



Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinin ekolojik ve mevcut durumunun değerlendirilmesi

Özdemir Şentürk ^{1*}, Hüseyin Keçelioğlu ¹

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gölhisar Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Burdur, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 13/05/2026

Kabul Tarihi: 04/07/2026

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1943696>

*Sorumlu Yazar:

osenturk@mehmetakif.edu.tr

ÖZ

Araştırma Makalesi

Giriş ve Hedefler Bu çalışmada, Aydın ili Kuyucak yöresinde yayılış gösteren kızılçam türünün dağılım modellemesi ve haritalaması gerçekleştirilerek meşcerelerinin mevcut durumunun ve bu durumu şekillendiren faktörlerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma alanı, Büyük Menderes Ovası çevresinde yoğunlaşan arazi kullanım faaliyetleri ile dikkat çekmekte olup, orman ekosistemleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Yöntemler Hedef türe ait 40 örnek alandan sadece var verileri toplanmıştır ve dağılım modellemesi

ile haritalamasında MaxEnt tekniği kullanılmıştır.

Bulgular Elde edilen modeli yükseltti, vadi derinliği, profil eğriliği, yağışın mevsimselliği ve sıcaklık yükü değişkenleri yapılandırmıştır. Dağılım modeli incelendiğinde, kızılçamın düşük ve orta yükseltilerde daha yüksek uygunluk gösterdiği, sıcaklık yükünün orta değerlerinde optimum koşulların oluştuğu, yağışın mevsimselliğinde ise belirli bir aralığın uygunluk açısından öne çıktığı, buna karşılık bu değişkenlerin yüksek değerlerinde uygunluk belirgin biçimde azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde, içbükey ve nispeten düzlük veya düze yakın araziler ile alt yamaçtaki araziler de uygun dağılım alanlarının olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, kızılçamın dağılımının yalnızca iklimsel koşullarla değil, topoğrafya ve buna bağlı gelişen su dengesi ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Sonuçlar Büyük Menderes Ovası ve çevresinde yoğunlaşan tarımsal faaliyetler ve arazi kullanımındaki değişimler, kızılçam meşcerelerinin dağılım alanlarını daraltmış ve meşcere verimliliğini olumsuz yönde etkilemiştir. Dolayısıyla, çalışma alanındaki kızılçam meşcerelerinin mevcut yapısının doğal ekolojik koşulların yanı sıra uzun süredir devam eden arazi kullanım baskılarının bir sonucu olarak şekillendiği belirlenmiştir. Bu bağlamda, benzer özelliklere sahip sahalarda ormancılık uygulamalarının yeniden değerlendirilmesi gerekmekte olup, özellikle üretim odaklı yaklaşımlar yerine ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitliliğin korunması ve karbon depolama kapasitesinin artırılmasına yönelik alternatif yönetim stratejilerinin ön plana çıkarılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Aydın – Kuyucak, antropojenik etki, Büyük Menderes Ovası, Ege Bölgesi, MaxEnt, profil eğriliği, vadi derinliği

Assessment of the current status of Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in the Kuyucak district of Aydın

ABSTRACT

Background and Aims This study was aimed to determine the current status of stands of the Turkish pine species, which is distributed in the Kuyucak district of Aydın province, and to reveal the factors shaping this status by performing distribution modeling and mapping. The study area is notable for its land-use activities, concentrated around the Büyük Menderes Plain, and evaluating their impacts on forest ecosystems is of great importance.

Methods Presence-only data obtained from 40 sampling plots of the target species were used to develop the species distribution model, and the MaxEnt technique was applied to predict and map habitat suitability.

Results The resulting model was structured using altitude, valley depth, profile curvature, seasonality of precipitation, and heat load index variables. Examination of the resulting distribution model was showed that Turkish pine exhibits higher suitability at low and medium altitudes, optimum conditions occur at medium temperature load values, and a certain range stands out in terms of suitability in terms of seasonality of precipitation, while suitability decreases significantly at high values of these variables. Similarly, suitable distribution areas were identified in concave, relatively flat, or nearly flat areas, as well as on lower slopes. The findings were indicated that the distribution of Turkish pine is closely related not only to climatic conditions but also to topography and the resulting water balance.

Conclusion Agricultural activities and changes in land use, concentrated in and around the Büyük Menderes Plain, have narrowed the distribution areas of Turkish pine stands and negatively impacted stand productivity. Consequently, it has been determined that the current structure of Turkish pine stands in the study area is shaped by both natural ecological conditions and long-standing land-use pressures. In this context, a reassessment of forestry practices in areas with similar characteristics is necessary, and it is recommended that alternative management strategies focusing on ecosystem services, biodiversity conservation, and increasing carbon sequestration capacity be prioritized over production-oriented approaches.

Key Words: Aydın – Kuyucak, anthropogenic impact, Büyük Menderes Plain, Aegean Region, MaxEnt, profile curvature, valley depth

Bu makaleye atıf:

Şentürk, Ö., Keçelioğlu, H., 2026. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinin ekolojik ve mevcut durumunun değerlendirilmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 13, 1943696.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Kuzey Yarımküre orman biyomlarının büyük bir bölümünü oluşturan çam türleri, Pinaceae familyasının tür bakımından en zengin cinsi olmasının yanı sıra dünyadaki tüm iğne yapraklı ağaçların en fazla yayılış gösteren cinsidir (Farjon, 2008). Çam türlerinin, biyo-coğrafik ve insanların kullanım geçmişi incelendiğinde küresel ölçekte ormanların yapısını ve işleyişini belirlediği görülmektedir. Bu durum, çam türlerinin ekolojik ve ekonomik işlevlerini ön plana çıkarmakta olup dünya orman biyomunun omurgasını oluşturan cinslerin başında gelmesine neden olmuştur. Çam türleri, dünyadaki karasal yaşam alanları göz önünde bulundurulduğunda, sadece yaklaşık %2'sini kaplamakta olup, Kuzey Yarımküre'nin Akdeniz havzası bu türler bakımından oldukça zengin sayılmaktadır. Akdeniz iklim kuşağının etkisi altındaki havzada çam türlerinden Halep çamı ve kızılçam ön plana çıkmaktadır. Havzanın büyük bölümünde özellikle Halep çamı yayılış göstermesine rağmen, özellikle doğu bölümünde Türkiye başta olmak üzere Doğu Akdeniz kıyılarında kızılçamın daha baskın olduğu görülmektedir (Ne'eman and Arianoutsou, 2021).

Türkiye orman varlığının yaklaşık %22'sini oluşturan kızılçam, doğal yayılış göstermesi ve geniş kullanım alanına sahip olması nedeniyle ülke ormancılığında stratejik öneme sahip bir tür olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaklaşık olarak 3,6 milyon ha normal kapalı, 1,7 milyon ha boşluklu kapalı meşcere niteliğinde olan kızılçam ormanları gerek ekonomik gerekse ekolojik açıdan kayda değer öneme sahiptir (OGM, 2024). Kızılçamın ekolojisine bakıldığında, ilk olarak orman yangınlarıyla olan ilişkisi akla gelmektedir. Orman yangınlarında özellikle kızılçam ormanlarının bulunduğu alanlar yangına karşı birinci dereceden hassas bölgeleri oluşturmaktadır. Bu durum, kızılçam meşcerelerinin orman yangınlarında daha fazla zarar görmesi anlamı taşımaktadır (Kavgacı and Tavşanoğlu, 2010). Ancak, kızılçam bilinenin aksine orman yangınlarına ekolojik uyum göstermiş türlerin başında gelmekte olup geliştirdiği bazı adaptasyonlarla birlikte yangın sonrası yenilenmeye katkı sağlamaktadır (Boydak, 2004). Serotinöz kozalaklara sahip olan kızılçam (Boydak, 2004; Kavgacı et al., 2016) belirli derecedeki orman yangınlarında canlılığını sürdürmekte ve rejenerasyon başarısını artırmaktadır (Boydak ve Çalışkan, 2016). Bunun yanı sıra, kızılçamın nispeten kalın kabuğa sahip olması, hızlı fidan gelişimine ve yüksek fidan sayısına ulaşabilmesi (Tsitsoni et al., 2004; Ganatsas et al., 2021) gibi adaptasyonlar ateşe uyarlanmış ağaç türü olduğu şeklinde tanımlanmasına sebep olmuştur (Güney et al., 2024). Bu durumun bir sonucu olarak Doğu Akdeniz ve Türkiye'de kızılçamın orman yangınlarına karşı sergilediği uyum sayesinde yangın sonrasında otosüksesyonla orman formasyonunu yeniden kurabilmektedir (Kavgacı et al., 2017). Diğer taraftan, kızılçamın yayılış gösterdiği alan dikkate alınacak olursa, bu yörelerde kuraklık bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle iklim krizinin küresel ölçekte yarattığı tehditler düşünüldüğünde, kırılgan Akdeniz ekosistemlerinde kızılçamın hızlı büyüme yeteneğine sahip olması kuraklıkla mücadelede kritik rol oynayacaktır. Kızılçamın su stresi koşullarında bile yüksek çimlenme ve fidan yaşama oranları göstermesi nedeniyle kuraklığa dayanıklı olması gelecekte bu yörelerde bozulmuş alanların ağaçlandırılmasına, yeniden ormanların tesis edilmesine ve tohum kaynaklarının

korunmasına hizmet edecek olup, Akdeniz ekosistemlerinin korunmasında ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasında büyük önem taşıyacaktır (Tilki and Dirik, 2007; Şevik and Ertürk, 2015; Kandemir et al., 2017; Semerci et al., 2020). Ayrıca, iklim krizinin beraberinde getireceği sorunlarıyla mücadele noktasında, bu konuyla ilgili olarak henüz detaylı araştırmaların sayısı az olsa da biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği, karbonun orman ve toprak havuzlarında depolanması ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmesi, erozyon kontrolü ve toprak ıslahı, restorasyon çalışmaları gibi konularda Akdeniz ekosisteminin ağaç türü olarak en değerli türü olan kızılçama büyük sorumluluk düşeceği aşikardır. Başka bir ifadeyle, Akdeniz ekosistemlerinin sürdürülebilirliği için kızılçam ormanlarının varlığı ekolojik açıdan elzem bir durumdur.

Öte yandan, ekolojik anlamda değerli olan kızılçam ekonomik anlamda da ciddi potansiyele sahip bir tür olarak karşımıza çıkmaktadır. Odun maddesi olarak düşünüldüğünde, kızılçam ormanlarından toplam dikili kabuklu gövde hacmi üzerinden 7,6 milyon m³ ve ağaç serveti miktarından 6,35 milyon m³ endüstriyel odun üretilmektedir (OGM, 2024). Endüstriyel odun üretiminde başta tomruk (2,38 milyon m³) olmak üzere lif – yonga (2,22 milyon m³), kağıtlık odun (1,02 milyon m³) ve sanayi odunu (~377000 m³) üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunlar içerisinde, lif – yonga ve kağıtlık odun özellikle kırsal kesimde sürdürülebilir gelir kaynağı veya iş gücü oluşturmaya ve orman kaynaklarının değerli ürünlere dönüştürülmesi noktasında bölgesel kalkınma açısından önem arz etmektedir. Diğer taraftan, dünyadaki çam balı üretiminin kayda değer kısmı ülkemizde yapılmakta olup bu üretimin büyük bölümü kızılçam ormanlarından elde edilmektedir (Miguel et al., 2014; Göksu ve ark., 2025). Bunun yanı sıra, kızılçamdan bal üretiminin dışında reçine gibi odun dışı orman ürünlerinin üretiminin de yapılması kırsal kesimde yaşayan halkın gelir ve geçim kaynaklarına önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak, antropojenik etkinin fazla olduğu yörelerde asli orman ağacı türlerinin üzerindeki baskının artması sonucunda meşcerelerin verimi düşmekte ve kötü bonitetli veya tahrip/bozuk alanlar oluşmaktadır. Bu durum, özellikle orman işletmeciliğinde çok istenilen bir yapı değildir. Bundan dolayı, antropojenik etkinin fazla olduğu alanlarda hedef türlerin yetiştirme ortamı özellikleri dikkate alınarak model tabanlı potansiyel dağılım alanlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, söz konusu alanlarda orman ve orman kaynaklarının ekonomik ve ekolojik açılarından sürdürülebilir kullanımına yönelik ormancılık uygulamalarında doğru kararların alınabilmesi ve uygun stratejilerin belirlenebilmesi için model tabanlı potansiyel dağılım alanlarının ortaya konulması önemli bir yol gösterici işlev üstlenmektedir. Zira, Orman Genel Müdürlüğü (OGM) son yıllarda orman ürünleri üretim fonksiyonunun yanı sıra orman kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlama, gelecekteki iklim krizi, karbon yönetimi ve biyolojik çeşitlilik gibi konulardaki hassasiyeti sebebiyle ormanlardan faydalanmanın şeklini değiştirme yoluna gitmiş olup, ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonları ön plana çıkartmıştır.

Yukarıda belirtilen hususlar, çalışmanın gerçekleştirildiği yörede de benzer değerlendirmelerin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Nitekim, çalışma alanı içerisinde yer alan Büyük Menderes Ovası ve çevresinin neredeyse tamamının tarımsal alan olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bunun yanı sıra, Büyük

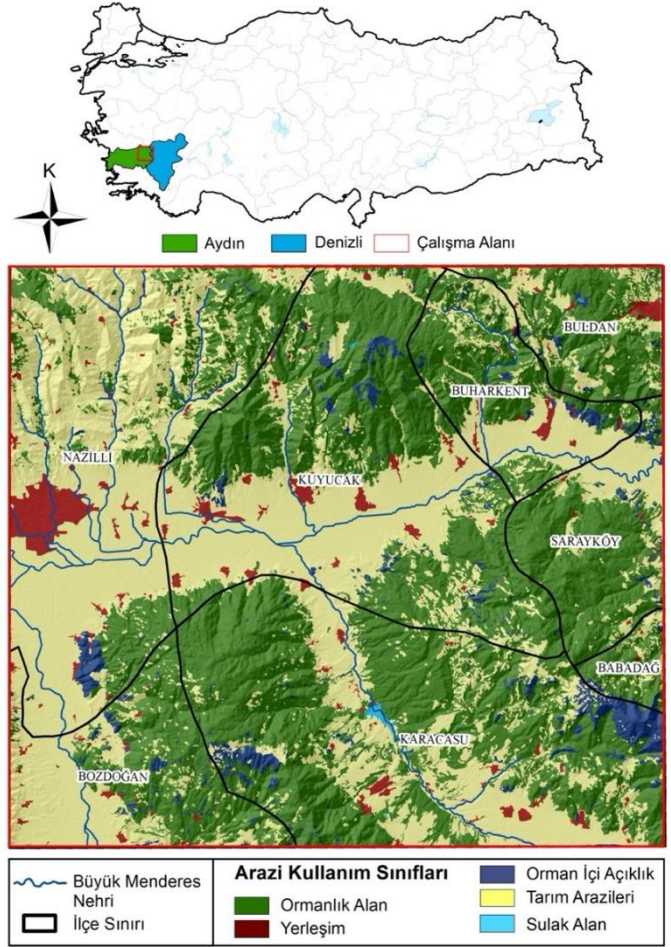
Menderes Ovası'nın yakınında ve bitişğinde kızılçam meşcerelerinin yayılış alanlarının bulunması orman varlığını tehdit etmektedir. Tarımsal faaliyetlerin yanı sıra çeşitli sebeplerle tarım alanlarının genişletilmesiyle bu alanlardaki kızılçam meşcerelerinin verimliliği düşmüş ve kötü bonitetli meşcereler meydana gelmiştir (Keçelioğlu ve Şentürk, 2024). Bahsi geçen yöre ve çevresinde geçmişten günümüze kadar olan süreçte benzer durumların söz konusu olması, özellikle bu tip alanların belki de sosyokültürel fonksiyonlara dönüştürülmesi en doğrusu olacaktır. Ancak burada unutulmaması gereken husus, buna benzer alanlardan hangi amaçlar doğrultusunda faydalanılacağına doğru bir şekilde karar verilmesi gerekmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda, yapılan çalışmada Büyük Menderes Ovası'nın yakınında ve bitişğinde yer alan kızılçam meşcereleri üzerinde tarımsal faaliyetlerin yol açtığı olumsuz etkiler değerlendirilmiştir. Yörede yaşayan halkın ihtiyaçlarının karşılanmasının yanı sıra orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliğinin gözetilmesinde orman ve orman kaynaklarının planlanması gerekliliği ön plana çıkmıştır. Dolayısıyla, bahsi geçen yapısal özelliklere sahip alanlarda, ormanların hangi fonksiyonlar doğrultusunda işletilmesi gerektiğine ilişkin sorulara bilimsel temelli yanıtlar üretilmesi önem taşımaktadır. Bu kapsamda, yörede ekolojik modelleme ve haritalama tekniklerinden yararlanılarak hedef türün potansiyel dağılım alanları belirlenmiş olup, elde edilen çıktılar değerlendirilmiş, benzer sorunlara sahip alanlarda orman ve orman kaynaklarından faydalanma biçimleri tespit edilerek yapılacak ormancılık faaliyetlerine yönelik karar süreçlerinde uygulayıcılara bilimsel bir yol haritası sunulması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

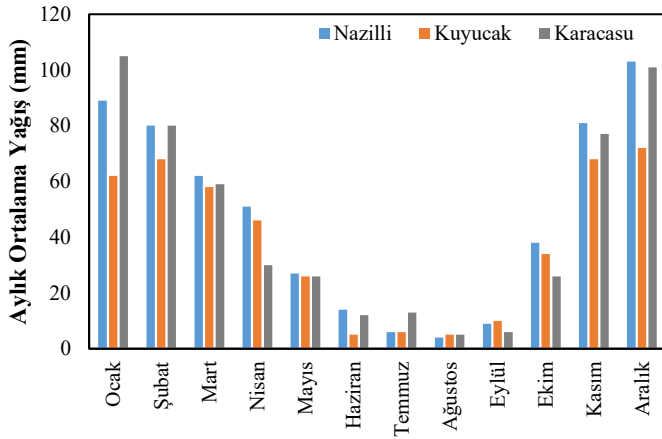
2.1 Çalışma alanı

Bu çalışma, Aydın ili Nazilli, Kuyucak, Bozdoğan ve Karacasu ilçeleri ile Denizli ili Buharkent, Sarayköy, Babadağ ve Buldan ilçeleri içerisinde bir alanda yürütülmüştür. Yöre, Ege Bölgesi'ndeki Büyük Menderes Havzası sınırlarında olup orta kısmında (batı – doğu hattı boyunca) Büyük Menderes Ovası bulunmaktadır. Çalışma alanı $28^{\circ} 17' 8'' - 28^{\circ} 51' 4''$ doğu boylamları ile $38^{\circ} 04' 55'' - 37^{\circ} 40' 47''$ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır ve yaklaşık olarak 208.000 ha büyüklüğe sahiptir. Bu alanın büyük bir bölümü orman alanlarından (yaklaşık 102000 ha) oluşmakta olup geriye kalan kısmını tarım alanları (yaklaşık 92000 ha), yerleşim ve diğer alanlar (yaklaşık 14000 ha) oluşturmaktadır (Şekil 1) (OGM, 2017). Büyük Menderes Ovası'nın verimli bir yapıya sahip olmasından ötürü yoğun tarımsal faaliyetler yapılmaktadır (Deniz, 2013). Yörenin yükseltisi 40 – 1830 m arasında değişmektedir.

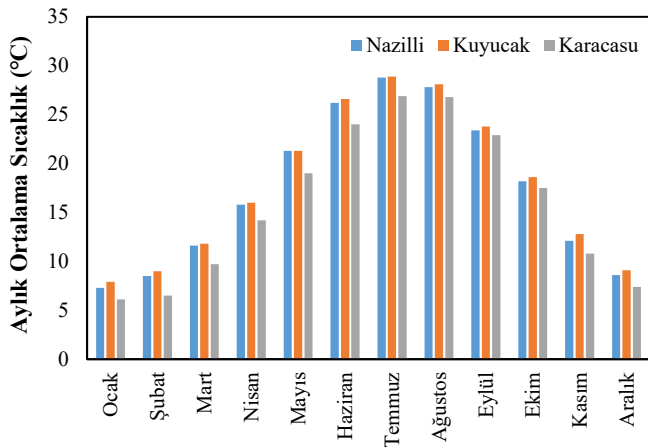


Şekil 1. Çalışma alanının yerbuldur haritası

Ege Bölgesi, İç Batı Anadolu Bölümü ve Ege Bölümü olmak üzere iki alt bölgeye ayrılmaktadır. Ege Bölümü Akdeniz iklimi etkisi altında olmasına rağmen İç Batı Anadolu Bölümü'ne doğru ilerledikçe karasal iklim özellikleri belirginleşmeye başlamaktadır. Tipik Akdeniz iklimi özelliklerine sahip çalışma alanı Köppen iklim sınıflandırmasına göre Csa (Kışı ılık, yazı sıcak ve kurak) iklim sınıfına girmektedir (Rubel et al., 2017). Yöreye yakın Nazilli, Kuyucak ve Karacasu meteoroloji istasyonlarından alınan uzun dönemli iklim verilerine göre yıllık ortalama toplam yağış miktarı sırasıyla 569,4 mm, 462,8 mm ve 544,6 mm iken, yıllık ortalama sıcaklıklar sırasıyla $17,5^{\circ}\text{C}$, $17,8^{\circ}\text{C}$ ve $16,0^{\circ}\text{C}$ şeklindedir (Deniz, 2013). Yağışın aylara göre dağılımına bakıldığında, ocak, şubat, mart, kasım ve aralık aylarında en fazla yağış miktarı değerlerine ulaşmaktadır (Şekil 2). Aylık ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında, haziran, temmuz ve ağustos aylarında en yüksek değerleri almaktadır (Şekil 3).



Şekil 2. Çalışma alanının uzun dönemli aylık ortalama yağış değerleri



Şekil 3. Çalışma alanının uzun dönemli aylık ortalama sıcaklık değerleri

Çalışma alanının kuzey hattında, büyük bir bölümü İzmir ve Aydın illeri sınırında bulunan ve Denizli Buldan ilçesine kadar uzanan Aydın Dağları (1831 m) yer almaktadır. Yörenin güney bölümünde Karıncalıdağ (1703 m), kuzeydoğu kısmında Çamlık Dağı (1724 m), Bozdoğan ilçesinin doğusunda Madran Dağı (1792 m) ve Denizli Babadağ'da Akdağ (1817 m) zirveleri bulunmaktadır. Çalışma alanında bulunan Büyük Menderes Ovasındaki Büyük Menderes Nehri üzerinde Kestel, Akçay, Feslek, Kayran, Dandalaz ve Melengeç gibi akarsular yer almaktadır. Yörede, jeolojik formasyonlardan Menderes masifine ait paleozoyik – alt tersiyer örtü serisi, Pan – Afrikan yapısına ait şist – paragnays, biyotit ortognays ve kuarterner birimlerine rastlanmaktadır (Koçak ve Şenol, 2013).

2.2 Arazi ve büro çalışmaları

Kızılçamın potansiyel dağılım modellenmesini gerçekleştirmek amacıyla 20 x 20 m (400 m²) büyüklüğünde türün aktüel durumda yayılış gösterdiği toplam 40 örnek alanda arazi envanter çalışması yapılmıştır. Her bir örnek alan merkezinin enlem ve boylam değerleri Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System: GPS) aracılığıyla arazi envanter karnesine işlenmiştir.

Hedef türün potansiyel dağılım modelleme ve haritalaması aşamasında kullanılan çevresel değişkenlerin üretilmesi için ilk

olarak NASA'nın EarthData veri tabanından sayısal yükseklik modeli (SYM) temin edilmiştir. Temin edilen SYM aracılığıyla ArcMap 10.2 yazılımında çalışma alanının yükselti değişkeni oluşturulmuştur. “*Geomorphometric and Gradient Metrics Toolbox*” eklentisi kullanılarak sıcaklık yükü indeksi değişkeni elde edilmiştir. Sıcaklık yükü indeksi, potansiyel güneş ışımasını birim cinsinden tahmin etmek için kullanılan yıllık doğrudan gelen radyasyon, sıcaklık ve ısı yükü olarak ifade edilmektedir (McCune and Keon, 2002). Çalışma alanının eğim formlarına bağlı yüzey akış yollarını ortaya koymak adına profildeki eğimin değişim oranını tanımlayan profil eğriliği değişkeni SAGA GIS yazılımında oluşturulmuştur. Yüzey eğriliği, yüzey şekli, rölyef ve topoğrafik eğrilik şeklinde tanımlanmak istense de, aslında profil eğriliği mikro ölçekteki yüzey eğimi ve su birikimini analiz eden bir yaklaşımdır. Bu yüzden diğer ifadeler anlam kaybına neden olmaktadır. Elde edilen profil eğriliği değişkeninde negatif değerler yüzeyin yukarı doğru dışbükey olduğunu, pozitif değerler yüzeyin yukarı doğru içbükey olduğunu ve sıfır/sıfıra yakın değerler yüzeyin doğrusal olduğunu göstermektedir. Bu değişken farklı coğrafi bilgi sistemleri yazılımlarında oluşturulabilmektedir. Ancak, bu yazılımlarda elde edilen değişkenlerin indeks değerlerinin yorumları birbirinden farklı olabilmektedir. Bu yüzden, kullanılan yazılıma göre değerlendirmelerin yapılmasına dikkat edilmelidir (Blaga, 2012). Vadi derinliği değişkeni yükselti değerleri ile entepole edilmiş sırt seviyesi arasındaki farkın hesaplanmasıyla oluşturulmaktadır (Conrad et al., 2015). Elde edilen indeks harita, vadi tabanlarından sırtlara veya dağ zirvelerine kadar uzanan arazi yapısının sınıflandırılması olarak ifade edilebilmektedir. Vadi derinliği değişkeninde, vadi tabanı en derin nokta olması bakımından yüksek indeks değeri almakta iken, sırtlar ya da dağ zirveleri en yüksek nokta olduğu için düşük indeks değeri almaktadır (Conrad et al., 2015). Son olarak, iklim değişkenleri, Fick and Hijmans (2017) tarafından ücretsiz olarak kullanıma sunulan <http://www.worldclim.org> veri tabanından temin edilmiştir. Temin edilen iklim değişkenlerinin uygun projeksiyona (Universal Transverse Mercator (UTM), World Geodetic System 1984 (WGS84), UTM WGS84 Zon 35) dönüşümü sağlandıktan sonra, yöre ölçeğinde kesilmiş ve 100x100 m hücre büyüklüğüne indirgenerek dışa aktarımı yapılmıştır.

2.3 İstatistiksel değerlendirme

Aydın – Kuyucak yöresinde yayılış gösteren kızılçam türünün potansiyel dağılım alanlarının modellenmesi ve haritalanması kapsamında gerçekleştirilen arazi envanter çalışmalarında 20 x 20 m (400 m²) büyüklüğünde 40 örnek alandan hedef türe ait sadece var verileri toplanmıştır. Bu yüzden, arazi envanter çalışmasında toplanan veri tipine uygun modelleme tekniklerinden biri olan Maksimum Entropi (MaxEnt) tekniğine başvurulmuştur. MaxEnt tekniği, hedef türün varlık verileri ile açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişkiyi olasılık hesaplarına dayanarak maksimum entropi teorisiyle ortaya koymaktadır (Phillips et al., 2006; Baldwin, 2009). Bu sayede, hedef tür için uygun veya uygun olmayan alanları potansiyel olarak belirleyerek dağılım modeli ve haritasını üretmektedir. MaxEnt, logaritmik, ham ve lojistik olmak üzere üç farklı istatistik yöntemiyle olasılık değerlerini belirlemekte olup bu çalışmada gerçeğe daha yakın tahmin değerleri veren

cloglog dönüşümü kullanılmıştır (Phillips and Dudik, 2008; Baldwin, 2009). Model performansının değerlendirilmesi için çapraz geçerlilik testi tercih edilmiş olup, verinin %10'u test verisi olarak ayrılmıştır. Elde edilen tahmin değerleri 0 – 1 arasında değişmekte olup, 0 değeri uygun olmayan alanları, 1 değeri ise en uygun alanları ifade etmektedir. Kullanılan yöntemle bağlı olarak Receiver Operating Characteristic (ROC) eğrisi oluşturulmuş ve eğrinin altında kalan alan (the Area Under the ROC curve: AUC) aracılığıyla modellerin doğrulukları kontrol edilmiştir.

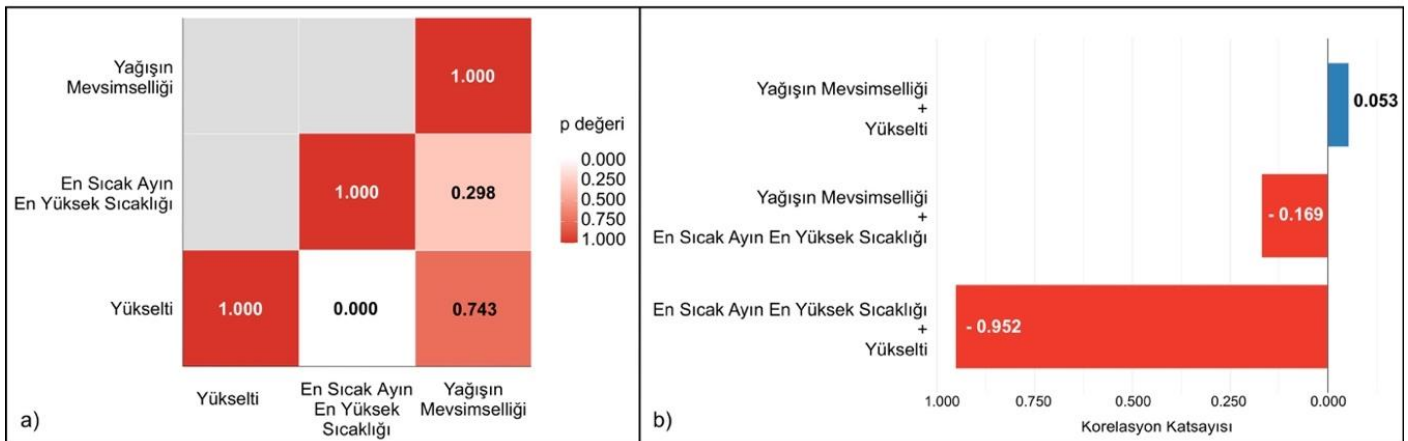
Dağılım modellemesi aşamasına geçmeden önce, iklim değişkenleri arasındaki olası çoklu bağlantı probleminin ortadan kaldırılması amacıyla Temel Bileşenler Analizi uygulanmıştır. Burada yüksek ilişkiye sahip olduğu düşünülen iklim değişkenlerinden temsilci değişken/değişkenler seçilmesi amaçlanarak sapma probleminin giderilmesi sağlanmıştır. Temsilci iklim değişken/değişkenlerin seçilmesinin ardından yükselti değişkeniyle aralarındaki ilişkinin tespit edilmesi için Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır (Pearson, 1900). Pearson korelasyon analizi ve Temel Bileşenler Analizi, R istatistik yazılımı (R Core Team, 2016) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler base R içerisinde yer alan “stats” paketi, görselleştirmede ise “ggplot2” paketi (Wickham, 2011) kullanılmıştır. Tüm analizler RStudio geliştirme ortamında (Posit Team, 2024) yürütülmüştür. Bu işlemler sonucunda geriye kalan iklim değişkeni/değişkenleri ile modelleme aşamasına geçilmiştir.

3. Bulgular

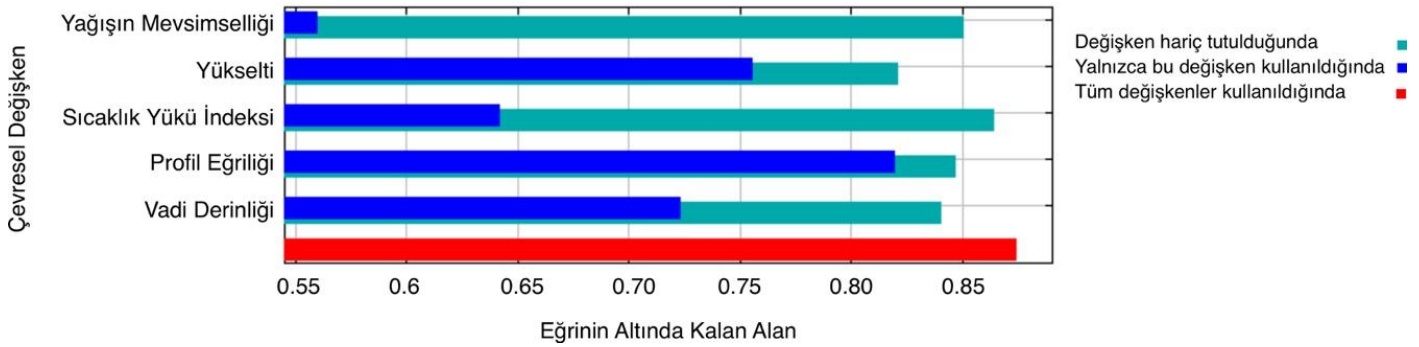
İklim değişkenlerine uygulanan temel bileşenler analizi sonucunda 3 bileşen elde edilmiş olup kümülatif toplamı %94,2 bulunmuştur. Birinci bileşen varyansın %64,5'ini, ikinci bileşen %22,9'unu ve üçüncü bileşen %6,8'ini açıklamıştır. Varyans açıklama değeri %10 değerinin altında kaldığı için üçüncü bileşenden temsilci değişken seçilmemiştir. Birinci bileşende Bio_5 (en sıcak ayın en yüksek sıcaklığı) (0,983) ve ikinci bileşende Bio_15 (yağışın mevsimselliği) (0,959) en yüksek bileşen değerine sahip olduğu için temsilci değişken olarak

seçilmiştir. İklim değişkenleri ile yükselti değişkeni birbirleriyle yüksek korelatif ilişkiye sahip olmasından dolayı aralarındaki ilişkiyi ortaya koymak için Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır (Şekil 4). Analiz sonucunda, yükselti ile en sıcak ayın en yüksek sıcaklığı değişkenleri arasında ($p < 0,05$) çok yüksek ilişki tespit edilmiştir. Yükselti ile en sıcak ayın en yüksek sıcaklığı değişkenleri arasındaki korelasyon katsayısının (-0.952) negatif yönlü oldukça yüksek olduğu bulunmuştur. Bunun sonucunda en sıcak ayın en yüksek sıcaklığı değişkeninin modelleme aşamasında kullanılması durumunda çoklu bağlantı probleminin neden olacağı öngörülmüştür. Diğer taraftan, yükselti ile yağışın mevsimselliği değişkenleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki ($p > 0,05$) tespit edilememiştir. Bu yüzden, tür dağılım modellemesi sürecinde yağışın mevsimselliği değişkeni kullanılarak devam edilmiştir.

MaxEnt tekniği kullanılarak oluşturulan kızılçamın dağılım modelini yükselti, sıcaklık yükü, profil eğriliği, vadi derinliği ve yağışın mevsimselliği değişkenleri yapılandırmıştır. Modele tek başına katkı oranları ve modelden çıkarıldıklarındaki eksiklik oranları itibari ile Jackknife grafiğindeki değişkenler yorumlanacak olursa; yükselti ve vadi derinliği değişkenleri modelde tek başına kullanıldıklarında yüksek AUC değeri elde edilmesine katkı sağlarken, modelden çıkarıldıklarında AUC değerinin düşmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, profil eğriliği değişkeninin de hem tek başına yüksek AUC değeri üretmesi hem de modelden çıkarıldığında performansta önemli azalmaya neden olması, topoğrafik özelliklerin tür dağılımını belirlemede temel rol oynadığını ortaya koymaktadır. Öte yandan, sıcaklık yükü değişkeni tek başına kullanıldığında ve modelden çıkarıldığında, modelin performansında belirgin bir fark yaratmamaktadır. Bu durum, söz konusu değişkenin tek başına güçlü bir belirleyici olmaktan ziyade, diğer çevresel değişkenlerle birlikte etkileşimli olarak tür dağılımını etkilediğini göstermektedir. Yağışın mevsimselliği değişkeninin ise tek başına düşük açıklama gücüne sahip olması ve modelden çıkarıldığında model performansında sınırlı bir değişime neden olması, bu değişkenin modelde ikincil düzeyde etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 5).



Şekil 4. Yükselti ve iklim değişkenlerinin Pearson korelasyon analizi sonuçları. a) Önem Seviyesi değerleri b) Korelasyon Katsayıları



Şekil 5. Kızılçam için elde edilen modelin Jackknife testi eğrinin altında kalan alan sonuçları

MaxEnt modelinin tanımlayıcı grafikleri (Şekil 6) incelenecek olursa; yaklaşık 150 – 500 m arasındaki yükselti değerleri kızılçam için en uygun dağılım alanlarını oluştururken, 500 m üzerindeki yükselti değerlerinde türün var olma olasılığının düşük olduğu yerleri oluşturmaktadır. Vadi derinliği değişkenine göre yaklaşık 850 – 950 arasındaki değerler türün dağılımı için en uygun alanlardır. Bu değerler arasındaki yerler genellikle alt yamaç ve düz arazilere denk gelmektedir. Orta yamaç, üst yamaç ve sırt/tepeye yaklaştıkça türün dağılımı giderek azalmaktadır. Yağışın mevsimselliği değişkeninde yaklaşık 700 – 750 kg/m² değerleri arasında en yüksek etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin üzerine çıktıkça etkinin giderek azaldığı ve modelde pozitif bir fark yaratmadığı görülmektedir. Profil eğriliği değişkenine göre özellikle negatif değerler ile sıfıra yakın değerler arasında tür için en uygun alanları oluşturmuştur. Bu durumda hedef türün daha çok içbükey arazileri ve nispeten düzlük veya düze yakın arazileri tercih ettiği belirlenmiştir. Son olarak, daha fazla sıcaklık yüküne sahip, yani daha fazla güneşlenmeye sahip bakılarda türün dağılımında giderek azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Modelin geçerliliğini test etmek üzere ROC eğrisi üzerinde eğitim ve test veri seti için AUC değerleri sırasıyla 0,902 ve 0,874 olarak bulunmuştur (Şekil 6). Burada eğitim ve test verileri için elde edilen AUC değeri 1'e yakın olup, bu durum MaxEnt modelinin iyi bir performans sunduğunu ve doğruluk düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. Kızılçam türünün MaxEnt modeline ait potansiyel dağılım haritası *ArcGIS* yazılımında görselleştirilmiştir (Şekil 7).

4. Tartışma ve Sonuç

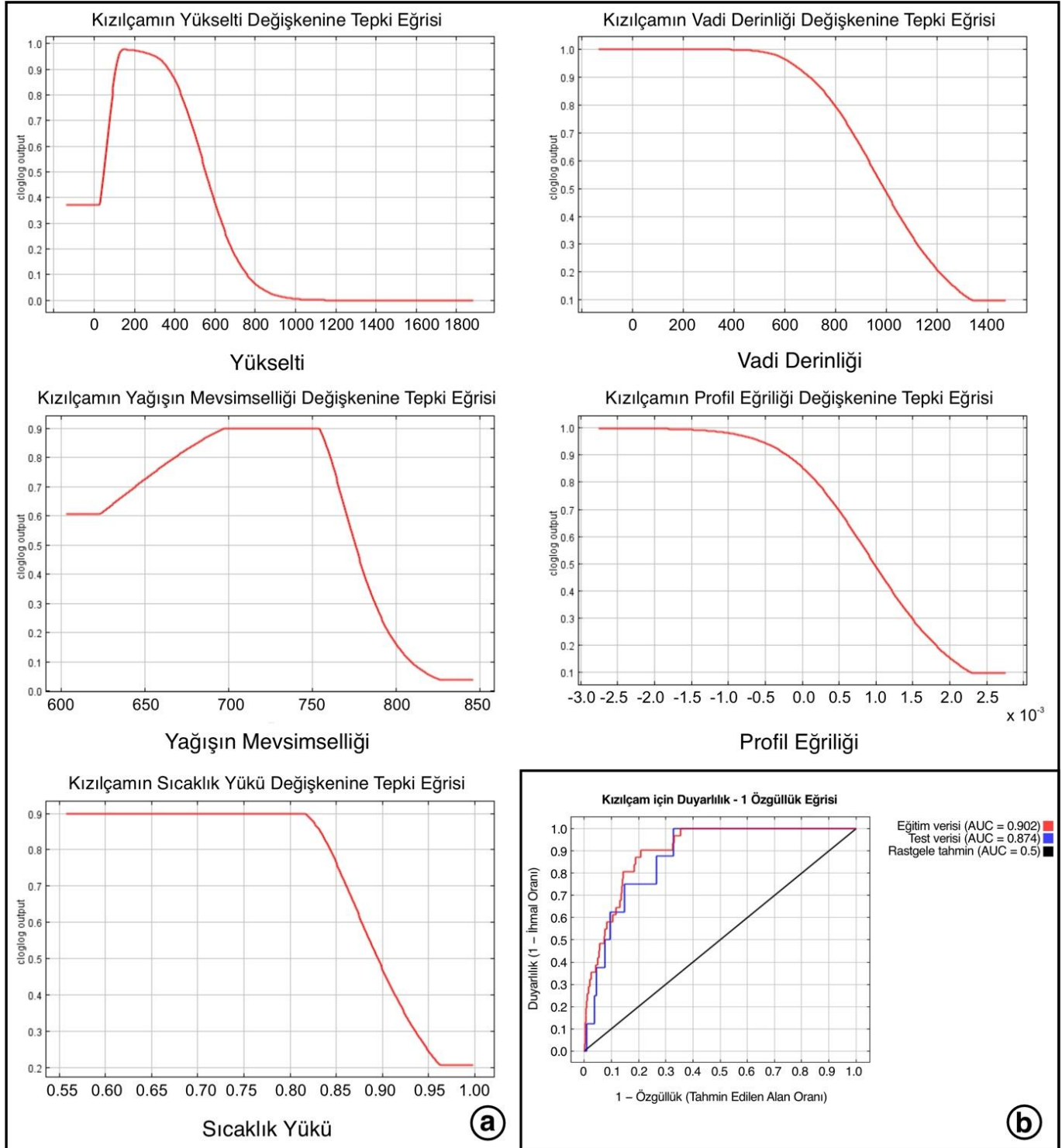
MaxEnt tekniği kullanılarak Aydın – Kuyucak yöresinde yayılış gösteren kızılçamın mevcut durumunun değerlendirilmesi amacıyla potansiyel dağılım modellemesi ve haritalaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda hedef türün yöredeki dağılımını ortaya koyacak çevresel ve iklim değişkenlerine başvurulmuştur. İlk olarak, iklim değişkenlerinin birbirleriyle yüksek ilişki göstermesinden dolayı çoklu bağlantı problemini ortadan kaldırmak adına temel bileşen analizi uygulanmış ve en sıcak ayın en yüksek sıcaklığı ve yağışın mevsimselliği değişkenleri temsilci değişkenler olarak belirlenmiştir. Ancak bu iklim değişkenlerinin yükselti değişkeniyle de korelatif ilişkiler gösterdiği için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda, en sıcak ayın en yüksek sıcaklığı değişkeni ile yükselti arasında anlamlı düzeyde ilişki ($p < 0,05$) tespit edildiği için modelleme

aşamasında yağışın mevsimselliği değişkeniyle devam edilmiştir.

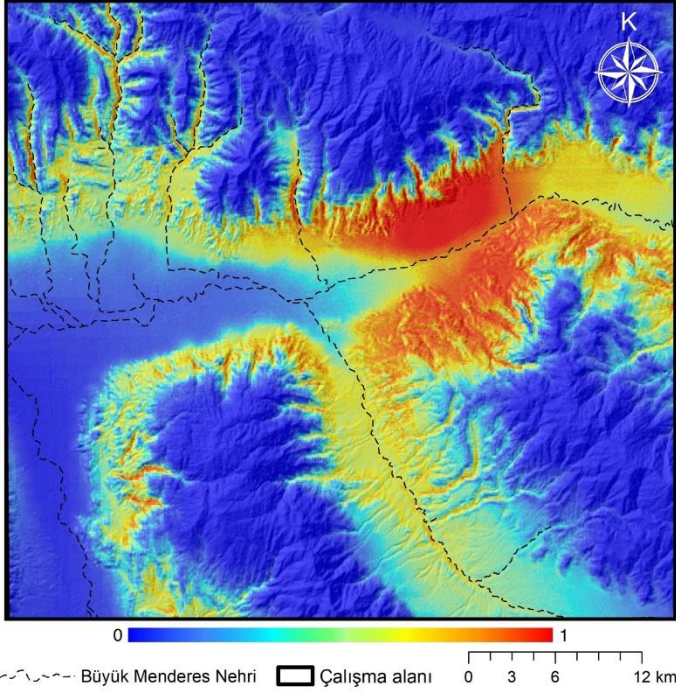
MaxEnt tekniğiyle elde edilen dağılım modelinde yükselti, yağışın mevsimselliği, sıcaklık yükü, profil eğriliği ve vadi derinliği değişkenleri kullanılmıştır. Elde edilen kızılçamın dağılım modelinde yükselti ve vadi derinliği değişkenleri modele en fazla katkıyı sağlayan değişkenler olmuştur. Bilindiği üzere, bu çalışmada olduğu gibi birçok tür dağılım modelleme çalışmalarında yükselti değişkeni önemli bir yere sahiptir. Kızılçamın tür dağılımı modelinde 150 – 500 m arasındaki yükseltiler hedef tür için en uygun alanları oluşturmaktadır. Yükseltinin 0 – 150 m arasındaki yerlerde türün varlığında artış gözlemlenirken, 500 m üzerindeki yükseltilerde ise türün varlığında azalmaların meydana geldiği belirlenmiştir. Yörede, kızılçam 1000 m yükseltinin üzerindeki sahalarda da kısmen görülmektedir. Ancak özellikle bu sahalarda kızılçam meşcerelerinin yerini karaçam meşcereleri almıştır. Kızılçam ülkemizde esas yayılışını Akdeniz ve Ege Bölgelerinde yaparken, lokal olarak Orta ve Batı Karadeniz Bölgesinde de yayılış göstermektedir (Şentürk et al., 2019). Çalışmanın gerçekleştirildiği Ege Bölgesi Aydın – Kuyucak yöresinde kızılçam genellikle Alt Ege kuşağında 800 – 1000 m yükseltilere kadar yayılış göstermektedir (Atalay, 2008; Keçelioğlu ve Şentürk, 2024). Çalışma alanının kuzey hattını oluşturan kısımda yer alan Aydın Dağları'nın güneye bakan yamaçlarında kızılçam ormanları 1000 m yükseltiye kadar çıkabilmektedir (Kıvanç, 2022). Yöre sınırları içerisinde yapılan bir çalışmada 200 – 500 m arasındaki yükseltilerde kızılçamın yayılış gösterdiği, 800 m yükseltilere kadar küçük birlikler halinde meşe türleriyle birlikte çıktığı ve 1000 m yükseltiden sonra yerini karaçam meşcerelerine bıraktığı ifade edilmiştir (Günal, 1986; Çelik, 1993). Öte yandan, benzer yörelerde kestane, ceviz ve incir yetiştiriciliğinden dolayı kızılçam meşcerelerinin ciddi tahribata uğradığını ve bu yüzden kızılçamın zayıf topluluklar halinde yayılış gösterdiği belirtilmiştir (Çukur, 1998). Bu durum geçmişten günümüze kadar olan süreçte de devam etmiştir. Aktaş (2019) Aydın Dağları'nın bir bölümü olan Oyukbaba Dağı ve çevresinde yaptığı çalışmada kızılçam türünün antropojenik etkiler sonucunda bu alanlardan çekildiğini ve yerini gelir getirici türlerden biri olan incir türüne bıraktığını ifade etmiştir. Genel anlamda bir değerlendirme yapılacak olursa, alt yükseltilerde Büyük Menderes Ovası ve Nehri'nin var olması, orta yükseltilerde meşe türleri ve diğer türlerin (incir, kestane, ceviz vb.) alandaki baskısı ve üst rakımlarda ise karaçam meşcerelerinin var olması kızılçamın dar bir alanda yayılış göstermesine neden olmuştur. Ayrıca bu alan içerisinde

kızılçam meşcerelerinin büyük bir bölümünün boşluklu kuruluştaki veya kötü bonitette olduğu tespit edilmiştir (Keçelioğlu ve Şentürk, 2024). Kızılçam çalışma alanı içerisinde daha çok alt yamaç ve düzlük arazilere yakın yerleri tercih etmiştir. Derin vadiler ve yüksek sırtlar hedef türün dağılımı için uygun olmadığı görülmektedir. Literatüre bakıldığında, aslında türün gerçek anlamda alt yamaçlarda veya

düz arazilerde en uygun yetiştirme ortamı özelliklerini yansıttığıyla ilgili çok fazla bilgi yer almamaktadır. Kızılçam farklı yamaç konumlarında yayılış gösterebilmektedir. Ancak buradaki temel ayrım özellikle çalışma alanında orta yamaçlardan sırta doğru gittikçe yükseltinin artış göstermesi ve bu sahaların büyük kısmının karaçam meşcerelerinden oluşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. MaxEnt tekniği aracılığıyla elde edilen modelin tepki eğrileri (a) ve AUC değerleri (b)



Şekil 7. Aydın – Kuyucak yöresinde kızılçamın potansiyel dağılım haritası

Profil eğriliği değişkenine göre hedef tür daha çok içbükey arazileri ve kısmen doğrusal yüzeyleri tercih etmiştir. Ekolojik anlamda bakılacak olursa, kısmen düz ve düze yakın yüzeyler ve içbükey araziler yağış sularının biriktiği ve toprağın daha nemli olduğu yerler olarak tanımlanmakta olup çalışma alanı içerisinde kızılçamın daha çok bu tip alanları tercih ettiği belirlenmiştir. Kızılçam kuraklığa dayanıklı bir tür olarak bilinmesine rağmen, bu durum kızılçamın kuraklığı sevdiği anlamına gelmemektedir. Aksine, kızılçam kurak devrede çok az su kullanarak büyümesini durdurmaktadır (Atalay, 2008). Her ne kadar kızılçam kuraklığa tolerans gösterse bile, toprak neminin daha fazla olduğu alanları tercih etmesi beklenen bir durumdur. Bunun yanı sıra, kızılçam özellikle taban suyundan faydalandığı veya yağışın arttığı sahalarda da çok iyi gelişim göstermektedir. Bu bağlamda, kızılçam kurak devrede çok az su tüketimi yaparak büyümeye devam etmesine rağmen belirli bir yağış miktarına ihtiyaç duymaktadır (Atalay, 2008). Çalışma alanı Ege Bölgesi'nin Ege Bölümü'nde yer almasından dolayı tipik Akdeniz iklimi etkisi altında kalmaktadır. Bu yüzden, kızılçamın ihtiyaç duyduğu yağış miktarını daha çok yıl içerisinde belirli aylardaki yağışlardan sağlamaktadır. Modeli oluşturan diğer bir değişken olan yağışın mevsimselliği, aylık yağış miktarının yıl boyunca nasıl değiştiğini ifade etmektedir. Diğer bir ifadeyle, yağışın belirli aylardaki düzenli veya düzensiz olması, bazı aylarda çok yüksek veya çok düşük yağış aldığını gösteren bir iklim değişkenidir. Yağış mevsimselliğinin yüksek değerleri yıl boyunca yağışın düzensiz olduğunu gösterirken, daha düşük değerler yağışların yıl boyunca daha eşit dağıldığını göstermektedir (O'Donnel and Ignizio, 2012). Bu bilgiler doğrultusunda, kızılçam çalışma alanı içerisinde yer alan Nazilli, Kuyucak ve Karacasu Meteoroloji İstasyonlarından alınan uzun dönemli aylık yağış miktarlarına göre Ocak – Mart ile Kasım ve Aralık aylarındaki yağışların fazla olduğu geriye kalan aylarda ise yağış miktarının ciddi oranda azaldığı görülmektedir (Şekil 2). Bu durum, elde edilen model

sonuçlarını desteklemekte olup, yağışın mevsimselliği bakımından yağışların kısmen düzensiz bir yapıda olduğu görülmektedir. Yukarıdaki bilgiler ışığında kızılçamın yöre içerisinde dağılımında yağışın önemli bir faktör olduğunu, yağışın aylara göre dağılımı kısmen düzensiz bir yapıya sahip olsa da, bu duruma kızılçamın tolerans gösterdiğini söyleyebiliriz. Bu tip sahalarda kızılçam dağılım gösterebilmesine rağmen, verimlilik bakımından çok elverişli alanlar olmadığından dolayı orta veya kötü bonitetli meşcereler kurma eğilimindedir (Keçelioğlu ve Şentürk, 2024).

Bilindiği üzere, kızılçamın ışık isteğinin fazla olmasından dolayı sıcak bakıları diğer deyişle, güneşten gelen radyasyonun ve sıcaklığın fazla olduğu yerleri tercih etme eğilimindedir (Saatçioğlu ve Pamay, 1962). Kızılçam için elde edilen modelin grafikleri incelendiğinde, tepki eğrisinin yüksek değerlerinde (>0.85) uygunluğun azaldığı görülmektedir. Bu durum, ışık ve sıcaklık isteği fazla olan kızılçam türü için ekolojik anlamda çelişkili gibi görülmektedir. Ancak, modelleme sonucunda elde edilen tepki eğrilerinin, diğer değişkenler sabit tutulduğunda her bir değişkenin modele olan marjinal etkisini yansıttığı unutulmamalıdır. Bu durum, tepki eğrilerinin potansiyel uygunluk alanlarının doğrudan bir göstergesi olmadığını, aksine değişken etkilerinin yorumlanmasına yönelik araçlar olduğunu göstermektedir (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011). Bu çalışmada, modeli yapılandıran diğer değişkenlerin etkileri, sıcaklık yükü değişkenine ait tepki eğrisinin kızılçamın alışlagelmiş ekolojik isteklerinden farklı olduğunu göstermiştir. Bu bağlamda yüksek sıcaklık yükü değerleri hedef türün ışık ve sıcaklık tercihlerine aykırı bir durumdan daha ziyade azalan toprak nemi, artan evapotranspirasyon ve buna bağlı yükselen su stresi ile ilişkili çevresel faktörleri temsil etmektedir. Akdeniz iklim koşullarında, özellikle yaz kuraklığının belirgin olduğu bölgelerde, yüksek ısı yükü değerlerinin su kaybını artırarak türün gelişimi ve yayılışı üzerinde sınırlayıcı bir etki oluşturduğu bilinmektedir. Dolayısıyla modelden elde edilen negatif yönlü sıcaklık yükü ilişkisi, kızılçamın ışık ve sıcaklık isteğine aykırı bir durumdan ziyade, Aydın gibi Akdeniz ikliminin hâkim olduğu sıcak bölgelerde aşırı ısı yükü ile su stresinin birlikte sınırlayıcı bir faktör olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, benzer yetişme ortamı özelliklerine sahip alanlarda kızılçamın yayılışını etkileyen önemli faktörlerden birinin nem miktarı olduğu söylenebilir (Boydak, 2004). Diğer taraftan, Sarris et al. (2007) yaptıkları çalışmada Doğu Akdeniz bölgesinde ağaç büyümesinin büyük ölçüde su mevcudiyeti tarafından sınırlandırıldığını ve artan sıcaklıkların bu süreci olumsuz etkilediğini ifade etmişlerdir.

5. Öneriler

Bu çalışmada gerçekleştirilen kızılçam dağılım modellemesi ve haritalaması sonucunda, hedef türün potansiyel yayılış alanları belirlenmiş; ancak söz konusu alanların tarım, hayvancılık faaliyetleri ve bunlara bağlı insan baskısı nedeniyle kızılçam meşcerelerinin önemli ölçüde daraldığı tespit edilmiştir. Keçelioğlu ve Şentürk (2024) yaptıkları çalışmada yörede özellikle düşük yükseltilerde doğal olarak baskın tür olması beklenen kızılçamın, bu antropojenik etkiler sonucunda orta ve düşük bonitetli meşcereler oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Elde edilen bulgular, benzer ekosistemlerin yönetiminde ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel önceliklerin

yeniden değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu bağlamda çalışma, yöneticiler ve uygulayıcılar için karar destek niteliği taşımakta olup, özellikle geleceğe yönelik planlamalarda önemli bir referans oluşturabilecek potansiyele sahiptir. Nitekim, OGM son yıllarda ormanlardan faydalanma anlayışını ağırlıklı olarak ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlara yönlendirdiği göz önünde bulundurulduğunda, yörede tespit edilen insan kaynaklı baskının, kızılçamın ekonomik verimliliğini sınırladığı düşünülmektedir. Bu doğrultuda, benzer baskı altındaki sahalarda üretim odaklı ormancılık faaliyetleri yerine, ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitliliğin korunması ve karbon depolama kapasitesinin artırılması gibi alternatif fonksiyonların ön plana çıkarılmasının daha uygun bir yaklaşım olacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak, bu çalışma orman ve orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, iklim kriziyle mücadele, karbon yönetimi ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi güncel ormancılık politikalarıyla uyumlu olup, karar verme süreçlerinde yöneticilere ve uygulayıcılara orman ve orman ürünlerinden faydalanma yaklaşımlarındaki dönüşümü destekleyen bilimsel bir zemin sunmaktadır.

Teşekkür

“Aydın – Horsunlu Yöresinde Kızılçamın Verimlilik Modellemesi” isimli projeye (Başvuru Numarası: 1919B012208771) desteklerinden dolayı TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programına teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Aktaş, G., 2019. Aydın İli Nazilli ilçesi Oyukbaba dağındaki kestane (*Castanea sativa* L.) topluluklarının ekolojisi ve ekonomik önemi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye.
- Atalay, İ. 2008. Ekosistem ekolojisi ve coğrafyası. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları. Meta Basım. Cilt II, 824s, İzmir.
- Baldwin, R. A. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11(4), 854-866. <https://doi.org/10.3390/e11040854>.
- Blaga, L. 2012. Aspects regarding the significance of the curvature types and values in the studies of geomorphometry assisted by GIS. *Annals of the University of Oradea, Geography Series*, 2012, 327-337.
- Boydak, M. 2004. Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten. - a review. *Plant Ecology*, 171(1), 153-163.
- Boydak, M., Çaliskan, S. 2016. Effects of heat shock on seed germination of Turkish red pine (*Pinus brutia*). *Bosque*, 37(2), 327-333.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J. 2015. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. 4. *Geoscientific model development*, 8(7), 1991-2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.
- Çelik, H. 1991. Akarsuların (vadi) profil özellikleri ile eski tabanlar arasındaki ilişkiler üzerine araştırmalar. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 43(2), 101-130.
- Çukur, H., 1998. Ege bölümünün ekosistemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir.
- de-Miguel, S., Pukkala, T., Yeşil, A. 2014. Integrating pine honeydew honey production into forest management optimization. *European Journal of Forest Research*, 133(3), 423-432.
- Deniz, M. 2013. Nazilli ilçesinin beşeri ve ekonomik coğrafyası. Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., Yates, C. J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>.
- Farjon, A. 2008. A natural history of conifers. Oregon (USA), Timber Press.
- Fick, S. E., 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. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- Ganatsas, P., Giannakaki, M., Gouvas, A., Tsakalimi, M. 2021. Is the Reproduction Capacity of *Pinus brutia* Stands 20 Years after Wildfire Efficient to Secure Forest Restoration in the Case of a Fire Re-Occurrence? *Forests*, 12(8), 991. <https://doi.org/10.3390/f12080991>.
- Göksu, E., Daşdemir, İ., Yanmadık, Y. 2025. Orman Genel Müdürlüğü taşra teşkilatı çalışanlarının çam balı üretimine ilişkin değerlendirmeleri (Ege Bölgesi örneği). *Ormancılık Araştırma Dergisi* 12(1), 1-12. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1559174>.
- Günal, N. 1986. Gediz-Büyük Menderes arasındaki sahanın bitki coğrafyası. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü. Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- Güney, C. O., Güney, A., Sarı, A., Kavgacı, A., Ryan, K. C., Hood, S. M. 2024. Modeling post-fire mortality of Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.). *Forest Ecology and Management*, 572, 122265. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122265>.
- Kandemir, G., Önde, S., Temel, F., Kaya, Z. 2017. Population variation in drought resistance and its relationship with adaptive and physiological seedling traits in Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.). *Turkish Journal of Biology*, 41(2), 256-267. <https://doi.org/10.3906/biy-1608-77>.
- Kavgacı, A., Örtel, E., Torres, I., Safford, H. 2016. Early postfire vegetation recovery of *Pinus brutia* forests: effects of fire severity, prefire stand age, and aspect. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(5), 723-736. <https://doi.org/10.3906/tar-1601-21>.
- Kavgacı, A., Silc, U., Başaran, S., Marinsek, A., Başaran, M. A., Kosir, P., Balpınar, N., Arslan, M., Ergüler, Ö., Carnı, A. 2017. Classification of plant communities along postfire succession in *Pinus brutia* (Turkish red pine) stands in Antalya (Turkey). *Turkish Journal of Botany*, 41(3), 299-307. <https://doi.org/10.3906/bot-1609-34>.
- Kavgacı, A., Tavşanoğlu, Ç., 2010. Post-fire vegetation dynamics in Mediterranean type ecosystems. *Turkish Journal of Forestry* 11(2), 149-166.
- Keçelioğlu, H., Şentürk, Ö. 2024. Aydın-Kuyucak yöresinde kızılçam verimliliğinin modellenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 25(4), 390-398. <https://doi.org/10.18182/tjf.1548015>.

- Kıvanç, Y. 2022. Büyük Menderes Havzası'Nın Batısındaki Doğal Ortam ile Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkiler. Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Koçak, K., Şenol, H. 2013. Buldan (Denizli) Yöresindeki Metamagmatik Ve Magmatik Kayaçların Jeolojisi ve Petrografisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 28(1), 11-24. <https://izlik.org/JA68BR58CC>.
- McCune, B., Keon, D. 2002. Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. Journal of vegetation science, 13(4), 603-606. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02087.x>.
- Ne'eman, G., Arianoutsou, M. 2021. Mediterranean pines—adaptations to fire. In Pines and their mixed forest ecosystems in the Mediterranean basin (pp. 457-480). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63625-8_22.
- O'Donnel, M. S., Ignizio, D. A. 2012. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States (No. 691). US Geological Survey.
- OGM, 2017. Muğla ve Denizli Orman Bölge Müdürlüğü Amenajman Planları. T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Daire Başkanlığı, Ankara.
- OGM, 2024. Ormancılık İstatistikleri. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>, Erişim: 10.02.2026.
- Pearson, K. 1900. Mathematical contributions to the theory of evolution. VIII. On the correlation of characters not quantitatively measurable. Proceedings of the Royal Society of London, 66(424-433), 241-244. <https://doi.org/10.1098/rspl.1899.0096>.
- Phillips, S. J., 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., Anderson, R. P., Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological modelling, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.
- Posit Team, 2024. RStudio: Integrated development environment for R. Posit Software, PBC.
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Rubel, F., Brugger, K., Haslinger, K., Auer, I. 2017. The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800–2100. Meteorologische Zeitschrift, 26(2), 115-125.
- Saatçioğlu, F., Pamay, B. 1962. The importance of *Pinus brutia* in the development of Adana region and its silviculture. Journal of the Faculty of Forestry İstanbul University, 12(2), 88.
- Sarris, D., Christodoulakis, D., Körner, C. 2007. Recent decline in precipitation and tree growth in the eastern Mediterranean. Global Change Biology, 13(6), 1187-1200. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01348.x>.
- Semerçi, A., İmal, B., Gonzalez-Benecke, C. A. 2021. Intraspecific variability in cold tolerance in *Pinus brutia* sampled from two contrasting provenance trials. New Forests, 52(4), 621-637. <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09815-0>.
- Şentürk, Ö., Gülsoy, S., Tümer, İ. 2018. Potential distribution modeling and mapping of brutian pine stands in the inner parts of the middle Black Sea region in Turkey. Polish Journal of Environmental Studies, 28(1), 321-327. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81682>.
- Şevik, H., Ertürk, N. 2015. Effects of drought stress on germination in fourteen provenances of *Pinus brutia* Ten. seeds in Turkey. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 3(5), 294-299. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i5.294-299.190>.
- Tilki, F., Dirik, H. 2007. Seed germination of three provenances of *Pinus brutia* (Ten.) as influenced by stratification, temperature and water stress. Journal of Environmental Biology, 28(1), 133.
- Tsitsoni, T., Ganatsas, P., Zagaz, T., Tsakalimi, M. 2004. Dynamics of postfire regeneration of *Pinus brutia* Ten. in an artificial forest ecosystem of northern Greece. Plant Ecology, 171(1), 165-174.
- Wickham, H., 2011. ggplot2. Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics, 3(2), 180-185.