



## Productivity distribution modelling of Anatolian Black Pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) in the Türkmen Mountain, Eskişehir

Şükran OĞUZOĞLU <sup>\*1</sup>, Kürşad ÖZKAN <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

### Abstract

This study was carried out to obtain regionalization models by examining the relationships between response variables distribution and productivity of Crimean pine forests (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe var. *pallasiana*), and explanatory variables (digital environmental variables) in Türkmen mountain. The data were collected for productivity 56 and for distribution from 278 sample plots. To model distribution of Crimean pine, binary data, absence (0) and presence (1), was used as response variable. The other response variable were site index, height value of plus tree at a standard age (100 years old), which was taken as a measure of productivity. To built distribution model of Crimean pine, classification tree technique (CT), in order to obtain productivity were performed regression tree technique (RT). Distribution and productivity models were built by altitude and topographical position index. The results of this study are significant for contributions of developing management plans and realization implementations on Crimean pine forests of Turkmen mountains in the future.

**Key words:** Anatolian Black Pine, productivity, distribution, modelling, Türkmen Mountain

----- \* -----

## Eskişehir Türkmen Dağı'nda Anadolu Karaçamının (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) verimliliğinin dağılım modellemesi

### Özet

Bu çalışma; Eskişehir Türkmen Dağı'nda karaçam ormanlarının yayılışı ve verimliliği ile dijital çevresel değişkenler arasındaki ilişkileri inceleyerek, yaygınlaştırma modellerinin elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya konu olan veriler; verimlilik (bonitet endeksi) için 56 örnek alandan, dağılım (var-yok verisi) için 278 örnek alandan elde edilmiştir. Karaçamın dağılım modelini elde etmek için bağımlı değişken var yok şeklinde ikili kategorik verilerden oluşmuştur. Verimlilik modeli için bağımlı değişken karaçamdan alınan standart yaştaki (100 yaşındaki) bonitet indeksi değerleri kullanılmıştır. Karaçamın dağılım modeli için sınıflandırma ağacı tekniği (SA), verimlilik modeli için regresyon ağacı tekniği (RA) uygulanmıştır. Dağılım ile verimlilik modelini yükseltti ve topografik pozisyon indeksi değişkenleri oluşturmuştur. Bu çalışmanın sonuçları Türkmen Dağı'nda karaçam ormanlarında yapılacak amenajman planlarının şekillenmesinde ve uygulamaya geçirilmesinde sağlayacağı katkılar bakımından önem taşımaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Karaçam, verimlilik, dağılım, modelleme, Türkmen Dağı

### 1. Giriş

Pinaceae familyasında yer alan karaçam iğne yapraklı bir orman ağacı türüdür. Ülkemizde familyanın 4 cinse (*Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Cedrus*) ait 9 türü ve bu türlere bağlı 22 taksonu bulunmaktadır (Yaltırık ve Akkemik, 2011). Türkiye'de yayılış gösteren karaçam türü Anadolu karaçamıdır (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe var. *pallasiana*). Bu takson ülkemizde genel olarak Trakya, Kuzey, Batı ve Güney Anadolu'da yayılış yapmaktadır. Anadolu karaçamı Türkiye'de; Kuzey'de Tokat ile Güneydoğu'da Maraş illeri arasında çekilecek bir

\* Corresponding author / Haberleşmeden sorumlu yazar: Tel.: +0246 2118197; Fax.: +0246 2371810; E-mail: sukranoguzoglu@hotmail.com

© 2008 All rights reserved / Tüm hakları saklıdır

hattın batısında, geniş alanlar halinde yer alır (Saatçioğlu, 1976). En geniş yayılışı ise Batı Anadolu'dadır (Alptekin, 1986). Karaçam yayılış alanı, ekolojisi ve odununun kullanım yeri açısından ülkemizde önemli bir ağaç türüdür. Anadolu karaçamı, asli orman ağacı türlerimizin içerisinde dağılım olarak büyük bir orana sahiptir. Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na bağlı Orman Genel Müdürlüğü'nün 2013 verilerine göre, ülkemizin bozuk ve normal nitelikteki toplam orman alanı 21.678.135 ha olup, bu alan içerisinde karaçamın alansal dağılım oranı yaklaşık olarak %22 (4.693.059.6 ha)' dir (OGM, 2013). Anadolu'da stebe en çok sokulan tür olması ve ekolojik toleransının yüksek olması nedeniyle Anadolu karaçamı, İç Anadolu Bölgesi Eskişehir Türkmen Dağı'nda da önem arz etmektedir. Son yıllarda yapılan ağaçlandırma çalışmaları ile potansiyel ağaçlandırma alanlarının büyük bir bölümü İç Anadolu Bölgesi'nde yer almakta ve Anadolu karaçamı ağaçlandırma çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle, Anadolu karaçamının en iyi gelişim göstereceği yerlerin tespit edilerek öncelikli olarak bu yerlerde gençleştirme ve ağaçlandırma çalışmaları yapılmalıdır. Bu sebeple, bu türün verimliliği ve dağılımının modellenmesi karaçam ile yapılacak gençleştirme ve ağaçlandırma çalışmalarında, öncelikli alanların tespiti için önemlidir (Özkan ve Gülsoy, 2009).

Ülkemizde karaçam türü ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Gülsoy vd., 2008). Ancak türün dağılımı ile gelişiminin dijital çevresel altlık haritalar kullanılarak modellenmesine yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır (Özkan vd., 2008; Özkan ve Gülsoy, 2009). Zira son yıllarda önem kazanan ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama çalışmaları için, bu tür çalışmalar altlık niteliğindedir. Farklı yörelerde farklı türler için elde edilen potansiyel dağılım ve verimlilik modelleri dijital verilerle elde edildiğinden yaygınlaştırılarak planlamalarda kullanılabilir. Türlerin potansiyel dağılım ile verimliliğini etkileyen ekolojik faktörlerin bilinmesi ile ağaçlandırma, gençleştirme ve restorasyon çalışmalarının başarısı artmaktadır.

Bu çalışmada, amaç Eskişehir Türkmen Dağı'nda Anadolu karaçamının yükselti, radyasyon indeksi, eğim, anakaya, topografik pozisyon indeksi gibi çevresel özelliklerin dijital altlıkları kullanılarak dağılım ve verimliliğinin modellenmesidir. Eskişehir Türkmen Dağı'nda karaçamın potansiyel anlamda en verimli olabileceği yerlerin tespitine yönelik bir model elde edilmesi ile özellikle endüstriyel amaçlı ağaçlandırmalar için öncelikli potansiyel alanların tespiti sağlanabilecektir. Ayrıca ağaçlandırma çalışmalarında karaçamın verimli olabileceği alanlara öncelik vermek, dönem sonu bileşik faiz sebebiyle en yüksek kazancın elde edilmesi anlamına gelmektedir. Elde edilecek sonuçların yörede ve benzer yetiştirme ortamlarında yapılacak ağaçlandırma çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

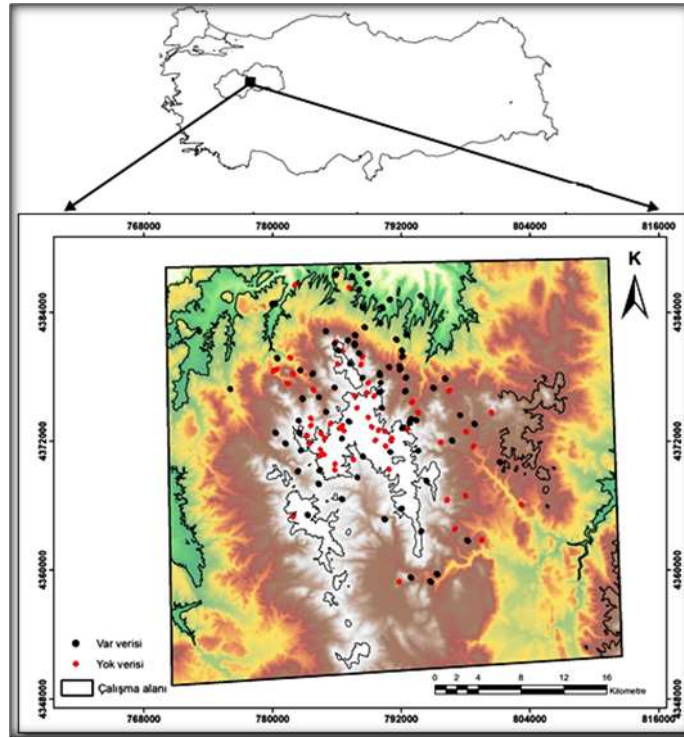
## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Çalışma alanı

Araştırma, Eskişehir ile Kütahya illeri 39°16'–39°38' kuzey enlemleri ile 30°06'–30°36'doğu boylamları arasında yer alan Türkmen Dağı'nda gerçekleştirilmiştir. Türkmen Dağı'nın; kuzeyinde Sündiken Dağları, doğusunda Sivrihisar Dağları, batısında Eğrigöz Dağı, kuzeybatısında Uludağ ve güneydoğusunda ise Emir Dağları bulunmaktadır (İzburak, 1968). Dağ kütlelerini oluşturan anakayalar ağırlıklı olarak riyolit, riyodasit, dasit ve dasidik tür anakayalarıdır. Kütle genel olarak neojen yaşlı olup, Söğüt Yaylası'nın güneyinde mesozoik, jura-kretase ve permien-mesozoik yaşlı seriler de bulunmaktadır (Pamir ve Erentöz, 1975). Eskişehir'de konumu nedeniyle yer yer İç Anadolu, Batı Karadeniz ve Akdeniz iklimlerinin görüldüğü alanlar yer almaktadır. Kütahya ili, İç Anadolu Bölgesi'nin soğuk iklimi ile Marmara ve Ege bölgelerinin ılık iklimi arasında bir geçiş iklimine sahiptir. Türkmen Dağı'nda en geniş yayılışa sahip asli ağaç türleri Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) ile sarıçam (*Pinus sylvestris* L. subsp. *hamata* (Steven) Fomin)'dir. Türkmen Dağı'nda, lokal bir havzada Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ormanı bulunmaktadır (Kavgacı vd., 2012).

### 2.2. Verilerin hazırlanması ve istatistiksel değerlendirme

Karaçamın dağılım modellemesi için 100x100 m boyutlarında 139 örnek saha ve her bir örnek saha içerisinde 20x20 m boyutlarında 2 alt örnek alan olmak üzere toplam 278 örnek alanda çalışılmıştır. Bu örnek alanlarda karaçam için var-yok (1-0) verisi kaydedilmiş, karaçamın bulunduğu 56 örnek (var) ve karaçamın bulunmadığı 222 örnek alan (yok) alınmıştır. Karaçamın bulunduğu örnek alanlarda verimliliğinin hesabı için 20x20 m boyutlarında 56 adet örnek alan alınmıştır. Her bir örnek alanda, alanın verimliliğini gösteren 3'er adet istikbal ağaç belirlenerek, bonitet endeksinin hesabı için bu ağaçların yaş ve boy ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Özkan ve Gülsoy, 2009). Bonitet endeksinin hesaplanmasında karaçam hasılat tablosu kullanılmıştır (Kalıpsız, 1963). Her örnek alan için GPS (Global Position System) ile enlem (°), boylam (°) ve yükselti (m) değerleri, pusula ile bakı değeri (°), klizimetre ile eğim değeri ölçülmüş (°), yamaç konumu ise örnek alanın bulunduğu konuma göre sınıflandırılmış ve sayısal ortamda depolanmıştır.



Şekil 1. Eskişehir Türkmən Dağı yer bulduru haritası ve karaçamın var (●) ve yok (●) verisinin alındığı örnek alanlar

Çalışma sahasının çevresel altlık haritalarının oluşturulması için sayısal yükseklik modeli oluşturulmuş, bu model üzerinden eğim ve bakı haritası elde edilmiştir. Bakı değeri aşağıdaki formül yardımıyla radyasyon indeksine çevrilerek depolanmıştır.

$$RI = \frac{[1 - \cos((\pi / 180)(Q - 30))]}{2}$$

Burada,  $Q$  bakımın kuzeye göre olan açılal değerini ifade etmektedir. Radyasyon indeksi değeri 0-1 arasında değişkenlik göstermektedir. Kuzey-kuzeydoğu yönünde bulunan alanlar için 0 değerini alırken, güney-güneybatı yönündeki alanlarda 1 değerini almaktadır (Moisen ve Frescino, 2002). Ayrıca çalışmada faydalanılmak üzere sıcaklık indeksi aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmış ve haritalanmıştır.

$$SI = \cos(Q - Q_{\max}) \times (\tan_{\text{eğim}}) \quad (3)$$

$Q_{\max}$  değeri formülde güney batıya bakan yamaçların en büyük ısı yükü olarak kabul edilmektedir. SI değeri -1 ile 1 arasında değişmektedir (Zeleny ve Chytry, 2007). Topografik pozisyon indeksi (Van Niel vd., 2004) ile arazi şekil indeksi (McNab, 1993) Arcgis 9.3 yazılımı ve bu yazılımın *topography tools* eklentisi kullanılarak elde edilmiştir. Topografik pozisyon indeksi (TPI), her bir yükselti basamağı için bu yükselti basamağına ait hücre değerlerinin kullanılması ile arazi yüzey şekilleri ve eğim değerlerine göre arazi sınıflandırmasını ve standartlaştırılmasını yapmaktadır. Hücrelerin yükselti değerleri ile etrafındaki belirli komşu hücrelerin ortalama yükselti değerlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen pozitif değerler; dağlar ve tepeler gibi yüksek yerleri, negatif değerler; kanyon ve vadi gibi yükseltisi düşük olan yerleri ve sıfıra yakın değerler de düzlük, sırt gibi yerleri belirtmektedir. Arazi yüzey formu için geniş ve küçük ölçekli olarak en az iki farklı ölçekte topografik pozisyon indeksi modeli ile farklı arazi sınıflandırması yapılmaktadır (Jenness, 2006). Jenness (2006) tarafından kullanıma sunulan eklenti ile Intersect ve Dissolve işlemi yapılmış ve 10 farklı arazi yüzey formu değişkeni oluşturulmuştur.

İklim verileri için Hijmans vd. (2005) tarafından hazırlanan ve <http://www.worldclim.org> adresinde kullanıma sunulan veri tabanı kullanılarak çalışma alanına ait 19 farklı biyoiklim haritası oluşturulmuş ve her bir örnek alan için oluşturulan haritalardan iklim verileri çekilmiştir. Çalışma alanına ait anakaya haritası için Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nden alınan haritalar sayısal hale getirilerek dijital altlık haritalar elde edilmiştir (MTA, 2014). Her bir örnek alan içinde yer alan anakaya tipleri ayrı bir değişken olarak var-yok verisi şeklinde depolanmıştır. İstatistiksel analizlerde kullanılmak üzere tüm veriler hazırlanmış ve Microsoft Office Excel programında depolanmıştır. İstatistiksel analizlerde kullanılan çevresel değişkenler kodlanarak Çizelge 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. İstatistiksel analizlerde kullanılan çevresel değişkenler ve kodları

Değişkenler	Kodlar	Değişkenler	Kodlar
Yükselti (m)	YUKS	Şev	SEV
Eğim (%)	EGIM	Düzlük	DUZ
Bakı (°)	BAKI	Vadi	VADI
Radyasyon İndeksi	RI	Sırt	SIRT
Sıcaklık İndeksi	SI	Yıllık ortalama sıcaklık	BIO1
Topografik Pozisyon İndeksi	TPI	Gündüz sınıf ortalaması	BIO2
Bonitet endeksi	BE	Eş ısı	BIO3
Alüvyon	ALUV	Mevsimsel sıcaklık	BIO4
Şist	SIST	En sıcak ayın en yüksek sıcaklığı	BIO5
Tüf	TUF	En soğuk ayın en düşük sıcaklığı	BIO6
Vulkanit	VOLK	Yıllık sıcaklık	BIO7
Diğer Tipler	DTIP	En nemli üç ayın ortalama sıcaklığı	BIO8
Arazi Yüzey Formu	ARAFORM	En kurak üç ayın ortalama sıcaklığı	BIO9
Derin Kanyon	DERKAN	En sıcak üç ayın ortalama sıcaklığı	BIO10
Sığ Vadi	SIGVADI	En soğuk üç ayın ortalama sıcaklığı	BIO11
Su Kaynağı Pınarbaşı	SUKAY	Yıllık yağış	BIO12
U Şeklinde Vadi	USEKV	En nemli ayın yağışı	BIO13
Üst Yamaç Arazi	USTYAM	En kurak ayın yağışı	BIO14
Yerel Sırtlar	YERSIRT	Mevsimsel yağış	BIO15
Hafif Eğimli Tepeler	HEGIMT	En nemli üç ayın yağışı	BIO16
Dağ Zirvesi	DAGZIR	En kurak üç ayın yağışı	BIO17
Yamaç Konumu	YAMKON	En sıcak üç ayın yağışı	BIO18
Orta Yamaç	ORTYAM	En soğuk üç ayın yağışı	BIO19

Karaçamın verimlilik ve dağılım modellemelerinde bağımsız değişkenler arasındaki yüksek korelasyonlardan dolayı ortaya çıkabilecek çoklu bağlantı probleminin başlangıçta halledilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla, birbirlerini güçlü şekilde temsil eden değişkenlerden eleme yapılması amacıyla pearson korelasyon analizi, spearman korelasyon analizi ve temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Karaçamın bonitet endeksi ile sürekli çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler pearson korelasyon analizi, bonitet endeksi ile kategorik çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler spearman korelasyon analizi ile incelenmiştir (Özdamar, 2002). Karaçamın dağılım modellemesi için karaçamın bulunduğu örnek alanlar ile karaçamın potansiyel yayılış alanında bulunan örnek alanlar var-yok (1-0) şeklinde veri olarak girilmiştir. Karaçamın var-yok verisi ile sürekli çevresel değişkenler arasında spearman korelasyon analizi uygulanmıştır (Spearman, 1904). Karaçamın var-yok verisi ile kategorik çevresel değişkenler arasında nitelikler arası ilişki analizi uygulanmıştır (Poole, 1974).

Karaçam verimliliğini (bonitet endeksinin) modellemek için regresyon ağacı tekniği, karaçamın dağılım modellenmesi için de sınıflandırma ağacı tekniğine başvurulmuştur (De'ath ve Fabricius, 2000).

### 3. Bulgular

Karaçamın var-yok verisi ile sürekli çevresel değişkenler arasında yapılan analiz sonucuna göre var-yok verisi ile BOYLAM (r: 0,158; p: 0,008), YUKS (r: -0,304; p: 0,000) ve BIO17 (r: -0,320; p: 0,000) değişkenleri arasında önemli ilişkiler bulunmuştur. Var-yok verisi ile diğer değişkenler arasında istatistiksel açıdan herhangi bir ilişki tespit edilmemiştir. Nitelikler arası ilişki analizine göre karaçamın var-yok verisi ile TUF (p: 0,019), SIGVADI (p: 0,046) ve USEKV (p: 0,007) değişkenleri %5 seviyesinde pozitif ilişki göstermiştir (Çizelge 2.). Karaçamın bonitet endeksi ile sürekli çevresel değişkenler arasında uygulanan pearson korelasyon analizi sonucuna göre bonitet endeksi ile BOYLAM (r: -0,418; p: 0,001), YUKS (r: 0,509; p: 0,000) ve BIO17 (r: 0,539; p: 0,000) değişkenleri arasında önemli ilişkiler bulunmuştur. Bonitet endeksi ile diğer değişkenler arasında istatistiksel açıdan herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Karaçamın bonitet endeksi ile kategorik çevresel değişkenler arasında uygulanan spearman korelasyon analizi sonucuna göre bonitet endeksi ile SIST (r:0,281, p: 0,036) ve TUF (r:-0,337, p: 0,011) arasında %5 seviyesinde önemli ilişki bulunmuştur.

Karaçamın dağılım modellemesi için sınıflandırma ağacı tekniği DTREG programı kullanılmıştır. Analiz uygulanırken full tree seçeneği tercih edilmiş, ağaç modelde fazla dallanmaya engel olmak amacıyla terminal düğümlerdeki maksimum ağaç seviyesi 3 eşliğine çekilmiştir. Ağaç modele göre, yükseltinin 1172 m ile 1172 m'den küçük olduğu ve topografik pozisyon indeksinin 0,153931 değerine eşit ya da küçük olduğu 4. terminal düğüme ait örnek alanlarda karaçam bulunmaktadır. Elde edilen ağaç modelin eğitim setine ait ROC değeri 0,73122 olarak belirlenmiştir. Ağaç modelini oluşturan değişkenler yükselti ile topografik pozisyon indeksi olmuştur (Şekil 2.).

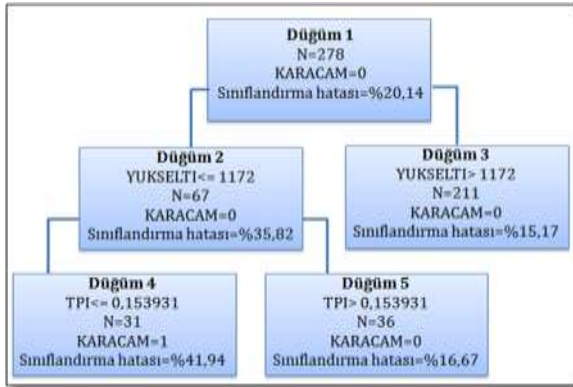
Tablo 2. Karaçamın var-yok verisi ile sürekli ve kategorik çevresel değişkenler arasında uygulanan analiz sonuçları

Değişkenler	Var-yok Verisi		Kategorik (Nitelikler arası ilişki)	
	Sürekli (Spearman)		R	P
	R	P	R	P
BOYLAM	0,158	0,008		
YUKSELTİ	-0,304	0,000		
BIO17	-0,320	0,000		
TUF				0,019
SIGVADI				0,046
USEKV				0,007

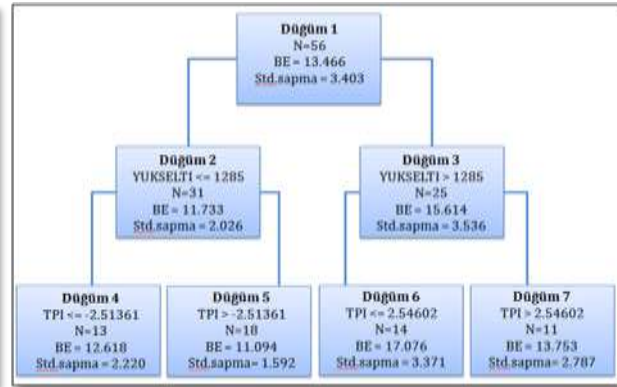
Karaçamın verimliliğinin modellenmesinde regresyon ağacı tekniği kullanılmış ve uygulama sırasında full tree seçeneği kullanılarak optimum ağacın çok fazla dallanmasına engel olmak için maksimum ağaç seviyesi 3 ile sınırlandırılmıştır. 4 terminal düğüme sahip olan ağaç modelini YUKSELTİ ve TPI değişkenleri şekillendirmiştir. Ağaç modele göre ortalama bonitet endeksi YUKSELTİ > 1285 m ve TPI ≤ 2,54602 olduğu durumlarda 17,076 ile en yüksek değere sahip iken, YUKSELTİ ≤ 1285 m ve TPI > -2,51361 olduğu durumlarda en düşük ortalama bonitet endeksi değeri ise 11,094'tür. Ağaç model istatistiksel bakımdan % 1 seviyesinde önemli olup eğitim setine ait R<sup>2</sup> değeri 0,45354 çıkmıştır. R<sup>2</sup> değeri modeli açıklamada yetersiz kalmıştır. Ağaç modele en fazla katkıyı YUKSELTİ (% 100), en düşük katkıyı TPI (% 41) yapmıştır (Şekil 3.).

Tablo 3. Karaçamın bonitet endeksi ile sürekli ve kategorik çevresel değişkenler arasında uygulanan analiz sonuçları

Değişkenler	Bonitet Endeksi		Kategorik (Spearman)	
	Sürekli (Pearson)		R	P
	R	P	R	P
BOYLAM	-0,418	0,001		
YUKSELTİ	0,509	0,000		
BIO17	0,539	0,000		
SIST			0,281	0,036
TUF			-0,337	0,011



Şekil 2. Karaçamın dağılım modellemesi



Şekil 3. Karaçamın verimlilik modellemesi

#### 4. Sonuçlar ve tartışma

Karaçamın dağılımı ile çevresel faktörler arasındaki ilişkilere bakıldığında; yükselti ve en kurak üç ayın yağış değeri arasında negatif, boylam, tuf, sıg vadi ve u şeklinde vadi ile pozitif yönde ilişki görülmüştür. Ağaç modele göre karaçamın bulunduğu alanlar; yükseltinin 1172 m ve 1172 m'nin altında olan, topografik pozisyon indeksinin ise 0,153931 değerinden büyük olduğu örnek alanlar olarak 4. terminal düğüme bulunmuştur. 4. terminal düğüme bulunan örnek alanların; 869-1171 m yükselti arasında, düze yakın, kuzeyli bakılarda, arazi yüzey formu olarak derin kanyon ve yamaç konumu olarak da vadi alanlarda bulunduğu görülmüştür. İç Anadolu Bölgesi'nde karaçamın dağılımının, step sınırlarında 900 m'ye kadar meşçere halinde, yaylalarda ise 1400 m'ye kadar münferit halde bulunduğu Saatçioğlu (1976) tarafından belirtilmiş ve bu durum elde edilen model ile paralellik göstermiştir. Sütçüler Yöresi'nde Şentürk (2012) tarafından karaçamın dağılımı için uygun alanların 1150 ile 1700 m yükselti arasında olduğu belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada kızılçamın dağılımında yükselti, anakaya, arazi formu ve topografik pozisyon indeksi değişkenleri etkili olmuştur. Boylu ardıcın dağılımında Özkan ve Çelik (2007) çok dik kayalık, kireçtaşı ve killi toprak değişkenlerinin, Şentürk (2012) yükselti, anakaya, eğim, baki, topografik pozisyon indeksi, radyasyon indeksi ve iklim değişkenlerinin ve Özkan (2013) yükselti ve yamaç konumu değişkenlerinin önemli olduğunu belirtmiştir.

Karaçamın bonitet endeksi ile yükselti ve en kurak üç ayın yağışı (BIO17) değişkenleri arasında pozitif, şist, tuf ve boylam arasında negatif ilişki tespit edilmiştir. Çalışma sahasının İç Anadolu Bölgesi'nde yer alması nedeniyle vejetasyon dönemi içerisinde görülen yaz kuraklığı karaçamın gelişimi üzerinde etkili bir faktördür. En kurak üç ayın yağışını gösteren BIO17 değişkeni, yükseltinin artmasıyla sıcaklığın düşmesi sonucu yağışta görülen artış ile yaz kuraklığının etkisini azaltmakta ve karaçamın verimliliğini arttırmaktadır. Özkan vd. (2008) Dedegül Dağları alt bölgesinde ve Güner vd. (2011) İç Anadolu Bölgesi'nde karaçamda, Güner (2008) sarıçamda benzer sonucu elde etmiştir. Ancak Özkan ve Gülsoy (2009) yaptıkları çalışmada Sütçüler Yöresi'nde karaçamın boy gelişimi ile yükselti arasında negatif ilişki gösterdiğini belirtmişlerdir. Yavuz vd. (2004) karaçam, Çepel vd. (1977) sarıçam ve Kalay vd. (1993) kızılçamın gelişimi ile yükselti arasında negatif ilişki bulunduğunu belirtmişlerdir. Bonitet endeksi ile şist anakayası arasında önemli pozitif, tuf anakayası ile önemli negatif ilişki bulunmuştur. Şist anakayaları üzerinde toprak derinliğinin fazla olması karaçamın boy gelişimi üzerinde etkili olmuştur. Tüfler üzerinde yer alan topraklar şist üstündeki topraklara göre nispeten sıgıdır. Karaçamda yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında boy gelişiminin için tuf yerine şist anakayasının bulunduğu alanlar tercih edilmelidir. Karaçamın bonitet endeksi ile boylam arasında negatif ilişki tespit edilmiştir. Güner vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada karaçamın gelişimi ile boylam arasında pozitif ilişki bulunduğu belirtilmiştir. Regresyon ağacı modeline göre bonitet endeksinin en yüksek olduğu terminal düğümde (6. terminal düğüm) örnek alan 15, 16, 26, 27, 33, 37, 44, 46, 47, 48, 49, 51, 52 ve 55 bulunmaktadır. Bu örnek alanların 1285 m'nin üzerinde ve vadilerde yer aldığı görülmüştür. Yükseltinin artması ile birlikte nemli vadi etkisi altında olan alanlar bonitet endeksinin yüksek olduğu yerlerdir.

Anadolu karaçamı; ülkemizde geniş yayılışının bulunması, ekstrem yetişme ortamı koşullarına dayanıklı olması ve stebe en çok giren tür olması nedeniyle, ağaçlandırma çalışmalarında sıkça kullanılmakta ve ekonomik anlamda önem taşımaktadır. Yapılacak olan ağaçlandırma çalışmalarında, Anadolu karaçamının yetişme ortamı özelliklerinin belirlenmesi ve potansiyel olarak verimli olabileceği alanların belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda Anadolu karaçamının yetişme ortamı ile verimliliği (bonitet endeksi) üzerine ülkemizde yapılan birçok çalışma bulunmaktadır (Yavuz vd., 2004; Özkan vd., 2008; Özkan ve Gülsoy, 2009; Güner vd., 2011; Gülsoy vd., 2014). Ancak yapılan çalışmalar Anadolu karaçamının geniş alanlarda yayılış göstermesi nedeniyle çalışma alanlarının yetişme ortamı özellikleri bölgesel ölçekte veriler sunmaktadır. Farklı yörelerde bu tür çalışmaların yapılması ile Anadolu karaçamının yetişme ortamı özellikleri ve verimli olabileceği alanlar belirlenmektedir. Bu sayede benzer yetişme ortamlarında Anadolu karaçamının potansiyel anlamda verimli olacağı sahalarda tespit edilmiş olacaktır. Yapılan bu çalışma ile yarı-kurak ve kurak bir iklime sahip olan İç Anadolu Bölgesi'nde ağaçlandırma çalışmalarının sıklıkla yapılması nedeniyle bölgede Anadolu karaçamının verimli olabileceği alanlar ile yörede türün potansiyel yayılış alanlarının tespit edilmesi ve yapılacak ağaçlandırma çalışmalarına öncelik verilmesi şüphesiz ormancılık çalışmalarına büyük katkı sağlayacaktır.

## Teşekkür

Bu çalışma; Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No: 3724-YL1-13) ve Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Alptekin, Ü. 1986. Anadolu Karaçamının (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) coğrafik varyasyonları. İstanbul Üniversitesi. Orman Fakültesi. Dergisi, Cilt:36, Seri: A, Sayı: 2, 132-154, İstanbul.
- Çepel, N., DüNDAR, M., Günel, A. 1977. Türkiye'nin Önemli Yetiştirme Bölgelerinde Saf Sarıçam Ormanlarının Gelişimi İle Bazı Edafik ve Fizyografik Etmenler Arasındaki İlişkiler, Tübitak, Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu, Proje No: TOVAG 154, Tübitak Yayınları No:354, TOVAG Seri No: 65, Ankara.
- De'ath, G., Fabricius K. E. 2000. Classification and Regression Trees: A Powerful Yet Simple Technique For Ecological Data Analysis, Ecology, 81(11), 3178-3192.
- Gülsoy, S., Süel, H., Çelik, H., Özdemir, S., Özkan, K. 2014. Modeling site productivity of Anatolian Black Pine stands in response to site factors in Buldan District, Turkey. Pakistan Journal of Botany, 46(1): 213-220.
- Gülsoy, S., Özkan, K., Mert, A., Eser, Y. 2008. Chemical compounds of volatile oil obtained from fruit of Crimean Juniper (*Juniperus excelsa*) and leaves of Turkish plateau oregano (*Origanum minutiflorum*) and allelopathic effects on germination of Anatolian Black pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*). Journal of Biological Diversity and Conservation, 1(2): 105-114. [Gülsoy, S., Özkan, K., Mert, A., Eser, Y. 2008. Ardiç (*Juniperus excelsa*) meyvesinden ve Yayla Kekliği (*Origanum minutiflorum*) yapraklarından elde edilen uçucu yağların kimyasal bileşimleri ve Karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) tohumunun çimlenmesi üzerine allelopatik etkileri. Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma Dergisi, 1(2): 105-114.]
- Güner, Ş. T. 2008. Bozkıra Geçiş Bölgesindeki Sarıçam (*Pinus sylvestris* L. subsp. *hamata* (Steven) Fomin) Ormanlarının Gelişimi ile Bazı Yetiştirme Ortamı Özellikleri Arasındaki İlişkiler, Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü Yayını, 358-3, 41s, Eskişehir.
- Güner, Ş. T., Çömez, A., Karataş, R., Çelik, N., Özkan, K. 2011. Eskişehir ve Afyonkarahisar İllerindeki Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Ağaçlandırmalarının Gelişimi ile Bazı Yetiştirme

- Ortamı Özellikleri Arasındaki İlişkiler. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Bakanlık Yayın No: 434, Müdürlük Yayın No: 4, ISBN 978-605-093-8, 83 s., Eskişehir, Türkiye.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jonesand, P. G., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- İzburak, R. 1968. Türkiye Jeomorfogafik Haritası, Harita Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Jenness, J. 2006. Topographic Position Index Extension for ArcView 3.x, v. 1.2. Jenness Enterprises. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>. Erişim Tarihi: 20.01.2012.
- Kalay, H. Z., Yavuz, H., Karagül, R., Altun, L., Tüfekçioğlu, A. 1993. Kızılçamın Orta Karadeniz Bölümü Arazisinde Dikey ve Yatay Yayılışının Bitki Kuşakları ve Türleri Bakımından Ekolojik İncelenmesi. Uluslararası Kızılçam Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Marmaris, 117-128.
- Kalıpsız, A. 1963. Türkiye’de Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) Mesçerelerinin Tabii Bünyesi ve Verim Kudreti Üzerine Araştırmalar. T. C. Tarım Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Sıra No: 349, Seri No: 8, 48-57, İstanbul.
- Kavgacı, A., Arslan, M., Bingöl, M. Ü., Erdoğan, N., Çarni A. 2012. Classification and phytogeographical differentiation of oriental beech forests in Turkey and Bulgaria, *Biologia* 67/3: 461-473.
- McNab, W. H. 1993. A topographic index to quantify the effect of meso scale landform on site productivity. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(6), p:1100-1107.
- Moisen, G. G., Frescino, T. S. 2002. Comparing five modelling techniques for predicting forest characteristics. *Ecological Modelling*, 157, 209-225.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2014. 1/500000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Ankara Paftası. Erişim Tarihi: 12.12.2014. <http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/jed/images/urunler/yeni500/buyuk/ANKARA.rs150pdf.pdf>
- OGM, 2013. Orman Atlası. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özdamar, K. 2002. Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi-1. 4. Baskı, Kaan Kitabevi, Eskişehir, 686 s.
- Özkan, K., Çelik S. 2007. Spatial distribution of *Juniperus excelsa* Bieb. in relation to its site factors. *International Conference on Environment: Survival and Sustainability*, 27 pp., Edited by Prof Dr. Hüseyin Gökçekuş, Organized by Near East University, 19-24 February 2007 Nicosia-Northern, Cyprus.
- Özkan, K., Gülsoy, S., Mert, A. 2008. Interrelations between height growth and site characteristics of *Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. *Journal The Malaysian Forester*, 71: 9-16.
- Özkan, K. 2009. Fuzzy logic applications in estimation of the productivities of forest trees for forestless lands, 2nd European Congress of Conservation Biology "Conservation biology and beyond: from science to practice", Patrons of eccb 2009: Ladislav Miko (Ministry of environment, CZ) , Luigi Boitani (Presedent of Sociaety for Conservation Biology), 98-99, ECCB Prague, Czech Republic, 01-05 September 2009.
- Özkan, K., Gülsoy, S. 2009. Effect of environmental factors on the productivity of crimean pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) in Sutculer, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 30(6), 965-970.
- Özkan, K. 2013. Modeling productivity of Crimean pine by using fuzzy logic applications. *Eurasian Journal of Forest Science*, 1(1), 52-60.
- Pamir, H. N., Erentöz, C. 1975. 1/500 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Ankara Paftası, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, 111s, Ankara.
- Poole, R. W. 1974. *An Introduction To Quantitative Ecology*. McGraw-Hill, Inc., New York, 532 s.
- Saatçioğlu, F. 1976. Silvikültür I. Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 222.
- Spearman, C. 1904. The Proof and Measurement of Association Between Two Things, *American Journal of Psychology*, 15, 72–101.
- Şentürk, Ö. 2012. Sütçüler Yöresi’nde Asli Orman Ağacı Türlerinin Potansiyel Yayılış Alanlarının Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, 180 s.
- Van Niel, K. P., Laffan, S. W., Lees, B. G. 2004. Effect of error in the DEM on environmental variables for predictive vegetation modelling. *Journal of Vegetation Science*, 15/6: 747-756, December 2004.
- Yaltırık, F., Akkemik, Ü. 2011. Türkiye’nin Doğal Gymnospermleri (Açık Tohumlular) Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara
- Yavuz, H., Mısır, N., Mısır, M. 2004. Karaçam Ağaçlandırmalarına İlişkin Büyüme Modelleri, Proje No: TOGTAG-2747, 223 s., Trabzon.
- Zelený, D., Chytrý, M., 2007. Environmental control of the vegetation pattern in deep river valleys of the Bohemian Massif. *Preslia*, 79, 205-222.

(Received for publication 16 April 2015; The date of publication 15 August 2015)