2007). Kök boğazından dallanma gösteren *S. junceum* L., en fazla 5 metreye kadar boylanabilen, dik gelişim gösteren çalı formu bir bitkidir. Kısa ömürlü ve çok az sayıda mavisimsel yeşil yapraklarının boyu 1-2.5 cm uzunluğundadır. Herdem yeşil görünümlü bitki, nisan-temmuz aylarında geniş bir çiçeklenme zamanına sahiptir (Ok, 2018). Salkım halindeki çiçekleri açık sarı, kokulu ve 2-2.5 cm uzunluğundadır. Familyaya ismini veren bakla formu meyvesi koyu renkte olup, kahverengi tonlarında tohum vermektedir (Anonim, 1987; Anşin ve Terzioğlu, 2001; Şirin, 2003). Ilıman, sıcak,

kurak yerlerin bitkisi olan *S. junceum* L., güneş gören, kurak, kalkerli yamaçlarla iyi uyum göstermektedir. Rüzgâr ve tuz faktörlerine dayanıklı olan tür, sahillerde, kumlu topraklarda kumul stabilizasyonunda kullanıma uygundur. *S. junceum* kök sistemi ile toprağı tuttuğu için erozyona karşı etkilidir, daimi yeşil toprak üstü kısımlarının bulunması ile görsellik sağlar ve baklagil olması sebebi ile de bağılı olduğu toprağı zenginleştirir (Güney, 1985; Şirin, 2003).

### 2.2. Yöntem

*S. junceum* L.'un doğal yayılış gösterdiği alanlardan seçilen 35 örnek nokta, çeşitli literatür taramaları ve açık erişimli veri tabanı olan GBIF'ten elde edilmiştir (Akkemik, 2014; Atasoy, 2016; Ayanoğlu vd., 1999; Aydınöz, 2009; Davis, 1970; GBIF.Org, 2019; Ozkan vd., 2009; Özyavuz, 2011; Yaltırık, 1995; Yaltırık, 1984). Temsili noktalar, açık kaynak kodlu CBS yazılımı olan QGIS Firenza 3.10.4 ortamında WGS84 koordinat sisteminde işaretlenmiş ve çalışma alanı ile noktalara ait lokasyon haritası Şekil 2'de vermiştir (QGIS, 2019).

*S. junceum*'un günümüz ve gelecekteki tahmini yayılış alanlarını belirlemek için ekoloji araştırmacıları tarafından küçük örneklem büyüklükleri ile daha iyi performans göstermesinden dolayı en sık tercih edilen MaxEnt algoritması kullanılmıştır (Pearson vd., 2007; Phillips ve Dudík, 2008; Tsoar vd., 2007). Günümüz potansiyel yayılış alanlarının modeli için, WorldClim versiyon 2.1'deki gözlemlenen iklim verilerinden oluşturulan 19 biyoiklim (biyoklimatik) verisi kullanılmıştır (Çizelge 1) (Fick ve Hijmans, 2017; Hijmans vd., 2005; Uzun ve Örucü, 2020; WorldClim, 2020). Bu çalışmada *S. junceum*'un geleceğe ait yayılış alanlarını tahmin etmek için Avrupa ölçeğinde ülkemiz için tahminleri daha iyi olan IPSL CM6A-LR iklim modeli tercih edilmiştir. IPSL iklim modelinin en son sürümü olan IPSL-CM6A-LR iklim modelinin ait detaylı bilgiler ES-DOC'ta (Dünya Sistemi Modeli) bulunmaktadır (Pascoe vd., 2020). Çalışmanın gelecek yılların modeli için iklim değişimi senaryosu olarak Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin Altıncı Değerlendirme Raporu'ndaki (IPCC6) CMIP6 için geliştirilen senaryolardan SSP2 4.5 ile SSP5 8.5 senaryoları ve bunlara ait 2041-2060 ile 2081-2100 periyotları kullanılmıştır (IPCC, 2014). Önceleri Temsilci Konsantrasyon Yolu (RCP) olarak isimlendirilen bu senaryolar, en son güncellenen raporda SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 ve SSP5-8.5 olarak değiştirilmiş ve geliştirilmiştir (Hausfather, 2019). Bu çalışmada tercih edilen senaryolardan, SSP2 azaltma ve adaptasyon için orta düzeyde zorlukta yani ılıman diyebileceğimiz bir düzeyde iken SSP5 ise yakıt ve dünya kaynaklarının üst düzey kullanım durumunu temsil etmektedir (Riahi vd., 2017).

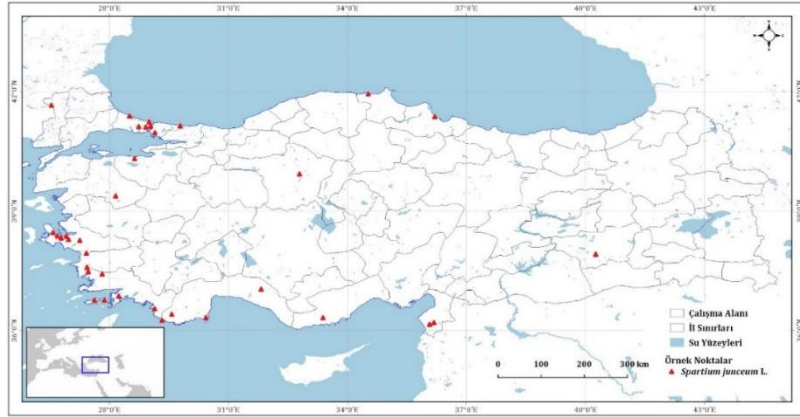
Modelin performansını ölçmek amacıyla Alıcı Çalışma Karakteristiği (ROC) analizi ile oluşturulan ROC Eğrisinin Altındaki Alan (AUC) kullanılmıştır (Phillips vd., 2017; Wang vd., 2007). AUC > 0.5 değerine sahip ise modelin rastgele bir tahminden daha iyi performans gösterdiğini belirtir ve AUC değeri 1'e yaklaştıkça modelin daha hassas ve tanımlayıcılığı artmaktadır (Phillips vd., 2006; Phillips ve Elith, 2010). Daha sonrasında biyoklimatik değişkenlerin tür için önemlerinin nasıl olduğunu belirlemek amacıyla,

MaxEnt Jackknife testi yapılmıştır (Pearson vd., 2007; Shcheglovitova ve Anderson, 2013; Uzun ve Örucü, 2020). Modellerden elde edilen çıktılara QGIS programında raster/vektör dönüşümü yapılarak dağılım haritaları oluşturulmuştur. MaxEnt algoritmasında oluşturulan modellerde türün alanda bulunma ihtimali 0-1 arasında olmakla birlikte 1'e yaklaştıkça ilgili türün alanda bulunma olasılığı artmaktadır. Model sonucu oluşturulan haritalarda

potansiyel yayılış alanları için uygunluk değerleri "0" uygun değil, "0-0.25" çok az uygun, "0.25-0.50" az uygun, "0.50-0.75" uygun ve "0.75-1" çok uygun alanlar olarak sınıflandırılmış, sınıflandırma neticesinde tahmini yayılış alanları km<sup>2</sup> olarak hesaplanmış ve tablo halinde sayısal olarak, harita halinde de görsel olarak sunulmuştur (Arslan vd., 2020; Çoban vd., 2020; Uzun vd., 2020).



Şekil 1. *Spartium junceum* L.'un habitusu, meyvesi ve çiçeği (Doğan, 2023).  
Figure 1. Habitats, fruit and flower of *Spartium junceum* L. (Doğan, 2023).



Şekil 2. *Spartium junceum* L.'a ait örnek noktalar.  
Figure 2. Sample points of *Spartium junceum* L.

Çizelge 1. Biyoklimatik veriler (WorldClim, 2020).  
Table 1. Bioclimatic variables (WorldClim, 2020).

|        |  |        |                                      |
|--------|--|--------|--------------------------------------|
| Bio 1  | Yıllık ortalama sıcaklık   | Bio 11 | En soğuk mevsimin ortalama sıcaklığı |
| Bio 2  | Günlük ortalama değişim aralığı (ortalama aylık sıcaklık (en yüksek–en düşük)) | Bio 12 | Yıllık yağış miktarı                 |
| Bio 3  | İzotermallik   | Bio 13 | En nemli ayın yağış miktarı          |
| Bio 4  | Mevsimsel sıcaklık   | Bio 14 | En kurak ayın yağış miktarı          |
| Bio 5  | En sıcak ayın en yüksek sıcaklığı  | Bio 15 | Mevsimsel yağış miktarı              |
| Bio 6  | En soğuk ayın en az sıcaklığı  | Bio 16 | En nemli mevsimin yağış miktarı      |
| Bio 7  | Yıllık sıcaklık değişim aralığı  | Bio 17 | En kurak mevsimin yağış miktarı      |
| Bio 8  | En nemli mevsimin ortalama sıcaklığı   | Bio 18 | En sıcak mevsimin yağış miktarı      |
| Bio 9  | En kurak mevsimin ortalama sıcaklığı   | Bio 19 | En soğuk mevsimin yağış miktarı      |
| Bio 10 | En sıcak mevsimin ortalama sıcaklığı   |        |                                      |

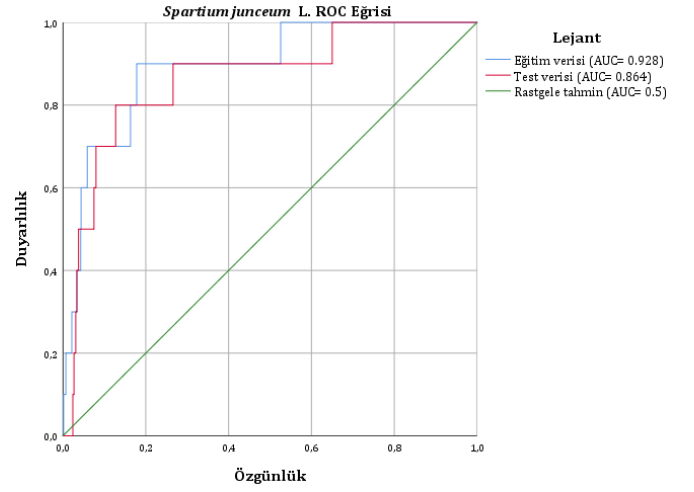
### 3. Bulgular

Tür modelinde 35 var verisinin 25'i eğitim, 10'u da test verisi olarak seçilerek MaxEnt prosedüründe Linear Features ve Quadratic özellikleri işaretli olarak çalıştırılmıştır. Çalıştırılan modelin çıktılarında eğitim verisinin AUC değeri 0.928 (çok iyi) ve test verisinin AUC değerinin de 0.864 olduğu (iyi) görülmüştür (Şekil 3).

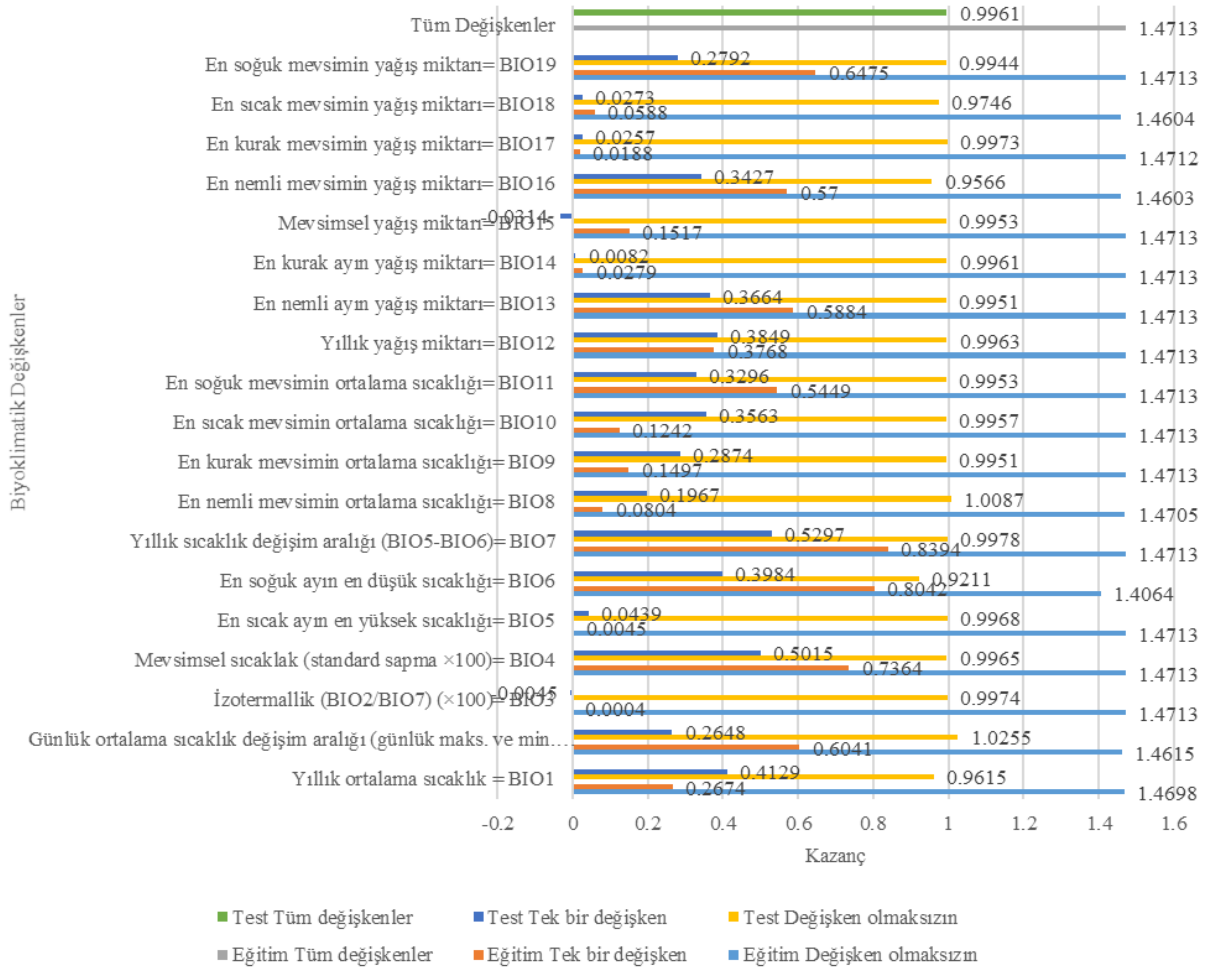
Jackknife testinden elde edilen sonuçlarda en yüksek kazancın görüldüğü çevresel değişken "Yıllık sıcaklık değişim aralığı (BIO7)" olmuştur. BIO7'nin tek başına model için en faydalı bilgilere sahip olduğu söylenebilir. Eğitim ve test verisinde ayrı olarak çıkarıldığında (atlandığında) en fazla kazancı azaltan çevresel değişken hem eğitim verisi hem test verisi için ayrı olarak "En soğuk ayın en düşük sıcaklığı (BIO6)"dır. Bu sebeple diğer biyoiklim değişkenlerinde olmayan en fazla bilgiye sahiptir (Şekil 4).

*S. junceum* L.'un potansiyel günümüz ve gelecek yayılış alanlarını gösterir haritalar Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de, uygunluk sınıflarına göre alansal dağılımları ise Çizelge 2'de verilmiştir. Model sonucu oluşturulan tahmini güncel yayılış alanı incelendiğinde çıktı haritasındaki uygunluğun *S. junceum* L.'u temsil eden noktalar ile büyük oranda uyum sağladığı görülmektedir. Günümüz yayılış alanı modelinden

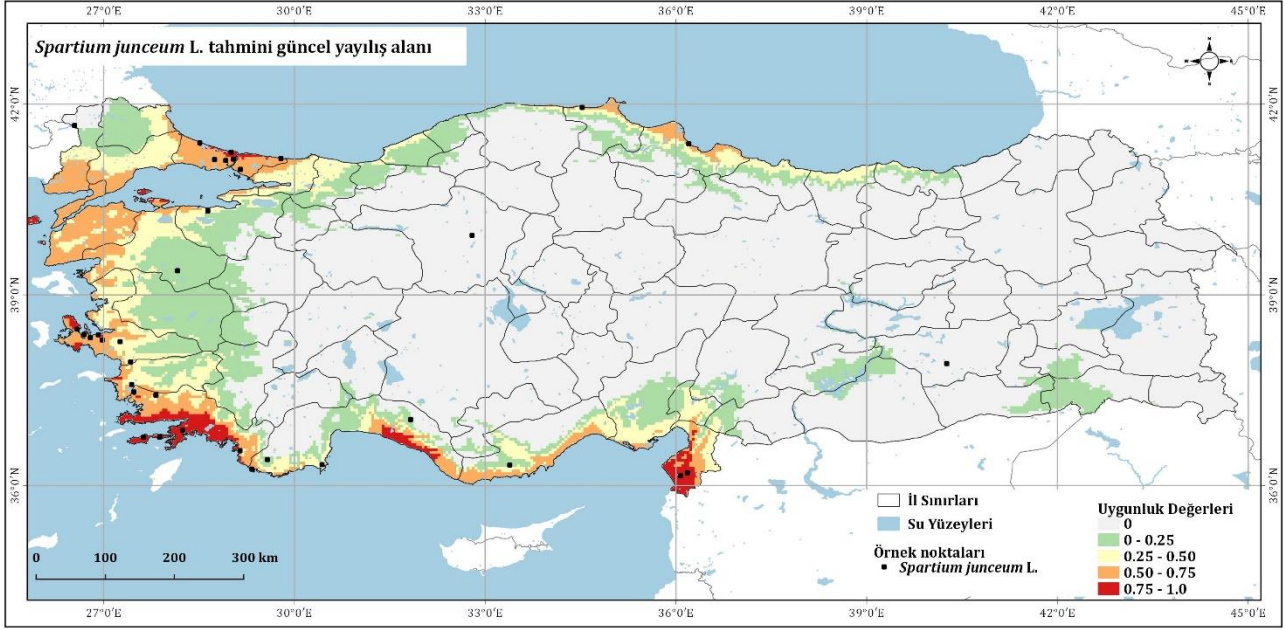
elde edilen alansal değerlere baktığımızda çok uygun alanların (0.75-1) 10180 km<sup>2</sup>, uygun (0.5-0.75) alanların ise 42090 km<sup>2</sup> olduğu görülmektedir.



Şekil 3. *Spartium junceum* L.'a ait ROC grafiği.  
Figure 3. ROC graph of *Spartium junceum* L.



Şekil 4. *Spartium junceum* L.'a ait JackKnife testi sonuçları.  
Figure 4. JackKnife test results of *Spartium junceum* L.



Şekil 5. MaxEnt modeli sonuçlarına göre *Spartium junceum* L.'a ait potansiyel günümüz yayılış alanı.  
Figure 5. According to the MaxEnt model results, the potential current distribution areas of *Spartium junceum* L.

Çizelge 2. Günümüz, SSP2 4.5 ve SSP5 8.5 iklim senaryolarına göre ~2050 ve ~2090 periyotları potansiyel coğrafi yayılış alanlarının sayısal dağılımı (km<sup>2</sup>).

Table 2. Numerical dispersion of potential geographical distribution areas for current, ~2050 and ~2090 periods according to SSP2 4.5 and SSP5 8.5 climate scenarios (km<sup>2</sup>).

| <i>Spartium junceum</i> L. | SSP2           |         |           | SSP5      |           |           |
|----------------------------|----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                            | Uyg. Değerleri | Günümüz | 2041-2060 | 2081-2100 | 2041-2060 | 2081-2100 |
| Uygun Değil                |                | 565620  | 519030    | 500781    | 503158    | 514679    |
| Çok Az Uygun               |                | 105745  | 152030    | 182132    | 176014    | 196962    |
| Az Uygun                   |                | 56820   | 66968     | 67489     | 65380     | 61168     |
| Uygun                      |                | 42090   | 37629     | 28761     | 33411     | 7628      |
| Çok Uygun                  |                | 10180   | 4799      | 1292      | 2492      | 17        |

SSP2 4.5 senaryosu 2041-2060 (~2050) yılı periyoduna baktığımızda *S. junceum* L.'un ülkemizde doğal yayılış gösterdiği Ege ve Akdeniz bölgesinde varlığında azalmalar yaşanacağı, uygun ve çok uygun olarak sınıflandırılan potansiyel coğrafi yayılış alanlarının 42428 km<sup>2</sup> ile günümüz yayılış alanlarına kıyasla %80 gibi bir kayıpla karşı karşıya olacağı tahmin edilmektedir. SSP2 4.5 senaryosu 2081-2100 (~2090) yılı periyodunda ise *S. junceum* L.'un potansiyel coğrafi yayılış alanında uygun ve çok uygun olarak sınıflandırılan alanların 30053 km<sup>2</sup> ye kadar gerileceği görülmektedir.

SSP senaryoları içinde kaynakların üst düzey kullanımları sebebi ile en katı senaryo olarak nitelendirilen SSP5 8.5 senaryosu 2041-2060 (~2050) yılı periyodunda *S. junceum* L. için uygun ve çok uygun olarak sınıflandırılan coğrafi potansiyel yayılış alanlarının 35903 km<sup>2</sup> ile günümüzdeki tahmini yayılış alanının neredeyse %70'ine düşeceği görülmektedir. SSP5 8.5 senaryosu 2081-2100 (~2090) periyodunda ise yayılış için uygun alanların 7628 km<sup>2</sup>'ye

kadar gerileceği ve çok uygun potansiyel coğrafi yayılış alanlarının ise türün devamlılığını tehlikeye atacak bir seviyeye 17 km<sup>2</sup>'ye düşeceği tahmin edilmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Arslan (2019) benzer bir çalışma olarak, yine kent içi ağaçlandırmalarda kullanılan ve *S. junceum* gibi Fabaceae familyasına ait bir tür olan *Robinia pseudoacacia* L.'nin yayılış alanı modellerini çalışmıştır. MaxEnt kullandığı çalışmada, Türkiye'de *R. pseudoacacia* L.'nin yayılış alanlarının 50 yıl içerisinde giderek azalacağı sonucuna varmıştır. Örucü vd., (2023)'te *Ostrya carpinifolia* Scop.'nın mevcut ve gelecek yıllara ait yayılış alanlarını, çalışmamızla aynı senaryo ve yıl periyotlarında Avrupa ölçeğinde çalışmışlar, çalışma neticesinde türde azalmalarla birlikte Akdeniz bölgesinin doğal ekosistemlerinin kuzey bölgelerine kayacağını vurgulamışlardır. Tuttu vd., (2022)'deki çalışmalarında, yine IPSL CM6A-LR iklim modeli SSP2 4.5 ve SSP5 8.5 senaryolarının ~2050 ve ~2090 periyotlarını

kullanmışlardır. *Crataegus × bornmuelleri* Zabel ex K.I.Chr. & Ziel.'nin, çalışma alanı olan Türkiye'deki yayılışının gelecek yıllarda değişen iklim koşullarından fazla etkilenmeyerek yayılışını hafif kuzeye yönleneceğini söylemişlerdir.

Yapılan çalışma sonucunda, ülkemizde doğal olarak yetişmekte ve gerek yetişme şartları gerekse çiçeklenme yapısıyla çok yüksek süs bitkisi olma potansiyeli bulunan *S. junceum* L.'un yayılış alanlarının gelecek projeksiyonlarda azalacağı ve ~2090 yılında türün yetişmesi için çok uygun alanların 17 km<sup>2</sup>'ye kadar gerileyeceği tahmin edilmektedir. SSP5 8.5 senaryosundan yola çıkarak türün neslinin tehlike altına gireceğini söylemek mümkündür. *S. junceum* L.'a ülkemizde makilik, çayırılık ve bitki değişim bölgelerinde sıklıkla rastlanmaktadır. Ayrıca *S. junceum*, iklim değişikliğinin en büyük etkilerinden biri olan yangına karşı da oldukça dayanıksız bir türdür. DiTomaso, (1998)'deki çalışmasında *S. junceum*'un ciddi bir yangın tehlikesi yaratabilecek önemli miktarda kuru madde ve ölü odun

bulundurduğunu söylemiştir (Zouhar, 2005). Aynı zamanda, Avrupa Çevre Ajansı'nın hazırlamış olduğu Avrupa Doğa Bilgi Sistemi'nde *S. junceum* L.'un, IUCN'in Avrupa Komisyonu için hazırladığı Avrupa Kırmızı Listeleri'nde değerlendirmeye alınan türler arasında yer aldığı belirtilmektedir (EEA, 2023). *S. junceum*, peyzaj elemanı olarak, tampon bitkilendirmelerde, bordür ve sınırlama bitkisi, toprak stabilizasyonu ve erozyon kontrol sahalarında tercih edilmektedir. Türün ülkemizdeki devamlılığının sağlanması ve olası bir nesil tükenme durumu yaşamaması için bu ve benzeri yetiştirme ve dikim çalışmalarının sıklaştırılması ve gerekirse koruma altına alınması gerekmektedir. Yapılan benzer çalışmalarda da görüldüğü üzere, her türün yaşamsal faaliyetini gerçekleştirmesi için kendine özgü istek ve gereksinimleri olduğu ve buna göre yaşam alanını şekillendirdiği görülmektedir. Kimi türler iklim değişikimine uyum sağlayamayıp yaşam alanında daralmalar veya nesli tükenme durumuna geçerken, kimi türler ise yaşam faaliyetlerini kuzey ve üst rakımlara gitme eğilimi ile devam ettirmektedir.

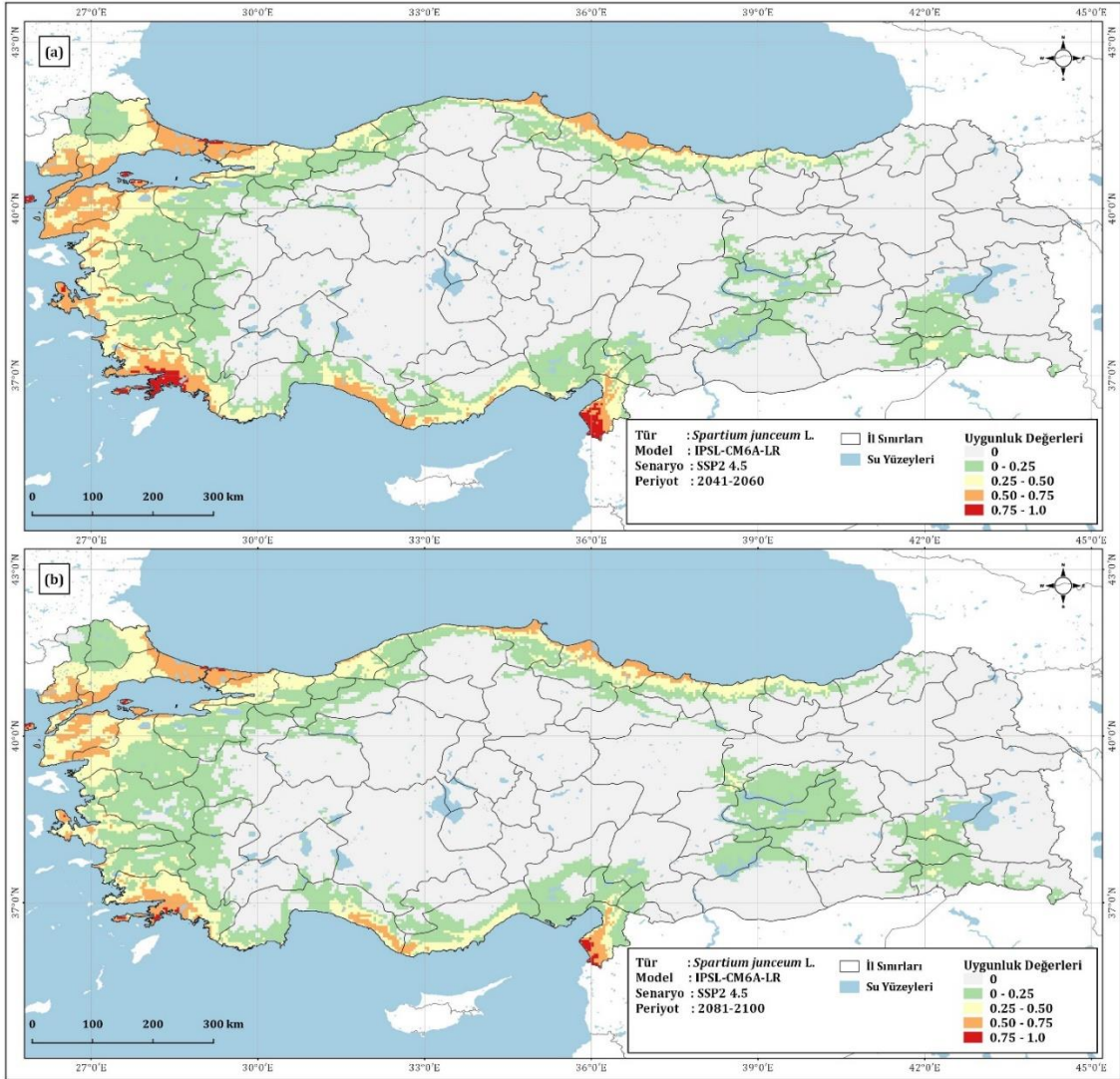
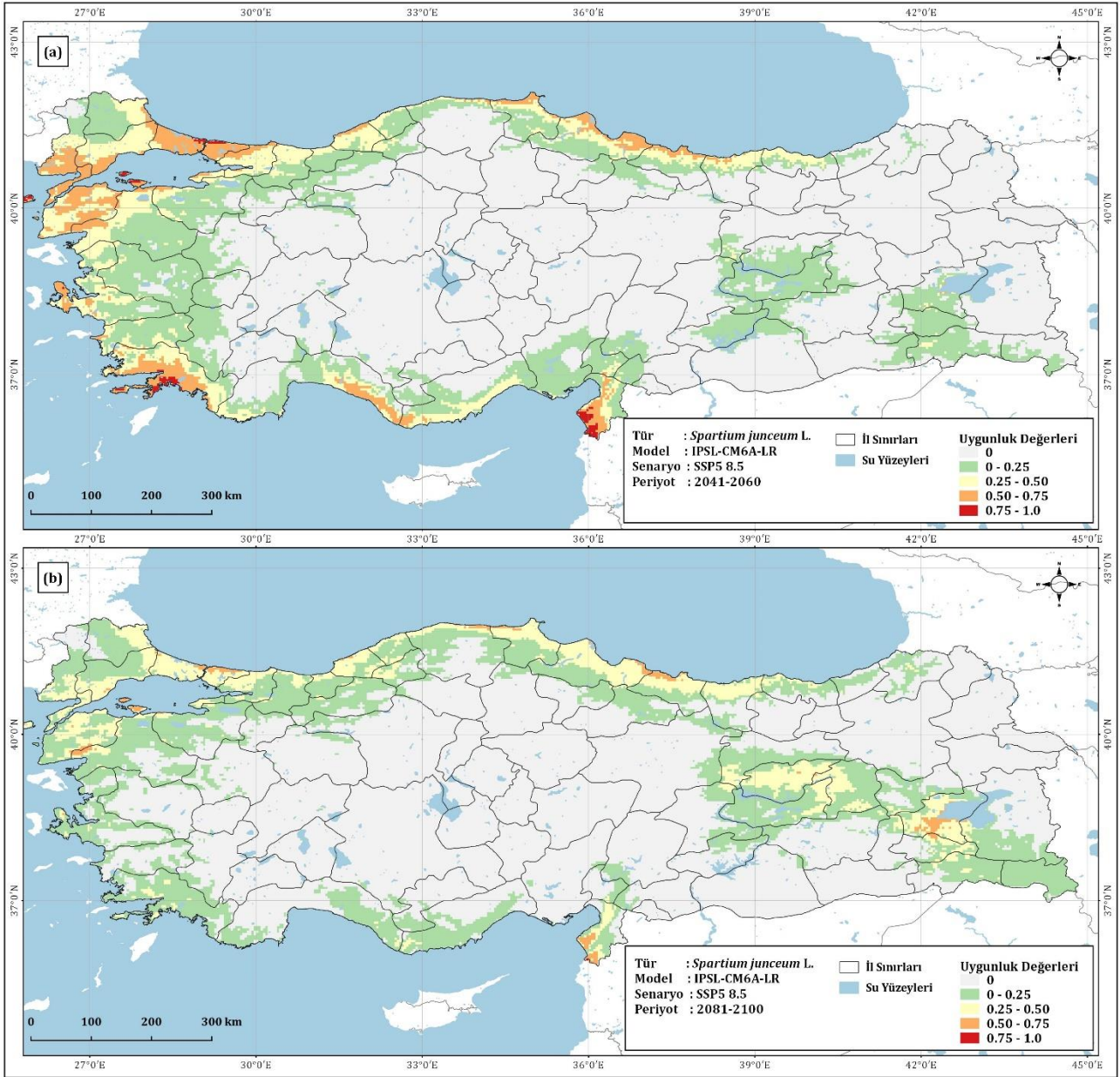


Figure 6. Potential distribution area map for SSP2 4.5 scenario 2041-2061 (a), 2081-2100 (b) periods.





Şekil 7. SSP5 8.5 senaryosu 2041-2061 (a), 2081-2100 (b) periyotları potansiyel yayılış alanı haritası.  
Figure 7. Potential distribution area map for SSP5 8.5 scenario 2041-2061 (a), 2081-2100 (b) periods.

### Teşekkür

Bu çalışma Doç. Dr. Ömer K. ÖRÜCÜ danışmanlığında, Almira UZUN tarafından Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı'nda hazırlanan "İklim Değişimi Senaryolarına Göre Peyzaj Tasarımında Kullanılan Fabaceae Familyasına Ait Bazı Odunsu Türlerin Günümüz ve Gelecekteki Yayılış Alanlarının Tahmini" adlı Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir. Yazar Almira UZUN, YÖK 100/2000 projesi kapsamında "Sürdürülebilir Ormancılık ve Orman Afetleri" bilim dalında doktora öğrencisidir.

### Kaynaklar

- Akkemik, Ü. (2014). Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları. *Orman Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara.
- Anonim. (1987). Ülkemizde bazı önemli orman tali ürünlerinin teşhis ve tanımlar klavuzu. İçinde *Orman Genel Müdürlüğü Seri No: Orman Genel Müdürlüğü*. <http://10.6.60.10/pdfmare?image=a9a4248968af5ce3721f2fc1d5c6947f>
- Anşin, R., ve Terzioğlu, S. (2001). *Diri Örtü* (Ders Notları). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın.
- Arslan, E. S. (2019). İklim Değişimi Senaryoları ve Tür Dağılım Modeline Göre Kentsel Yol Ağaçlarının Ekosistem Hizmetleri Bağlamında Değerlendirilmesi: *Robinia pseudoacacia* L. Örneği. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20(2), 142-148.

- Arslan, E. S., Akyol, A., Örucü, Ö. K., ve Sarıkaya, A. G. (2020). Distribution of rose hip (*Rosa canina* L.) under current and future climate conditions. *Regional Environmental Change*, 20(3), 1-13.
- Atasoy, A. (2016). Hassa İlçesi'nin (Hatay) Vegetasyon Coğrafyası. *Electronic Turkish Studies*, 11(8).
- Ayanoglu, F., Mert, A., ve Kaya, D. A. (1999). Hatay Yöresinde Halk Arasında Kullanılan Bazı Önemli Tıbbi ve Kokulu Bitkilerin Tespiti ve Toplanması. *DERGİSİ*, 101.
- Aydınöz, D. (2009). Barındırdığı Bitki Varlığı Açısından Trakya'nın Karasallık Derecesi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 17(1), 203-212.
- Chamberlain, D. F. (1970). *Spartium* L. In: Davis PH (ed). Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol.3. İçinde *Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol.3* (ss. 32-33).
- Çoban, H. O., Örucü, Ö. K., ve Arslan, E. S. (2020). MaxEnt Modeling for Predicting the Current and Future Potential Geographical Distribution of *Quercus libani* Olivier. *Sustainability*, 12(7), 2671.
- Davis, P. H. (1970). Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 3. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 3*.
- Demir, A. (2009). Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 37-54.
- Des Marais, D. L., Hernandez, K. M., ve Juenger, T. E. (2013). Genotype-by-environment interaction and plasticity: Exploring genomic responses of plants to the abiotic environment. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 44(1), 5-29.
- DiTomaso, J. M. (1998). *The biology and ecology of brooms and gorse*. California Weed Science Society. Conference (USA).
- Doğan, H. C. (2023). *Kocaeli Bitkileri | Spartium junceum* (Katırtırnağı). <https://kocaelibitkileri.com/spartium-junceum/>
- EEA, E. (2023). *Spartium junceum*—L. the European Nature Information System. [https://eunis.eea.europa.eu/species/Spartium %20junceum#threat\\_status](https://eunis.eea.europa.eu/species/Spartium%20junceum#threat_status)
- Erken, K., ve Özzambak, E. (2012). *Spartium junceum* L.'de tohum Çimlenmesi ve Süs Bitkisi Özelliklerinin Belirlenmesi. *Bahçe*, 41(1), 9-23.
- Fick, S. E., ve Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315.
- Gaston, K. J. (1996). Species richness: Measure and measurement. *Biodiversity: A Biology of Numbers and Difference*, 77-113.
- GBIF.Org. (2019). *Occurrence Download*. The Global Biodiversity Information Facility. <https://doi.org/10.15468/DL.7RSUB5>
- Güney, A. (1985). Karayolları Şev Stabilizasyonunda Peyzaj Onarım Çalışmaları ve Ege Bölgesinde Bu Amaca Uygun Bitkilerin Saptanması Üzerine Araştırmalar (Doktora Tezi). *EÜ Fen Bil. Enst. Peyzaj Mimarlığı ABD, İzmir*, 177 s.
- Hausfather, Z. (2019). *CMIP6: The Next Generation of Climate Models Explained*. Climate Modelling.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., ve Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978.
- IPCC, C. C. (2014). *Synthesis Report (eds Core Writing Team, Pachauri, RK & Meyer LA)*.
- Ok, T. (2018). *Spartium* L. (Katırtırnaqları) (Ed. Ü. Akkemik). İçinde *Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıkları* (s. 332). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü.
- Ozkan, K., Senol, H., Gulsoy, S., Mert, A., Suel, H., ve Eser, Y. (2009). Vegetation-Environment Relationships In Mediterranean Mountain Forests On Limeless Bedrocks Of Southern Anatolia, Turkey. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(3), 154-163.
- Örucü, Ö. K. (2019). *Phoenix theophrasti* Gr.'nin İklim Değişimine Bağlı Günümüz ve Gelecekteki Yayılış Alanlarının Maxent Modeli İle Tahmini ve Bitkisel Tasarımda Kullanımı. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 20(3), 274-283.
- Örucü, Ö. K., Azadi, H., Arslan, E., Kamer Aksoy, Ö., Choobchian, S., Nooghabi, S., ve Stefanie, H. (2023). Predicting the distribution of European Hop Hornbeam: Application of MaxEnt algorithm and climatic suitability models. *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01543-2>
- Öztürk, K. (2002). Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Özyavuz, M. (2011). Bitki örtüsünün ekolojik şartlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri ile analizi, Ganos (Işıklar) Dağı, Tekirdağ. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2), 37-47.
- Parmesan, C., ve Hanley, M. E. (2015). Plants and climate change: Complexities and surprises. *Annals of Botany*, 116(6), 849-864. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv169>
- Pascoe, C., Lawrence, B. N., Guilyardi, E., Juckes, M., ve Taylor, K. E. (2020). Documenting numerical experiments in support of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). *Geoscientific Model Development*, 13(5), 2149-2167. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-2149-2020>
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., ve Townsend Peterson, A. (2007). Predicting Species Distributions From Small Numbers Of Occurrence Records: A Test Case Using Cryptic Geckos İn Madagascar. *Journal of biogeography*, 34(1), 102-117.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., ve Blair, M. E. (2017). Opening the Black Box: An Open-Source Release of MaxEnt. *Ecography*, 40(7), 887-893.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., ve Schapire, R. E. (2006). Maximum Entropy Modeling Of Species Geographic Distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259.
- Phillips, S. J., ve Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.
- Phillips, S. J., ve Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Phillips, S. J., ve Elith, J. (2010). POC Plots: Calibrating Species Distribution Models With Presence-Only Data. *Ecology*, 91(8), 2476-2484.
- QGIS. (2019). *QGIS 3.10.4 Coruna—A Free and Open GIS*. <https://www.qgis.org/en/site/forusers/visualchangelog322/index.html>
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared

Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

Sheglovitova, M., ve Anderson, R. P. (2013). Estimating Optimal Complexity for Ecological Niche Models: A Jackknife Approach for Species With Small Sample Sizes. *Ecological Modelling*, 269, 9-17.

Süel, H. (2014). Isparta-Sütçüler yöresinde av türlerinin habitat uygunluk modellemesi. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.

Şirin, U. (2003). *Peyzaj planlama çalışmalarında kullanılacak bazı çalı ve ağaçlık formundaki bitkilerin farklı üretim teknikleri ile çoğaltılabilirliklerinin ve fidan performanslarının belirlenmesi* [Thesis, Adnan Menderes Üniversitesi]. <http://adudspace.adu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11607/173>

Tsoar, A., Allouche, O., Steinitz, O., Rotem, D., ve Kadmon, R. (2007). A Comparative Evaluation Of Presence-Only Methods For Modelling Species Distribution. *Diversity and distributions*, 13(4), 397-405.

Turhan, B. (1997). Türkçe Bitki Adları Sözlüğü. *Ankara, TDK Yay.*

Tuttu, G., Aytaş, İ., ve Bulut, S. (2022). *Crataegus*× *bornmuelleri* Zabel ex KI Chr. & Ziel. Türünün iklim değişikliğine bağlı olarak yayılış alanlarının tahmini. *EURACLI'22*, 53.

Tuzlaci, E. (2007). *Dekoratif Türkiye Bitkileri*. Alfa Basım Yayım.

Uzun, A., Aksu, B., ve Uzun, T. (2020). MaxEnt Modeli Kullanılarak *Acer campestre* L. subsp. *campestre* (Ova Akçaağacı)'nin Tahmini Olarak Günümüz ve Gelecekteki Yayılış Alanlarının Belirlenmesi. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 108-119.

Uzun, A., ve Örucü, Ö. K. (2020). *Adenocarpus complicatus* (L.) Gay türünün iklim değişkenlerine bağlı günümüz ve gelecekteki yayılış alanlarının tahmini. *Turkish Journal of Forestry*, 21(4). <https://doi.org/doi.org/2F10.18182/2Ftjf.779776>

Uzun, A., ve Sarıkaya, A. G. (2021). Effects of Climate Change on Main Forest Tree Species in Turkey. *Ecological Perspective*, 1(1), 29-36.

Uzun, A., Sarıkaya, A., ve Kavaklı, S. (2023). Modeling of present and future potential distribution areas of *Thymus praecox* Opiz. In Turkey according to the Maxent algorithm. *International Journal of Biology and Chemistry*, 16(1), 58-67.

Wang, Y., Xie, B., Wan, F., Xiao, Q., ve Dai, L. (2007). *Application of ROC Curve Analysis in Evaluating The Performance of Alien Species Potential Distribution Models*.

WorldClim. (2020). *Global climate and weather data—WorldClim*. <https://worldclim.org/data/index.html>

Yaltırık, F. (1995). Dilek Yarımadası Milli Parkı (Samsundağı, Kuşadası). *Revue de la faculté des sciences forestières de l'Université d'Istanbul*, 45.

Yaltırık, F. (1984). *Bazı Yapraklı Ağaç ve Çaluların Kışın Tanınması*. İstanbul.

Zouhar, K. (2005). *Species: Spartium junceum*. In: Fire Effects Information System, [Online], U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station; Fire Sciences Laboratory (Producer). <https://www.fs.usda.gov/database/feis/plants/shrub/spajun/all.html>