

**QUERCUS ILEX L. TÜRÜNÜN GÜNÜMÜZ VE  
GELECEKTEKİ OLASI YAYILIŞI İLE İKLİM  
DEĞİŞİKLİĞİNE UYUM YETENEĞİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**EVALUATION OF PRESENT AND POSSIBLE DISTRIBUTION  
IN THE FUTURE AND ADAPTABILITY TO CLIMATE  
CHANGE OF QUERCUS ILEX L. SPECIES**

---

*Ünal AKKEMİK*  
*Osman Yalçın YILMAZ*  
*Hatice YILMAZ*  
*Orhan SEVGİ*  
*Ece SEVGİ*  
*Ferdi AKARSU*  
*Sena GENÇ*  
*Hakan ÇELİK*  
*Özgür Hüseyin DOĞAN*



# **QUERCUS ILEX L. TÜRÜNÜN GÜNÜMÜZ VE GELECEKTEKİ OLASI YAYILIŞI İLE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE UYUM YETENEĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Ünal AKKEMİK**  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

**Osman Yalçın YILMAZ**  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

**Hatice YILMAZ**  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

**Orhan SEVGİ**  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

**Ece SEVGİ**  
Bezmialem Vakıf Üniversitesi

**Ferdi AKARSU**  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

**Sena GENÇ**  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

**Hakan ÇELİK**  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

**Özgür Hüseyin DOĞAN**  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

## **Özet**

İklim değişikliği etkilerinin yüksek oranda hissedildiği Akdeniz havzasına yönelik yapılan gelecek iklim projeksiyonları ağaçların yaşam alanlarında değişimler olacağını ortaya koymuştur. Bu bağlamda çalışmanın amacı, *Quercus ilex* L. (Pırnal meşesi; Kaba pırnal) türünün günümüz ve gelecekteki olası yayılışı ile adaptasyon yeteneğinin iklim değişikliği kapsamında değerlendirilmesidir. 1170982 nolu TÜBİTAK Projesi kapsamında, dünya genelindeki yayılışının en doğu sınırı olan Türkiye'deki tüm doğal alanlarını kapsayan 102 ayrı yerden artım kalemi, odun ve yaprak örnekleri alınmıştır. Kullanılan iklim senaryolarına dayanarak elde edilen tür dağılım modellerine göre türün 2070'lerde Ege Bölgesinin güney kısımlarındaki varlığı azalarak da olsa devam edecek buna karşın Karadeniz ve Marmara Bölgesi, türün yayılışı için daha elverişli hale gelecektir. Böylece Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgesinde, türün yayılışına iklim açısından uygun olan alan miktarı artacaktır. Türün odunlarındaki su iletim sistemleri, yıllık halkaları ve yaprak özelliklerinin adaptasyon gücünün yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. O nedenle, Akdeniz havzasındaki değişen iklim koşullarına karşı, türün elverişli yetiştirme alanlarında dirençli olacağı öngörülmektedir. O nedenle türün, Ege, Marmara ve Karadeniz bölgelerindeki doğal yayılışlarının korunması, deniz seviyesi ve kıyıya yakın orman alanlarında yetiştirilmesi ve kent içi koru, park ve yollarda daha fazla tercih edilmesi önerilebilir.

## **Anahtar Kelimeler**

*Pırnal meşesi, Kaba pırnal, Tür dağılımı, Odun anatomisi, Yıllık halka analizleri, Dendroklimatoloji, Yaprak morfolojisi*

## EVALUATION OF PRESENT AND POSSIBLE DISTRIBUTION IN THE FUTURE AND ADAPTABILITY TO CLIMATE CHANGE OF *QUERCUS ILEX* L. SPECIES

**Ünal AKKEMİK**

*İstanbul University Cerrahpaşa*

**Osman Yalçın YILMAZ**

*İstanbul University Cerrahpaşa*

**Hatice YILMAZ**

*İstanbul University Cerrahpaşa*

**Orhan SEVGİ**

*İstanbul University Cerrahpaşa*

**Ece SEVGİ**

*Bezmialem Vakıf University*

**Ferdi AKARSU**

*İstanbul University Cerrahpaşa*

**Sena GENÇ**

*İstanbul University Cerrahpaşa*

**Hakan ÇELİK**

*İstanbul University Cerrahpaşa*

**Özgür Hüseyin DOĞAN**

*İstanbul University Cerrahpaşa*

### Abstract

Future climate projections for the Mediterranean basin, where the effects of climate change are highly felt, revealed that there will be changes in the habitats of trees. In this context, the aim of the study is to evaluate the current and future distribution and adaptation ability of *Quercus ilex* L. (Holm oak) within the context of climate change. Within the scope of TÜBİTAK Project numbered 117O982, incremental cores, woods and leaf samples were taken from 102 different research points covering all natural areas in Türkiye, which is the easternmost border of its worldwide distribution. According to the species distribution models obtained based on the climate scenarios used, the presence of the species in the South Aegean Region will continue in the 2070s, albeit decreasing, whereas the Black Sea and Marmara Regions will become more suitable for the distribution of the species. Thus, the amount of land suitable for the distribution of the species in terms of climate will increase in Türkiye. It was concluded that the adaptation power of water transporting systems and tree rings in the woods of the species and its leaf characteristics is high. Therefore, it is predicted that the species will be resistant to the changing climatic conditions in suitable growing areas of the Aegean, Marmara and Black Sea region. For this reason, it can be recommended to preserve the natural distribution areas of the species in the Aegean, Marmara and Black Sea regions, to cultivate it in forest areas close to sea level and the coast, and to prefer it more in urban groves, parks and roads.

### Keywords

*Holm oak, Kaba pınal, Species distribution, Wood anatomy, Tree-ring analysis, Dendroclimatology, Leaf morphology.*

## 1. Giriş

Akdeniz havzası, insan kaynaklı iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgelerden biri olarak değerlendirilmektedir. Yapılan senaryolar tüm ülkede, özellikle de güney ve güneydoğu bölgelerde sıcaklığın daha da artacağını göstermektedir. Yağışın ise güney ve kuzey batı kesimlerinde azalırken Doğu Karadeniz bölümünde artacağını ortaya koymuştur (Şen vd., 2017). Değişen iklim koşulları başta türlerin yayılışları (Dyderski vd., 2017; Akyol ve Örucü, 2019; Sarıkaya ve Orucu, 2019; Dağtekin vd., 2020) olmak üzere fizyolojik (Örs ve Ekinci, 2015), morfolojik ve anatomik (Akkemik vd., 2021) olarak adaptasyon durumlarını etkilemektedir.

Bu makale; iklim değişikliği bağlamında ülkemizde Samsun'dan başlayarak kesintili olarak Datça'ya kadar yayılış alanlarına sahip olan (Günel, 2011; Akkemik vd., 2020) *Quercus ilex* türünün iklim değişikliğine ve kurak koşullardan nemli koşullara doğru farklı iklim koşullarına adaptasyonuna dikkat çekmek üzere hazırlanmıştır. TÜBİTAK-TOVAG 117O982 numaralı proje kapsamında yapılan çalışmalarda gelecek projeksiyonlarının türün adaptasyon yeteneği ile birlikte değerlendirilmesi, böylece başta Orman Genel Müdürlüğü olmak üzere karar verici kurumlar için alt yapı oluşturulması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. *Quercus ilex* türünün Türkiye'deki yayılışı

Türkiye'de 17 doğal meşe türü yetişmektedir. Bunlardan 3'ü herdem yeşil olup biri de *Quercus ilex* (Pırnal meşesi, Kaba pırnal, Çakpelit, Kocadağ meşesi, Akkemik vd., 2019) türüdür (Şekil 1). Bu türün dünya üzerindeki yayılışının en doğu sınırı Türkiye'de olup kesintili bir şekilde Samsun şehir merkezinden Muğla-Datça'ya kadar yayılış yapmaktadır (Şekil 2).



**Şekil 1.** İstanbul-Fenertepe ormanlarındaki *Quercus ilex* türünün ağaç (sol) ve çalı (sağ) formlarının genel görünüşü.

Türün Akdeniz havzasındaki yayılışı 400-600 m'dir ve Fas-Rif Dağında da 2000–2600 m yüksekliğe kadar çıkmaktadır (Günel, 2011; Schirone vd., 2019). Akkemik vd., (2020)'ne göre türün ülkemizdeki yayılış alanı dar bir şerit boyunca olup genel olarak kuzeyde deniz seviyesinden 300 m yükseltiye, Ege'de güney enlemlere inildikçe Datça'da en çok 1140 m'ye kadar çıkmaktadır. Önemli bir sonuç da, türün Karadeniz Bölgesi'ndeki yayılış alanı (Ereğli-Alaplı) genişliğinin düzeyde 300 m iken Güney Ege'de (Datça'da) 700 m (400-1100 m) kadar olmasıdır (Şekil 2); Bu durum türün güney enlemlere inildikçe dikey yayılışının genişlediğini göstermektedir (Akkemik vd., 2020).



Şekil 2. *Quercus ilex* türünün Türkiye'deki yayılışı.

Türün İzmir-Urla-Çeşme civarı ve Marmaris-Datça arasındaki Kocadağ'da bulunan yayılış alanları ilk defa (Akkemik vd., 2020) tarafından yayınlanmıştır. İzmir-Urla-Çeşme civarındaki yayılış alanında kaba pırnal bireyleri, kızılçam gençleştirme/ağaçlandırma çalışmaları esnasında traşlama şeklinde kesilmiş olduğundan bireylerin çoğu sürgün kökenlidir.

Türün ülkemizdeki yayılış alanları genel olarak denize yakın kuzey bakılardadır. Türün yaygın olarak bulunduğu kısımların denizden mesafesi 3 km kadar iken İzmir ve İstanbul'da en uzak noktası 23 km'ye ulaşmaktadır. Bu yayılış durumu türün ülkemizde deniz etkisi altında bir yetişme ortamı isteği olduğunu düşündürmektedir.

Kaba pırnal, genel olarak deniz seviyesine yakın (deniz etkisine açık) yerlerde yayılış yapmaktadır. Gelişimi iyi olan birey ve meşcereler, özellikle nemli dere içlerinde ve vadilerdeki derin ve verimli topraklar üzerindedir. Tür, kurak koşullarda da çalı formunda yaşamını sürdürürken, diğer herdem yeşil meşe türlerine göre nemli yerleri daha fazla tercih etmektedir. Böylece deniz etkisinin azaldığı ve yetişme ortamı koşullarının daha kurak olduğu yerlerde boyutlarını küçülttüğü için kurak koşullara uyum sağlayarak çalı şeklinde varlığını sürdürdüğü düşünülmektedir. Hatta İstanbul-Yıldız Parkı içerisindeki varlığı ve İstanbul-Yeniköy vadi içlerinde yer yer bulunması da bu alanların doğal bir yayılış alanı olabileceğini düşündürmektedir.

Kaba pırnal hem saf hem de karışık ormanlar oluşturmaktadır. Farklı bölgelerde *Quercus frainetto* Ten, *Q. infectoria* G. Olivier, *Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. coccifera* L., *Tilia tomentosa* Moench, *Castanea sativa* Mill., *Sorbus domestica* L., *S. torminalis* (L.) Crantz, *Arbutus unedo* L., *A. andrachne* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Laurus nobilis* L., *Olea europaea* L., *Phillyrea latifolia* L., *Ruscus aculeatus* L., *R. hypoglossum* L. ve *Fraxinus ornus* L. gibi türlerle karışım oluşturmaktadır. Tür; farklı anakayalar ve topraklar üzerinde yetişmekle birlikte tortul kayalar ve kireçli anakayalar üzerinde daha fazla görülmektedir (Akkemik vd., 2020).

Kaba pırnalın yayılış alanları genel olarak insan yerleşimleriyle iç içe geçmiştir. Bir yandan kentleşme, diğer yandan taş-kum ocakları, karayolları, tarla ve bahçe gibi nedenlerle türün yayılış alanları zarar görmüştür. İstanbul, Samsun ve Ereğli-Alaplı gibi yayılış alanlarının yapılaşmayla iç içe geçmiş olması türün aslında yayılış alanlarının daha geniş olduğunun da bir göstergesidir.

## 2.2. Materyal

Türün iklim değişikliğine tepkisi, günümüz ve gelecekteki yayılış alanlarının belirlenmesi, yayılış alanlarındaki bireylerin gövdelerindeki su iletim sistemlerinin yetişme ortamı koşullarına tepkisi ve yıllık halka-iklim arasındaki ilişkiler için toplam 102 örnek alanından örnekler alınmıştır. Gövde su iletim borularının yetişme ortamı koşullarına verdiği tepkileri belirlemek için çalışmalar 102 odun örneği, yıllık halka analizleri için de toplam 1020 artım kalemi alınmıştır. Yaprak morfolojisindeki değişimler için TÜBİTAK 117O982 nolu proje kapsamında toplam 102 örnek alanındaki birer ağaçtan en az 50'şer tane ışık ve gölge yaprağı örneği alınmıştır.

## 2.3. Uygulanan Yöntemler

Türün günümüz ve gelecekteki yayılış tahminleri için ülkemizdeki tüm yayılış alanları gezilerek potansiyel bulunabileceği alanlar ile mevcut yayılış alanları tespit edilmiştir. Bu amaçla, 117O982 nolu proje kapsamında, *Q. ilex* türünün güncel ve gelecekteki yayılışını tahmin etmek için projeksiyonlar yapılmıştır. WorldClim 1.4 verisi kullanılarak yapılan tür dağılım modelinde dağılımı etkileyen değişkenler olarak BIO3 (eşisi), BIO9 (en kurak üç ayın ortalama sıcaklığı), BIO12 (yıllık toplam yağış), BIO14 (en kurak ayın yağışı) ve denize olan mesafe bulunmuştur.

Türün Türkiye'deki tüm yayılış alanlarından alınan toplam 102 örnek üzerinde yapılan çalışmalarla trahelerinin radyal ve teğet çapları, boyları ve birim alandaki sayıları belirlenmiş ve mezomorfi ve kseromorfi oranları hesaplanmıştır (Akkemik vd., 2021).

Yıllık halka-iklim arasındaki ilişkileri belirlemek için 7 yöreye ait birer yıllık halka kronolojisi oluşturulmuştur. Tüm yıllık halka kronolojilerini (1973-2017 yıllarını) kapsayan biyolojik yıl için (bir önceki yılın Ekim ayından sonraki yılın Ekim ayına kadar) standart yıllık halka kronolojileri ile aylık toplam yağış, ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık değerleri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu amaçla; yıllık halka genişliği ile iklim arasındaki ilişkinin zaman



içinde nasıl değiştiğini saptamak için 5 yıl kaydırmalı 30 yıllık periyotlar olacak şekilde (1973-2002, 1978-2007, 1983-2012 ve 1988-2017) hareketli korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu analizler “*treeclim*” R paketi kullanılarak yapılmıştır (Zang ve Biondi, 2015). İklim verileri, 1900-2020 yılları için CRU TS4.05 ızgaralı veri seti (0,5 x 0,5 çözünürlük) indirilmiştir (<https://climexp.knmi.nl/>) (Harris vd., 2020). Aşağıda verilen tabloda indirilen iklim verilerinin alındığı koordinatlar verilmiştir (Tablo 1).

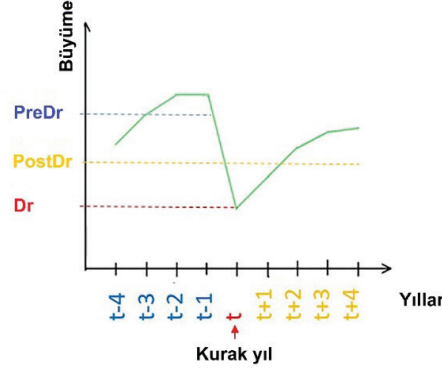
**Tablo 1.** Kullanılan İklim Verilerinin Koordinatları

Örnek Alanlar	Enlem	Boylam
Zonguldak: Alaplı-Ereğli	41.00°K - 41.50°K	31.00°D - 31.50°D
İstanbul-Fenertepe	41.00°K - 41.50°K	28.50°D - 29.00°D
İstanbul-Elmalı	41.00°K - 41.50°K	29.00°D - 29.50°D
Çanakkale-Gökçeada	40.00°K - 40.50°K	25.50°D - 26.00°D
Aydın-Davutlar (Kuşadası)	37.50°K - 38.00°K	27.00°D - 27.50°D
İzmir	38.00°K - 38.50°K	26.50°D - 27.00°D
Muğla-Datça	36.50°K - 37.00°K	27.50°D - 28.00°D

Büyüme üzerindeki ana iklimsel faktörlerin doğrusal olmama durumunu analiz etmek için “*mgcv*” R paketi (Wood, 2017) kullanılarak, Generalised Additive Models (GAM) uygulanmıştır. Bağımlı değişken olarak standart kronolojiler kullanılırken, tahmin değişkeni olarak yıllık halka genişliğini olumlu yönde etkileyen Aralık-Mart toplam yağışı, Haziran-Temmuz toplam yağışı ve Aralık-Şubat ayları minimum sıcaklık ortalaması değerleri kullanılmıştır. Etkin serbestlik derecesi (edf) değerleri doğrusallık derecesini göstermektedir (edf = 1 doğrusal bir ilişkiye eşdeğerdir,  $1 < edf \leq 2$  zayıf doğrusal olmayan bir ilişkidir;  $edf > 2$  yüksek düzeyde doğrusal olmayan bir ilişkiyi göstermektedir (Zuur vd., 2009).

Ağaçların kuraklığın etkisiyle başa çıkma yeteneğini değerlendirmek için dayanıklılık indisleri kullanılmıştır (Lloret vd., 2011). Dayanıklılık, direnç ve iyileşme indisleri sırasıyla; ağaçların kuraklık öncesi performans seviyelerine dönme kapasitesini; kuraklık sırasında ve öncesinde ağaçların büyüme performansını; kuraklık öncesi performans seviyelerini eski haline getirme yeteneğini temsil etmektedir. İndisler “*pointRes*” R paketi (van der Maaten-Theunissen vd., 2015) kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 3):





**Şekil 3.** Dayanıklılık, direnç ve iyileşmenin hesaplanmasına ilişkin yıllık kesit üzerinde şematik gösterim (Lloret vd., 2011'den esinlenerek hazırlanmıştır) Dr: tahribat yılındaki yıllık halka genişliğini, PreDr: tahribat yılından önceki dört yılın yıllık halka genişliği ortalamasını; PostDr: tahribat yılından sonraki dört yılın yıllık halka genişliği ortalamasını, t: tahribat yılını ifade etmektedir.

1. Direnç (Resistance) indisi =  $Dr/PreDr$  olarak hesaplanmaktadır. Ağaçlarda tahribatın etkisini azaltma kapasitesini ifade etmektedir. Fang ve Zang (2018), direncin  $> 0,75$  olması durumunda ağaçların kurak koşullara dayanıklı olduğunu ifade etmektedir.
2. İyileşme (Recovery) indisi =  $PostDr/Dr$  olarak hesaplanmaktadır. Tahribat sonrası, tahribat yılına oranla iyileşmeyi ifade etmektedir. İyileşme değeri  $> 1,25$  ise, ağaçların kurak koşullardan sonra yüksek bir iyileşme potansiyeli olduğunu belirtmiştir (Fang ve Zang, 2018).
3. Dayanıklılık (Resilience) indisi =  $PostDr/PreDr$  olarak hesaplanmaktadır. Bir ağacın kuraklık öncesi büyüme oranına ulaşma kapasitesini ifade etmektedir.

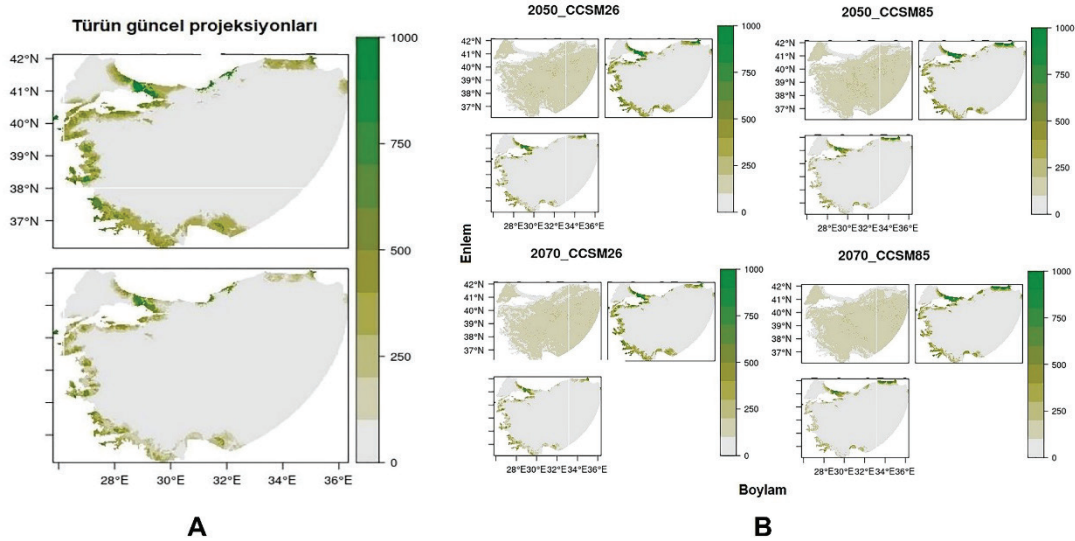
Yaprak morfolojisi çalışmaları kapsamında da 102 noktadan alınan yaprak örnekleri üzerinde yaprak boyutları ve kalınlıkları ölçülmüş ve tüylülük durumları incelenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. *Quercus ilex*'in İklim Değişikliğine Tepkisi ve Yayılış Alanlarındaki Olası Değişimler

Türkiye'de orman ağaçlarının yayılış alanlarının, değişen iklim koşullarına bağlı olarak güneyden kuzeye doğru kayacağına ilişkin çok sayıda çalışma bulunmaktadır (örn. Dyderski vd., 2017; Akyol ve Örucü, 2019; Sarıkaya ve Orucu, 2019; Dağtekin vd., 2020). Tabet vd., (2018) Cezayir'de yaptıkları çalışmada BIO1 (yıllık ortalama sıcaklık), BIO6 (en soğuk ayın ortalama sıcaklığı), BIO10 (en sıcak üç ayın ortalama sıcaklığı) ve denize mesafeyi etkili değişkenler olarak belirlemişlerdir. Güncel ve gelecek projeksiyonlarının başarısı açısından, kalibrasyon alanına dayanılarak oluşturulan modelin kullanılması uygun olacaktır. *Q. ilex* türü için güncel durum projeksiyonu gerçeğe en yakın sonuçları vermiştir (Şekil 4A). TÜBİTAK Projesi kapsamında kullanılan gelecek iklim senaryolarından CCSM4 iklim senaryosuna göre Karadeniz ve İstanbul'da yayılışına uygun alanların artacağı ancak Ege ve Akdeniz de bir miktar azalacağı, buna karşın varlığını sürdüreceği beklenmektedir (Şekil 4B).

Proje kapsamında kullanılan Farklı WorldClim 1.4 iklim senaryolarına (GFDL-CM3, MPI-ESM-LR, CCSM4 i) göre Türkiye'nin güneyindeki yayılış alanları daralırken kuzeydeki yayılış alanları genişlemektedir; toplam yayılış alanının ise artacağı tahmin edilmektedir. *Q. ilex* türünün Batı Akdeniz Havzasında gelecek yayılış alanı tahminlerinde 2050 yılı için güncel alanının yaklaşık iki katı artacağını ancak 2070 yılında güncel alanından çok az miktarda artış olacağı bulunmuştur (López-Tirado ve Hidalgo, 2018). Proje sonuçları bu durumun türün doğu sınırlarında da (Türkiye'de de) benzer şekilde olacağını göstermektedir. Gelecek senaryoları, türün 2070 yıllarında Türkiye'nin güneybatı yayılışlarının azalarak da olsa devam edeceğini ortaya koymuştur (Akkemik vd., 2022). Bu sonuç, önemli bir orman ağacı olan *Q. ilex* türünün bu aşamada gövde su iletim borularının değişen koşullara uyumlu olmasının ve kurak koşullara dayanıklı, kuraklığın olumsuz etkilerine karşı da direnç ve iyileşme potansiyelinin yüksek olmasına kanıt olabilecektir.



**Şekil 4. A)** WordClim1.4 iklim verisi ile ensemble modele göre kalibrasyon alanı için türün yayılışına uygun alanların tahmin haritası (üstte CA, altta WM yöntemine göre), **B)** CCSM4 iklim senaryosu RCP 2.6-8.5 sera gazı konsantrasyonu için 2050 ve 2070 dönemleri türün yayılışına uygun alanların tahmin haritası (her bir üçlü haritanın üstte sağda olanı CA, altta solda olan WM yöntemine göre hesaplanmış sonuçlardır)

### 3.2. Gövde su iletim sisteminin farklı iklim koşullarına tepkisi

Odun anatomisi sonuçları, *Q. ilex* türünün yayılış alanlarının neredeyse yarısında ve özellikle Karadeniz ve Marmara bölgesi, Kuşadası-Davutlar Millî Parkı, Gökçeada vadisinin iç kesimleri ve kuzeye bakan yamaçlarda nemli özelliklerin hâkim olduğunu ortaya koymuştur (Akkemik vd., 2021).

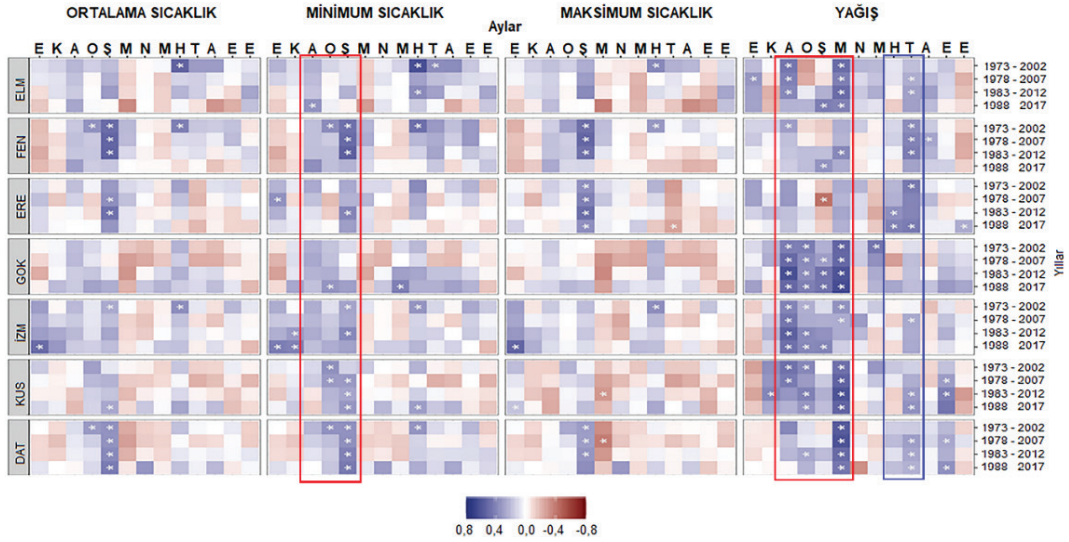
*Q. ilex*, nemli koşullardan kurak koşullara kadar farklı iklim koşullarında gelişebilme potansiyeline sahiptir. Örneğin kurak yıllarda ve koşullarda tomurcukları küçülmekte (Montserrat-Martí vd., 2009), düşük oranda büyümekte ve kurak koşullarda hayatta kalabilmektedir. Potansiyel iklim değişikliğinin türlerin gelişimi üzerindeki etkisine ilişkin çalışmalar (örn. Barbeta ve Peñuelas, 2016), bu türün dağılımının ve büyümesinin de etkileneceğini göstermiştir. Barbeta ve Peñuelas (2016) ayrıca türün bireylerinin, ağaç ve meşcere seviyesindeki yaprak alanlarını daha düşük bir su mevcudiyetine göre ayarlayabildiğini göstermiştir. Yıllık halka ve trahe özellikleri bu türün, gelecekte daha da kuraklaşması beklenen kıyı bölgelerinin nemli kısımlarında tercih edilebileceğini göstermiştir. Villar-Salvador vd., (1997) de benzer şekilde kurak ve nemli koşullara göre yaprak ve odundaki trahe boyutlarının uyum yeteneğinin yüksek olduğunu belirtmiştir.

Trahe hücre boyları bölgesel olarak önemli bir farklılık göstermemiştir. Kısa trahe hücre boyları su iletiminde emboli oluşumuna karşı güvenlik sağlamaktadır. *Q. ilex* bireylerinde su iletiminde verimlilik ön plana çıkmıştır. Nemli ve kurak koşulların trahe üzerindeki etkisi, en belirgin şekilde trahe çaplarının değişmesi şeklindedir. Bu, su iletiminde verimlilik ve güvenliği sağlamaktadır. Kurak koşullarda trahelerin çapları azalırken, nemli koşullarda artmaktadır.

### 3.3. Yıllık halka-iklim arasındaki ilişkiler ve değişen iklime tepkisi

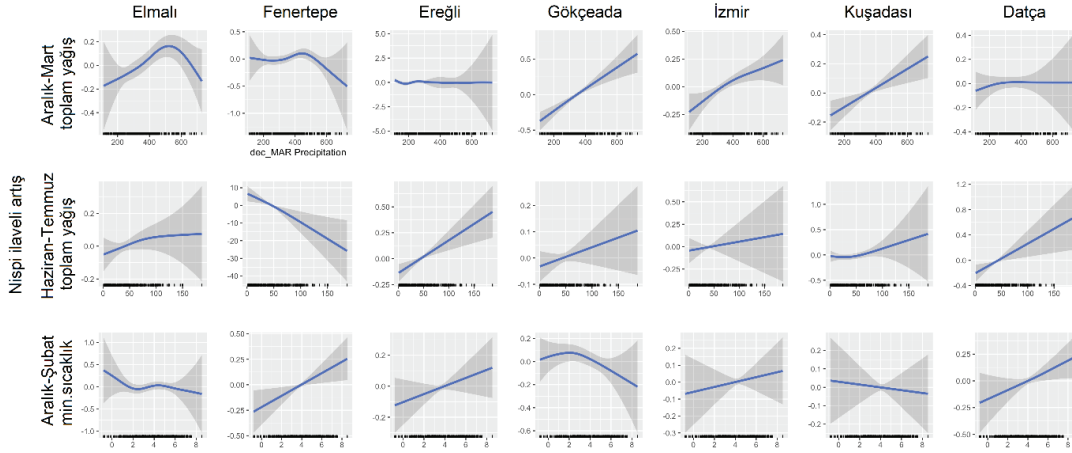
Kaba pırnal tipik bir Akdeniz sert yapraklı orman ağacı olarak nemli koşullarda geniş, kurak koşullarda da dar yıllık halkalar oluşturarak yüksek bir uyum yeteneğine sahip hale gelmiştir (Akkemik vd., 2022). Cherubini vd., (2003) Akdeniz iklim koşullarında yetişen ağaçların yıllık halka oluşumlarını incelemişler ve bu türün uygun koşullarda kambiyum faaliyetinin kesintisiz olarak devam ettiğini belirtmişlerdir. Türkiye’de de ölçülen yıllık halkaların sınırlarının genellikle belirgin olmaması, yıllık halka oluşumlarının uygun kış dönemlerinde de devam ettiğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Yıllık halka genişliği-iklim arasındaki ilişkilerinin 5 yıl kaydırmalı bir şekilde aylık ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık ve aylık toplam yağışla karşılaştırılması sonucunda dönemsel olarak belirgin bir değişim göstermediği tespit edilmiştir (Şekil 5). Genel olarak ilkbahar-yaz dönemi yağışları ve kış sıcaklıkları ile yıllık halka gelişimi arasında pozitif bir ilişki vardır. İlkbahar-yaz dönemindeki yağışlar arttıkça yıllık halka genişliği de artmaktadır. Benzer şekilde kış dönemindeki ortalama sıcaklık artışının da olumlu etkisi vardır. Kış dönemindeki minimum sıcaklık artışlarının pozitif etkisi daha yüksektir. Buna karşın maksimum sıcaklıkların artması halka gelişimini genel olarak olumsuz yönde etkilemektedir. İber Yarımadası’nda da benzer şekilde ilkbahar dönemi yağışları ile yıllık halka genişliği arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur (Gutierrez vd., 2011).



**Şekil 5.** Aylık ortalama, minimum ve maksimum sıcaklık ve aylık toplam yağış ile yıllık halka genişlikleri arasındaki, 30 yıllık periyotlar halinde 5 yıl kaydırmalı, 1973-2002, 1978-2007, 1983-2012 ve 1988-2017 dönemlerine ait korelasyon katsayıları. (\*) olanlar %95 güven düzeyinde anlamlı olan ayları göstermektedir. Kırmızı ve mavi çerçeveler yıllık halka üzerindeki pozitif ilişkilerin yüksek olduğu ayları göstermektedir.

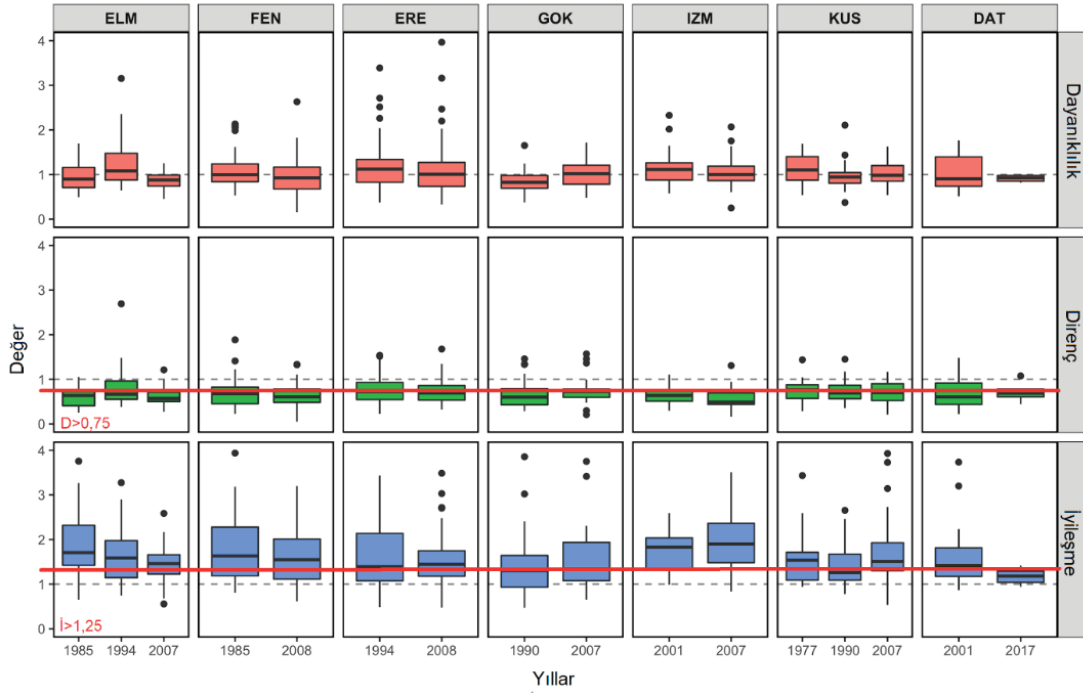
*Quercus ilex* türünün yıllık halka genişliğini etkileyen Aralık-Şubat dönemi minimum sıcaklığı, Aralık-Mart dönemi ve Haziran-Temmuz dönemi toplam yağışları ile ilgili yapılan GAM analizi sonuçları bu dönemlerdeki sıcaklık ve yağış değerlerindeki değişimlerin önemli olduğunu göstermiştir (Şekil 6). İklim değişikliği bağlamında Aralık-Mart dönemi toplam yağışta bir artış olursa eğer bu artışın etkisi Elmalı ve Fenertepe’de 500 mm’den sonra negatife dönmektedir. Diğer yetiştirme ortamlarında ise olumlu etkisi vardır. Buna karşın eğer Haziran-Temmuz dönemi toplam yağışında artış olursa Fenertepe dışında diğer tüm alanlarda yağışın etkisi olumlu etki yapmaktadır. İklim değişikliği projeksiyonları (Şen vd., 2017) *Quercus ilex* türünün tüm yayılış alanlarında, yağışın azalacağını, bu azalmanın da güney kesimlerde daha fazla olacağını ortaya koymaktadır. Yaz dönemindeki artan sıcaklıkların yıllık halka genişliği üzerindeki etkisi negatif olmasına karşın genellikle anlamlı değildir. Buna karşın, Aralık-Şubat dönemi minimum sıcaklıklarının etkisi genellikle anlamlı bir şekilde pozitiftir. Fenertepe, Ereğli, İzmir ve Datça’daki yayılış alanlarında minimum sıcaklık artışları halka genişliğinin de daha yüksek olmasını sağlamaktadır (Şekil 6).



**Şekil 6.** GAM analizi sonuçları. Şekil 4’teki kırmızı ve mavi çerçeveler içindeki aylara ilişkin GAM analizi grafikleri.

Aşırı kurak yıllar, yıllık halka genişliği indisi ve Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) zaman serileri arasındaki ilişkilerle belirlenmektedir. SPEI, su dengesini tahmin etmek için yağış ve evapotranspirasyon kullanılarak hesaplanan çok ölçekli bir kuraklık indeksidir (Vicente-Serrano vd., 2010). Türler ve biyomlar kuraklığa belirli zaman ölçeklerinde tepki verdiğinden, her bölge için farklı SPEI zaman pencereleri belirlenmiştir (Vicente-Serrano vd., 2013; Camarero vd., 2015; DeSoto vd., 2020). Bu nedenle, *Quercus ilex* türü için ilkbahar, yaz ve erken sonbahara (Mart-Ekim) karşılık gelen 7 seçilmiş ay ile biten 24 farklı ay ölçeği (1 aydan 24 aya) için aylık SPEI değerlerini kullanarak ve “SPEI” R paketi (Vicente-Serrano vd., 2010) kullanılarak analizler yapılmıştır. Her örnek alan için, korelasyon katsayısı hesaplanarak ortak dönem (1973–2017) için yıllık halka genişliği indisi ile 168 farklı SPEI penceresi (7 seçilen ay  $\times$  24 aylık ölçek) arasındaki ilişki analiz edilmiştir ve yıllık halka indisi ile SPEI arasındaki en yüksek pozitif korelasyon katsayısı olan SPEI penceresi seçilmiştir. Daha sonra her örnek alan için kurak yıllar; (1) SPEI, alana özel SPEI penceresinin yüzde 10’undan az (DeSoto vd., 2020), (2) aynı yıl alanın ortalama yıllık halka indisinin önceki 3 yılın ortalama yıllık halka indisinden  $> \%30$  azaldığı ve (3) her alan için seçilen kurak yıllarda birey sayısının en az  $\%50$ ’sinin yıllık halka indisinin büyüme gerilemesiyle çakıştığı yıllar olmak üzere üç kritere göre seçilmiştir.

Bazı kurak yıllarda yıllık halkaların genişlikleri ve kurak yıldan sonra iyileşme potansiyelleri incelenmiştir (Şekil 7). Bu amaçla önemli bazı kurak yıllar belirlenerek bu yıllarla ilgili dayanıklılık, direnç ve iyileşme durumları incelenmiş ve hemen hemen tüm bölgelerde iyileşme, direnç ve dayanıklılık durumları sınır değerler civarında ve üzerinde çıkmıştır. Özellikle kurak yıldan sonra ağaç gelişiminin kurak yıl öncesindeki geniş halka oluşturma potansiyeli olan iyileşme hemen hemen tüm bölgelerde yüksektir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Bazı kurak yıllarda yıllık halkaların genişlikleri ve kurak yıldan sonra iyileşme potansiyelleri  $D > 0,75$  direnç,  $I > 1,25$  iyileşme alt sınır değerleridir. Sınır değerinin üzerinde olması direnç ve iyileşme potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Dayanıklılık değerinin ise 1 ve daha büyük olması dayanıklı olarak değerlendirilir.

Corcuera vd., (2004) İspanya’da 1994 yaz kuraklığının etkilerini incelemişler ve türün kuraklığa dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak kaba pırnal kuraklığa dayanıklı bir tür olarak değerlendirilmiştir. Benzer bir sonuç ülkemizde de elde edilmiştir.

Balzano vd., (2020, 2021) halka-içi yoğunluk dalgalanmalarının *Quercus ilex* türünde de yaygın olduğunu ancak son yıllarda yaz kuraklığının artması sonucu halkalarındaki halka-içi yoğunluk dalgalanmalarının azaldığını belirtmişlerdir. Kuraklık nedeniyle yıllık halkalar kurak koşullarda daha da daralmıştır. Benzer durum Türkiye’deki örneklerde de görülmüştür. Halka-içi dalgalanmalar genellikle geniş halkalarda görüldüğünden özellikle İzmir ve Datça örneklerinde seyrek ve sadece kısmen geniş olan halkalarda mevcut iken diğer bölgelerde sıklıkla görülmüştür. Son yıllarda ise halka genişliğindeki daralmaya bağlı olarak azalmaktadır.

Türün ağaç formuna ulaşmış bireylerinde yıllık halka genişliği oldukça yüksek ve bazı örneklerde 10 mm’ye kadar çıkmaktadır. Yıllık halka genişliğinin en yüksek olduğu bölge Marmara Bölgesi’dir. Bunu sırasıyla Batı Karadeniz, Kuzey Ege ve Güney Ege izlemektedir.



Ege Bölgesi'nde yıllık halka gelişiminin en iyi olduğu alan aynı zamanda milli park olarak da koruma altında olan Kuşadası'ndaki Davutlar'dır. Buna karşın İzmir ve Datça yıllık halka genişliklerinin en düşük olduğu iki yayılış alanıdır. İzmir'de yükseklik 200-500 m yükselti aralığında, Datça'da ise 900-1100 m'dir. Yükseklik arttıkça yıllık halka genişliklerinde belirgin bir daralma vardır. O nedenle türün yayılış alanları içerisinde elverişli kısımlar, deniz seviyesine yakın ve toprak derinliğinin yüksek olduğu alanlardır.

İspanya'da ormanın kapalılığının yüksek olmasının *Q. ilex* türünde yıllık halka genişliğine olumlu etki yaptığı belirtilmiştir (Gea-Izquierdo vd., 2009). Ülkemizde de Ereğli, Elmalı, Fenertepe, Davutlar gibi kapalılığın yüksek olduğu ormanlık alanlardaki ağaçların yıllık halka genişliği daha fazladır.

### 3.4. Yaprak morfolojisinde tespit edilen iklim etkileri

*Quercus ilex* türü ile ilgili olarak İspanya'da yapılan bir çalışmada *Q. ilex* türünün kuraklığa en dayanıklı tür olarak davrandığı bildirilmiştir (San-Eufrasio vd., 2020). Akdeniz ikliminin sıcak dönemlerine ve kurağa karşı kaba pırsal yaprak yüzeyini küçültme eğilimindedir (Bačić ve Miličić, 1985; Peña-Rojas vd., 2005). Türkiye'de de kurak alanlarda yaprak boyutu daha küçük olarak bulunarak mevcut araştırmalarla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. *Q. ilex* türünde gölge yapraklarının mezomorfik yapıda olması nedeniyle alt yüzleri çıplak ya da çok seyrek tüylü ve yaprak ince, palisat parankimasi tek sıralı, yaprak kenarı dişli ve yüzey alanı geniştir. Buna karşın, ışık yapraklarında yaprakların alt yüzü yoğun tüylü, kutikula tabakası kalın, palisat tabakası 2-3 sıralı, yaprak yüzey alanı düşük ve kenarlarında diş sayısı az ya da tam kenarlıdır (Akkemik vd., 2022). Türkiye'ye ilişkin sonuçlar, Bačić ve Miličić (1985) tarafından verilen sonuçlara da uyumludur. Türkiye'de ise yaprakların dış ve iç morfolojik özellikleri açısından türün oldukça çeşitlilik gösterdiği dolayısıyla farklı yetişme ortamı koşullarına (nemli, kurak gibi) uyum yeteneğinin yüksek olduğu bulunmuştur.

## 4. Sonuç ve Öneriler

Türün; Türkiye'deki tüm yayılış alanlarındaki yaprak, odun, yıllık halka ve yayılış bilgileri ile ilgili verilere dayanarak yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Türün ülkemizdeki yayılış alanı 0-1140 m yükseltiler arasında olup yaklaşık 7.000 ha kadar alan kaplamaktadır. Türün ülkemizde denize olan en uzak mesafesi yaklaşık 23 km kadar olup genellikle 3 km kadar bir alan içinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle Ege bölgesinde yaptığı yayılışlarda kuzey bakıları tercih etmekle birlikte diğer bakılarda da bulunmaktadır. Tür, bütün eğim sınıflarında yayılış yapmaktadır. İstanbul-Fenertepe yayılış alanı denizden kısmen uzaklaşırken (en çok 23 km) diğer yayılış alanları genellikle denize bakan yamaçlarda olup deniz nemi ve rüzgârının ulaştığı yerlerdedir. Bu yayılış alanı tercihi türün ülkemizde deniz etkisi altında bir yetişme ortamı istediğini göstermektedir.



- Kaba pırnal; en iyi yayılışı, büyümesi ve gelişimini nemli vadi ve kuzey yamaçların alt kesimlerindeki derin ve verimli topraklar üzerinde yapmaktadır. Kurak ve yüksek kesimlerdeki sığ topraklı alanlarda ise çalı formunda yaşamını sürdürmektedir. O nedenle *Quercus ilex*, Akdeniz sert yapraklı ormanlarının tipik bir ağacı olarak yer yer orman kurmakta yer yer de diğer sert yapraklı çalılarla karışıma girmektedir.
- İklim senaryoları türün güneydeki yayılış alanının daralacağını kuzeyde ise genişleyeceğini göstermiştir. Buna karşın, türün yayılış alanları kentleşme baskısı altındadır. Gözlemlerimiz kuzeyde, türün aslında daha geniş olan yayılış alanının daraldığını, parçalandığını ve kesintiye uğradığını göstermiştir. O nedenle, senaryolar kuzeydeki yayılış alanının genişleyebileceğini gösterse de yayılış alanı itibarıyla bunun mümkün olup olmayacağı tartışmalıdır. Günümüzdeki potansiyel yayılış alanının büyüklüğü bu duruma bir kanıt olarak gösterilebilir.
- Türün su iletim sistemini oluşturan traheleri dağınık ve radyal yönde dizilmiş olup oldukça seyreklerdir. Farklı bölgelerdeki farklı iklim ve yetişme ortamı koşulları trahelerin de birim alandaki sayıları, çapları ve boylarını etkilemiştir. Kuraklık etkisinin yüksek olduğu Datça ve özellikle İzmir'deki örneklerde birim alandaki trahe sayısı artarken çap ve boyutları azalmıştır. Buna karşın diğer bölgelerdeki genellikle ağaç formundaki bireylerde trahelerin birim alandaki sayıları, azalırken çapları ve boyları artmıştır. Bu farklılık su iletimindeki etkenlik ve emniyet açısından tipik bir göstergedir. Türün farklı koşullara uyum sağlamasında önemlidir. Kurak koşullarda su iletiminde emniyet sağlamak için su iletim borularının çaplarını düşürüp birim alandaki sayısı artırırken, nemli bölgelerde su iletiminde etkenliği artırmak için de tersine sayıyı azaltarak çap ve boyları artırmaktadır. Bu adaptasyon sadece bölgesel olmayıp aynı bölgedeki bireylerde de görülmektedir. Özellikle Gökçeada, İstanbul ve Davutlar örneklerinde de görüldüğü gibi çalı formunda kalmış örnek alanlarında kurakçıl, ağaç formuna ulaşmış örnek alanlarında da nemli bir ortamın varlığı tespit edilmiştir.
- Türün yaşam alanlarındaki iklim koşulları ile halka oluşumu arasında önemli bir ilişki vardır. Özellikle İzmir ve Datça çevresindeki yayılış alanları dar yıllık halka oluşumu kuraklık etkilerini yansıtırken diğer bölgelerdeki ağaç formuna ulaşan meşcerelerde yıllık halka genişlikleri yüksek çıkmıştır. Diğer yandan değişen iklim koşullarına karşı verdiği tepkideki değişim oldukça düşük düzeydedir. Yıllık halka oluşumu açısından en önemli faktörler kış dönemi yağışları ve minimum sıcaklıklarıdır. O nedenle de tür dağılım modeli ve odun anatomisi sonuçları da göstermiştir ki tüm kıyı bölgelerindeki derin topraklı ve nemli alanlarda oldukça iyi bir gelişme göstermektedir. Gelecekte de bu tür alanlarda yaşamlarını sürdürecektir. Bununla birlikte tür, kuraklığa da dayanmaktadır. Bu durum aşırı kurak ve yağışlı geçen ekstrem yıllardaki olumsuz etkilerden daha az etkileneceğinin de bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Yapılan çalışmalar ve değerlendirmelerle ulaşılan sonuçlar ve arazi gözlemlerine dayanarak aşağıdaki öneriler ortaya çıkmıştır:

- Türün yayılış alanları yer yer kentleşme, taş-kum ocakları, karayolları, tarla ve bahçe için orman açmaları gibi farklı şekillerde etkilerle büyük zarar görmüştür. Türün yayılış alanının daralması ve sadece denize yakın dar bir şeride sıkışması nedeniyle mutlaka koruma altına alınması gereklidir. Gözlemlerimize göre, insan etkisinden uzak olan kısımlarda tohumlardan gelen bireyler gölgeye dayanıklı olup türün kendi yoğun gölgesi altında iyi gelişebilmektedir.
- Türün; ekolojik odun anatomisi ve yıllık halka genişlikleri açısından mezomorfik koşulların hakim olduğu yetişme ortamı koşullarında yetiştirilmesi hem uzun dönemde iklim değişikliği etkisi hem de kızılçamla karışık ormanların oluşturulması açısından son derece değerli bir ormancılık uygulamasına olanak sağlayabilir.
- Amenajman planları, ormancılık uygulamaları ve orman arazisi tahsislerinde türün sürekliliğini olumsuz etkileyecek çalışmalara yer verilmemelidir. Örneğin İzmir-Urla-Çeşme civarındaki bireylerin çoğu sürgün kökenlidir. Bunun nedeninin ormancılık uygulamasının kızılçam lehine olması olarak değerlendirilebilir.
- Olumsuz koşullara diğer türlere oranla daha dirençli, estetik değeri yüksek ve budamaya dayanıklı olan türün fidanlıklarda tohumdan yetiştirilmesi; doğal yetiştiği ve yakın çevresindeki kentlerde süs bitkisi olarak park, bahçe ve kent içi yollara dikilmesi teşvik edilmelidir.
- Ülkemizde amenajman planları karaçam, sarıçam, kızılçam gibi belli başlı orman ağaçlarında tür düzeyinde iken meşede cins düzeyindedir. Bu durum ekolojik özellikleri birbirinde çok farklı olan meşe türlerinin planlamasında büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, türle ilgili olarak elde edilen sonuçlar, Orman Genel Müdürlüğü tarafından “*Quercus ilex* (Kaba pırnal) Tür Eylem Planı” yapılması için değerlendirilebilir.
- Türün bazı önemli yayılış alanları (İstanbul Fenertepe ve Elmalı, Zonguldak-Ereğli ve Alaplı, İzmir-Çeşme, Aydın-Dilek Yarımadası Büyük Menderes Deltası Milli Parkı ile Muğla) gen koruma alanları olarak muhafaza edilmeli ve uygun alanlarda tohum meşcereleri ve bahçeleri oluşturulmalıdır.

Bu çalışma kapsamında Türkiye için önemli ve korunması gereken *Quercus ilex* türünün değişen iklime tepkileri ve yayılışıyla ilgili gelecek projeksiyonları ile bu bağlamda kullanım yerleri konusunda önerilerde bulunulmuştur. Türkiye’de bulunan ağaç ve çalı tür sayısının 629 (Akkemik, 2021) olduğu düşünüldüğünde orman ağaçlarının değişen iklime tepkileri ve türlerin yayılışları konusunda kapsamlı bir ormancılık politikasına ihtiyaç duyduğu görülmektedir.

### **Teşekkür**

*Quercus ilex* türünün yayılışı, morfolojik, anatomik ve yetişme ortamı özelliklerini içeren bu çalışma, TÜBİTAK-TOVAG-117O982 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

## 5. Kaynaklar / References

- Akkemik, Ü., Genç, S., Yılmaz, O.Y., Selvi, E., Yılmaz, H., Sevgi, E., Sevgi, O., & Akarsu, F. (2021). Effects of growing site parameters on vessel elements of *Quercus ilex* through Türkiye and evaluating in respect of forestry. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45, 599-616. doi: 10.3906/tar-2011-65
- Akkemik, Ü., Sevgi, E., Yılmaz, O.Y., Sevgi, O., & Yılmaz, H. (2022). *Pınal Meşesinin (Quercus ilex L.) Türkiye'deki Yayılışı, Vejetasyon Yapısı Ve Ağaç Gelişiminin Saptanması Ve Farklı Yetiştirme Ortamı Koşullarıyla İlişkilerinin Belirlenmesi*. TÜBİTAK-TOVAG 117O982 nolu proje.
- Akkemik, Ü., Sevgi, O., Yılmaz, H., Sevgi, E., & Yılmaz, O.Y. (2019). Herdem yeşil meşelerin Türkçe adları üzerine bir değerlendirme. *Avrasya Terim Dergisi*, 7 (1): 26-33.
- Akkemik, Ü., Yılmaz, O.Y., Yılmaz, H., Sevgi, O., Sevgi, E., Akarsu, F., & Doğan, H. (2020). *Quercus ilex* türünün Türkiye'deki mevcut yayılışı, yeni yayılış alanlarının tespiti ve değerlendirmesi. *Eurasian Journal of Forest Science*, 8 (3), 195-220. doi: 10.3195/ejefjs.786041
- Akyol, A., & Örucü, Ö. K. (2019). İklim Değişimi Senaryoları ve Tür Dağılım Modeline Göre Kızılcık (*Cornus mas L.*) Türünün Odun Dışı Orman Ürünleri Kapsamında Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 224-233. doi: 10.31590/ejosat.615019
- Bačić, T., & Miličić, D. (1985). Contribution to the Leaf Anatomy of *Quercus ilex* L. *Acta Botanica Croatica*, 44 (1), 23-31.
- Balzano, A., Battipaglia, G., Cherubini, P., & De Micco, V. (2020). Xylem Plasticity in *Pinus pinaster* and *Quercus ilex* Growing at Sites with Different Water Availability in the Mediterranean Region: Relations between Intra-Annual Density Fluctuations and Environmental Conditions. *Forests*, 11 (4), 379. doi: 10.3390/f11040379
- Balzano, A., Cufar, K., & De Micco, V. (2021). Xylem and phloem formation dynamics in *Quercus ilex* L. at a dry site in southern Italy. *Forests* 12 (2): 188. doi: 10.3390/f12020188
- Barbeta, A., & Peñuelas, J. (2016). Sequence of plant responses to droughts of different timescales: lessons from holm oak (*Quercus ilex*) forests. *Plant Ecology and Diversity*. doi:10.1080/17550874.2016.1212288
- Camarero, J. J., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Oliva, J., & Vicente-Serrano, S. M. (2015). To die or not to die: early warnings of tree dieback in response to a severe drought. *Journal of Ecology*, 103, 44–57. doi: 10.1111/1365-2745.12295
- Cherubini, P., Gartner, B.L., Tognetti, R., Braker, O.U., Schoch, W., & Innes, J.L. (2003). Identification, measurements and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climate. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 78, 119-148. doi:10.1017/S1464793102006000
- Corcuera, L., Camarero, J.J., & Pelegrin, E.G. (2004). Effects of a severe drought on *Quercus ilex* radial growth and xylem anatomy. *Trees*, 18 (1), 83-92. doi: 10.1007/s00468-003-0284-9
- Dağtekin, D., Şahan, E.A., Denk, T., Köse, N., & Dalfes, H.N. (2020). Past, present and future distributions of Oriental beech (*Fagus orientalis*) under climate change projections. *Plos One*, 15 (11), e0242280. doi: 10.1371/journal.pone.0242280
- DeSoto, L., Cailleret, M., Sterck, F., Jansen, S., Kramer, K., & et al. (2020). Low growth resilience to drought is related to future mortality risk in trees. *Nature Communications*, 11,545. doi: 10.1038/

s41467-020-14300-5

- Dyderski, M.K., Paz, S., Frelich, L.E., & Jagodzinski, A.M. (2017). How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Global Change Biology*, 24 (3), 1150-1163. doi: 10.1111/gcb.13925
- Fang, O., & Zhang, Q-B. (2019). Tree resilience to drought increases in the Tibetan Plateau. *Global Change Biology*, 25, 245– 253. <https://doi.org/10.1111/gcb.14470>
- Gea-Izquierdo, G., Martin-Benito, D., Cherubini, P., & Canellas, I. (2009). Climate-growth variability in *Quercus ilex* L. west Iberian open woodlands of different stand density. *Annals of Forest Science*, 66, 802. doi: 10.1051/forest/2009080
- Gutierrez, E., Campelo, F., Camarero, J.J., Ribas, M., Muntan, Nabais, C., & Freitas, H. (2011). Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. *Trees*, 25 (4), 637–646. doi: 10.1007/s00468-011-0540-3
- Günel, N. (2011). Pırnal Meşesinin (*Quercus ilex*) Türkiye’de Coğrafi Yayılışı, Ekolojik ve Floristik Özellikleri. (Ed: Deniz Ekinci) *Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistematik ve Bölgesel*. Türk Coğrafya Kurumu Yayınları No: 6: 267-278.
- Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset, *Scientific Data* 7, 109. doi: 10.1038/s41597-020-0453-3
- Lloret, F., Keeling, E., & Sala, A. (2011). Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*, 120, 1909–1920. doi: 10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x
- López-Tirado, J., & Hidalgo, P. J. (2018). Predicting suitability of forest dynamics to future climatic conditions: the likely dominance of Holm oak [*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.] and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.). *Annals of Forest Science*, 75, 19. doi:10.1007/s13595-018-0702
- Montserrat-Marti G., Camarero J.J., Palacio S., Perez-Rontome, C, Milla R, Albuixech J, & Maestro, M. (2009). Summer-drought constrains the phenology and growth of two co-existing Mediterranean oaks with contrasting leaf habit: implications for their persistence and reproduction. *Trees*, 4, 787-799. doi: 10.1007/s00468-009-0320-5
- Örs, S., & Ekinci, M. (2015). Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32 (2), 237-250.
- Peña-Rojas, K., Aranda, X., Joffre, R., & Fleck, I. (2005). Leaf morphology, photochemistry and water status changes in resprouting *Quercus ilex* during drought, *Functional Plant Biology*, 32 (2), 117-130. doi: 10.1071/FP04137
- San-Eufrasio, B., Sánchez-Lucas, R., López-Hidalgo, C., Guerrero-Sánchez, V. M., Castillejo, M. Á., Maldonado-Alconada, A. M., ... & Rey, M. D. (2020). Responses and differences in tolerance to water shortage under climatic dryness conditions in seedlings from *Quercus* spp. and Andalusian *Q. ilex* populations. *Forests*, 11,707. doi: 10.3390/f11060707
- Sarıkaya, A. G., & Orucu, O. K. (2019). Prediction of potential and future distribution areas of Anatolian Chesnut (*Castanea sativa* Mill.) by using maximum entropy (Maxent) modeling depending on climate change in Türkiye. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science-IJEEES*, 9 (4), 699-708, doi:10.31407/ijees9415

- Schirone, B., Vessella, F., & Varela, M. C. (2019). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Holm oak (*Quercus ilex*). European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), European Forest Institute.
- Şen, Ö.L., Bozkurt, D., Göktürk, O.M., Dündar, B., & Altürk, B. (2017). Türkiye’de iklim değişikliği ve olası etkileri. 3. Taşkın Sempozyumu.
- Tabet, S., Belhemra, M., Francois, L., & Arar, A. (2018). Evaluation by prediction of the natural range shrinkage of *Quercus ilex* L. in eastern Algeria. *Forestist*, 68 (1), 7-15. doi: 10.5152/forestist.2018.002
- van der Maaten-Theunissen, M., van der Maaten, E., & Bouriaud, O. (2015). pointRes: An R package to analyze pointer years and components of resilience. *Dendrochronologia* 35: 34–38. doi: 10.1016/j.dendro.2015.05.006
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., & Lopez-Moreno, J.I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718. doi:10.1175/2009JCLI2909.
- Vicente-Serrano, S. M., Gouveia, C., Camarero, J.J., Begueria, S., Trigo, R., Lopez-Moreno, J., & et al. (2013). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Biological Sciences*, 110, 52–57. doi:10.1073/pnas.120706811
- Villar-Salvador, P., Castro-Díez, P., Pérez-Rontomé, C., & Montserrat-Martí, G. (1997). Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. *Trees*, 12 (2), 90–96. doi: 10.1007/PL00009701
- Wood, S.N. (2017). Generalized Additive Models: An Introduction with R, Second Edition (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC. doi:10.1201/978131537027
- Zang, C., & Fiondi, F. (2015). treeclim: Numerical Calibration of Proxy-Climate Relationships <https://github.com/cszang/treeclim>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Springer New York.

-

## Yazar Hakkında / About Author

**Prof. Dr. Ünal AKKEMİK | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |  
uakkemik[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0003-2099-5589**

Ünal Akkemik ilk, orta ve lise öğrenimini Tokat'ta tamamladıktan sonra 1987 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden 1991 yılında mezun olmuştur. 1992 yılında, aynı bölümün Orman Botaniği Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandıktan sonra 1997 yılında doktor unvanı almış, 1998 yılında Yardımcı Doçent, 2003 yılında Doçent ve 2009 yılında da Profesör kadrosuna atanmıştır. Çalışma konuları odun anatomisi, dendrokronoloji, palaeobotanik ve bitki morfolojisi ve tanımı olup alanında 70'ten fazlası SCI kapsamındaki dergilerde olmak üzere 200'e yakın makale, 9 kitap, 8 kitapta bölüm yazarlığı yapmıştır. Palaeobotanik çalışmaları kapsamında 32 yeni fosil tür tanımlamıştır. Anabilim Dalında 9'u doktora ve 8'i yüksek lisans olmak üzere yönetiminde toplam 17 tez tamamlanmıştır. Halen 2 doktora ve 1 yüksek lisans tezi yönetimi devam etmektedir. Orman Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, Orman Botaniği Anabilim Dalı Başkanlığı görevlerinde bulunmuş olan Dr. Akkemik, Türkiye Ormancılar Derneği Marmara Şubesi Başkanlığı, ÇEKÜL Yönetim Kurulu Üyeliği ve TEMA Bilim Kurulu Üyeliği de yapmıştır.

**Prof. Dr. Ünal AKKEMİK | İstanbul University-Cerrahpaşa |  
uakkemik[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0003-2099-5589**

After completing his primary, secondary and high school education in Tokat, Ünal Akkemik graduated from Istanbul University, Faculty of Forestry, Division of Forestry Engineering, which he started in 1987, in 1991. After starting to work as a Research Assistant at the Forest Botany Department of the same division in 1992, he finished his PhD in 1997, then he was appointed Assistant Professor in 1998, Associate Professor in 2003, and Professor in 2009. He works on wood anatomy, dendrochronology, palaeobotany, plant morphology and identification, and he has authored nearly 200 articles, 9 books and 8 chapters, more than 70 of which are in journals within the scope of SCI. Within the scope of his palaeobotanical studies, 32 new fossil species were identified. A total of 17 theses, 9 of which are doctoral and 8 graduate, were completed under his supervising. Currently, 2 doctorates and 1 master thesis management continues. Having served as the Head of the Forest Engineering Division, the Head of the Department of Forest Botany, Dr. Akkemik also served as the President of the Marmara Branch of the Turkish Foresters Association, a Member of the Board of Directors of ÇEKÜL and a Member of the Scientific Committee of TEMA.

**Prof. Dr. Osman Yalçın YILMAZ | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |  
yilmazy[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0003-4711-8543**

Osman Yalçın YILMAZ, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden 1990 yılında mezun olmuştur. 1994 yılında, aynı bölümün Ölçme Bilgisi ve Kadastro Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandıktan sonra 1999 yılında doktor unvanı almış, 2006 yılında Yardımcı Doçent, 2014 yılında Doçent ve 2021 yılında da Profesör kadrosuna atanmıştır. Çalışma konuları mekânsal veri analizi olup alanında 15'ten fazlası SCI kapsamındaki dergilerde olmak üzere 30'a yakın makale yayınlamıştır. Danışmanlığında 3 yüksek lisans tezi tamamlanmıştır. Halen 1 doktora tezi yönetimi devam etmektedir.

**Prof. Dr. Osman Yalçın YILMAZ | İstanbul University-Cerrahpaşa |  
yilmazy[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0003-4711-8543**

Osman Yalçın YILMAZ graduated from Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Forestry Engineering in 1990. After starting to work as a Research Assistant at the Surveying and Cadastre Department of the same division in 1994, he finished his PhD in 1999, then he was appointed Assistant Professor in 2006, Associate Professor in 2014, and Professor in 2021. He works on spatial data analysis, and he has authored nearly 30 articles more than 15 of which are in journals within the scope of SCI. A total of 3 MSc thesis were completed under his supervising. Currently, 1 PhD thesis management continues.

**Doç. Dr. Hatice YILMAZ | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |  
yilmazhc[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0002-4614-9447**

Hatice Yılmaz İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden 1990 yılında mezun olmuştur. Orman Botaniği alanında 1998 yılında doktor unvanı, 2018 yılında da Doçent unvanı almıştır. Çalışma konuları sistematik botanik, bitki çeşitliliği ve süs bitkileri olup alanında 26 makale, 2 kitap, 5 kitapta bölüm yazarlığı yapmıştır. 1992-2009 yılları arasında Orman Bakanlığı Atatürk Arboretumu'nda çalışmış, 2009 yılından bu yana da İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Ormancılık Meslek Yüksekokulu'nda çalışmaktadır.

**Doç. Dr. Hatice YILMAZ | İstanbul University-Cerrahpaşa |  
yilmazhc[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0002-4614-9447**

Hatice Yılmaz graduated from Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Forestry Engineering in 1990. She received a doctoral degree in 1998 and the title of associate professor in 2018. Her study subjects are systematic botany, plant diversity and ornamental plants, and she has authored 26 articles, 2 books and 5 book chapters in his field. She worked as a forest engineer at the Ministry of Forestry Atatürk Arboretum between 1992-2009. She has been working at Istanbul University-Cerrahpaşa Vocational School of Forestry since 2009.



**Prof. Dr. Orhan SEVGİ | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |  
osevgi[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9706-9973**

Orhan Sevgi ilk, orta ve lise öğrenimini Tekirdağ'da tamamladıktan sonra 1987 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden 1991 yılında mezun olmuştur. Orhan Sevgi, 2003 yılında doktor unvanı almış, 2017 yılında da Profesör kadrosuna atanmıştır. Orhan Sevgi İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Öğretim Fakültesinin Felsefe Bölümünden 2017 yılında ve Sosyoloji Bölümünden 2022 mezun olmuştur. Çalışma konuları ekoloji, dağ ekosistemleri, ekoloji kavram ve terimleri, doğa etiği konularında 25'ten fazlası SCI kapsamındaki dergilerde olmak üzere 75 makale, Üniversitelerin Son Bir Ayı ve ÇED Raporlarında Kavram ve Terimler: İstanbul Kanal ve Havalimanı Örnekleri isimli iki özgün kitap ve 10 kitapta bölüm yazarlığı yapmıştır. Elginkan Vakfı tarafından Türk Diline yaptığı katkılardan dolayı 2020 yılında Türk Kültürü Araştırma Ödülünü almıştır. 2013 yılından beri Avrasya Terim Dergisi'nin baş editörlüğünü yapmaktadır.

**Prof. Dr. Orhan SEVGİ | İstanbul University-Cerrahpaşa |  
osevgi[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9706-9973**

After completing his primary, secondary and high school education in Tekirdağ, Orhan Sevgi graduated from Istanbul University, Faculty of Forestry, Division of Forestry Engineering, which he started in 1987, in 1991. He received his Ph.D in 2003 from Istanbul University, Institute of Sciences, Soil Science and Ecology programe, then he was appointed Professor in 2017. He graduated from the Philosophy Department of the Open and Distance Education Faculty at Istanbul University in 2017 and then from the Sociology Department in 2022. The main research topics include ecology, mountain ecosystems, ecology concepts and terms, nature ethics. He has authored nearly 75 articles more than 25 of which are in journals within the scope of SCI, 10 chapters, and 2 books titled Üniversitelerin Son Bir Ayı and ÇED Raporlarında Kavram ve Terimler: İstanbul Kanal ve Havalimanı Örnekleri. He was awarded the Turkish Culture Research Award in 2020 by the Elginkan Foundation for his contributions to the Turkish Language. He has been the editor-in-chief of Avrasya Terim Dergisi since 2013.

**Doç. Dr. Ece SEVGİ | Bezmialem Vakıf Üniversitesi**

**esevgi[at]bezmialem.edu.tr | ORCID: 0000-0002-8247-5178**

Ece Sevgi ilk, orta ve lise öğrenimini Silivri’de (İstanbul) tamamladıktan sonra 1993 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünden 1997 yılında mezun olmuştur. 2000-2002 yılları arasında aynı bölümün Botanik Anabilim Dalı’na Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 2003 yılında yüksek lisansını, 2009 yılında da doktorasını İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Botanik alanında tamamlamıştır. 2010 yılında Bezmialem Vakıf Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmasötik Botanik Anabilim Dalında Yardımcı Doçent kadrosuna atanmıştır. 2018 yılında doçent unvanı almış ve 2021 yılında aynı anabilim dalında Doçent kadrosuna atanmıştır. Çalışma konuları arasında bitki morfolojisi ve anatomisi, ekoloji, etnobotanik, tıbbi bitkiler, likenler ve orkideler olup alanında 19’u SCI kapsamındaki dergilerde olmak üzere 40 makale ve 4 bölüm yazarlığı yapmıştır. Danışmanlığında 3 yüksek lisans tezi tamamlanmıştır.

**Doç. Dr. Ece SEVGİ | Bezmialem Vakıf University**

**esevgi[at]bezmialem.edu.tr | ORCID: 0000-0002-8247-5178**

After completing his primary, secondary and high school education in Silivri (İstanbul). Ece Sevgi graduated from Istanbul University, Faculty of Science, Department of Biology, which she started in 1993, in 1997. She worked as a Research Assistant in Botany Division of Biology Department at Istanbul University between 2000-2002. She obtained his academic degrees, M.Sc in 2003 and Ph.D in 2009 from Istanbul University, Institute of Sciences, Botanical program. In 2010, she was appointed an Assistant Professor at Bezmialem Vakıf University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Botany. She received the title of associate professorship in 2018 and was appointed as Associate Professor in the same department in 2021. The main research topics include plant morphology and anatomy, ecology, ethnobotany, medicinal plants, lichens, and orchids, and she has authored 40 articles and 4 chapters, 19 of which are in journals within the scope of SCI. A total of 3 graduate theses were completed under her supervision.

**Ferdi AKARSU | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |  
fakarsu[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0002-8262-046X**

Ferdi Akarsu ilk, orta ve lise eğitimini Çanakkale’de tamamladıktan sonra 2007 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden 2012 yılında mezun olmuştur. 2016 yılında Orman Botaniği Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. 2018 yılında Yüksek Lisansını tamamlamış ve aynı yıl içerisinde başladığı Orman Mühendisliği Doktora Programında halen çalışmalarına devam etmektedir.

**Ferdi AKARSU | İstanbul University-Cerrahpaşa |  
fakarsu[at]iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0002-8262-046X**

Ferdi Akarsu completed his primary, secondary and high school education in Çanakkale in 2007. Same year he started to Istanbul University Faculty of Forestry Department of Forestry Engineering, then he graduated in 2012. He was starting to work as a Research Assistant at the Forest Botany Department in same faculty in 2016. Then he completed his master’s degree in 2018 and he is still continuing his doctorate program which he started in 2018.

**Sena GENÇ | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |  
gencsna[at]gmail.com | ORCID: 0000-0002-2954-3012**

Sena Genç 2011 yılında İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2017 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimini 2019 yılında “Aşağı Kızılırmak Havzası Akım Verilerinin Dendrohidrolojik Rökonstrüksiyonu” başlıklı tezini başarıyla tamamlamıştır. 2019 yılında İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başlamış olup eğitimine hala devam etmektedir.

**Sena GENÇ | İstanbul University-Cerrahpaşa |  
gencsna[at]gmail.com | ORCID: 0000-0002-2954-3012**

Sena Genç graduated from Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering in 2011. In 2017, she started her master’s degree at Istanbul University Institute of Science Department of Forest Engineering and successfully completed her thesis titled «Dendrohydrological reconstruction of the lower Kızılırmak basin streamflow data» in 2019. In 2019, she started his doctorate education at Istanbul University-Cerrahpaşa Graduate School of Graduate Studies Department of Forest Engineering and is still continuing her education.

**Hakan ÇELİK | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |**

**hakancelik48[at]windowslive.com | ORCID: 0000-0002-3533-5674**

Hakan Çelik ilk, orta ve lise öğrenimini Muğla'da tamamladıktan sonra 2015 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden 2020 yılında mezun olmuştur. 2020 yılında, aynı bölümün Orman Botaniği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya başlamıştır. Çalışma konuları odun anatomisi, dendrokronoloji, palaeobotanik olup bu alanlarda 5 makalesi bulunmaktadır.

**Hakan ÇELİK | İstanbul University-Cerrahpaşa |**

**hakancelik48[at]windowslive.com | ORCID: 0000-0002-3533-5674**

After completing his primary, secondary and high school education in Muğla, Hakan Çelik graduated from Istanbul University, Faculty of Forestry, Division of Forestry Engineering, which he started in 2020, in 2015. In 2020, he started his master's degree in the Forest Botany Department of the same department. His research topics are wood anatomy, dendrochronology, palaeobotany and he has 5 articles in these fields.

**Doktorant Hüseyin DOĞAN | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |**

**huseyin.dogan[at]ogr.iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0002-3645-0586**

Hüseyin Doğan ilk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladıktan sonra 2007 yılında başladığı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi (şimdiki adıyla Bartın Üniversitesi) Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümünden 2012 yılında mezun olmuştur. 2014 yılında, İstanbul Üniversitesi'nde Ölçme Bilgisi ve Kadastro Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimini 2018 yılında tamamlamış, bu esnada 2015-2016 yılları arasında "Universität für Bodenkultur Wien" de ERASMUS+ öğrencisi olarak bulunmuştur. 2018 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan 6 ay sonra, 2018 yılı Eylül ayında aynı anabilim dalında doktora eğitimine başlamış ve eğitime hala devam etmektedir. Doktorada Orman Ekolojisi ve Ekolojik Modelleme (Tür Dağılım Modelleri) üzerine çalışmaya başlamıştır. Doktora sürecinde 3 farklı projede görev almıştır.

**Phd Candidate Hüseyin DOĞAN | İstanbul University-Cerrahpaşa |**

**huseyin.dogan[at]ogr.iuc.edu.tr | ORCID: 0000-0002-3645-0586**

After completing his primary, secondary and high school education in Ankara, Hüseyin Doğan graduated from Zonguldak Karaelmas University (now Bartın University), which he started in 2007, from the Forestry Faculty Forest Engineering Department in 2012. In 2014, he started his master's degree in the Department of Surveying and Cadastre at Istanbul University, and completed his master's degree in 2018, while he was an ERASMUS+ student at the «Universität für Bodenkultur Wien» between 2015-2016. 6 months after completing his master's education in 2018, he started his doctorate education in the same department in September 2018 and still continues his education. He started to work on Forest Ecology and Ecological Modeling (Species Distribution Models) in his PhD. He took part in 3 different projects during his doctorate.