

Türkiye'deki karaçam ağaçlandırmalarının verimlilik modellemesi

Şükrü Teoman Güner^{1*}, Aydın Çömez¹, Kürşad Özkan², Rıza Karataş¹, Nejat Çelik¹

¹ General Directorate of Forestry, Institute of Forest Soils and Ecology Research, 26160, Eskisehir, Turkey

² Suleyman Demirel University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, 32200, Isparta, Turkey

* Corresponding author e-mail (İletişim yazarı e-posta): teomanguner@ogm.gov.tr

Received (Geliş tarihi): 06.03.2015 - Revised (Düzelme tarihi): 26.03.2015 - Accepted (Kabul tarihi): 27.03.2015

Özet: Bu çalışma, Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasina* (Lamb.) Holmboe) ağaçlandırmalarının gelişimi ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla farklı bakı, yükselti, yamaç konumu, eğim ve bonitet sınıfından toplam 118 alandan örnekleme yapılmıştır. Her örnek alanda meşcere üst boyunda bulunan bir ağaç kesilmiş ve toprak çukuru açılarak ayrılan horizonlardan toprak örnekleri alınmıştır. Laboratuvarında toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Örnek alanlardaki ağaçların üst boy değerleri ile anakaya, toprak, iklim ve fizyografik faktörler arasındaki ilişkiler korelasyon analizi, aşamalı regresyon analizi ve regresyon ağacı yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Örnek alanlardaki ağaçların üst boy değerleri ile fizyografik yetiştirme ortamı faktörlerinden yükselti, eğim ve yamaç konumu; iklim özelliklerinden yıllık yağış ve en kurak ayın yağış miktarı; anakayalardan mikaşist, gnays ve dasit; toprak özelliklerinden solum derinliği (mutlak toprak derinliği) arasında önemli ilişkiler bulunmuştur. Karaçam ağaçlandırmalarının boy gelişimi aşamalı regresyon analiziyle % 34,7 ve regresyon ağacı yöntemi ile % 54,4 oranında açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karaçam, ağaçlandırma, bonitet endeksi, yetiştirme ortamı özellikleri

Modelling the productivity of Anatolian black pine plantations in Turkey

Abstract: This study was carried out to determine the relationships between height growth (site index) of Anatolian black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasina* (Lamb.) Holmboe) and site factors of the plantation areas in Turkey. Data were collected from 118 sample plots by taking into consideration the variations of aspect, altitude, slope position, slope degree and site class. A representative tree for the productivity and soil samples were taken at each sample plot. Some chemical and physical properties of soil samples were determined in the laboratory. The relationships between site index values of the trees and site factors including parent material, soil, climate and topography were examined by using correlation, stepwise regression and regression tree analysis. Significant linear relations were found between site index of black pine and site factors being altitude, slope degree, slope position, annual rainfall, and precipitation amount in the most drought month, solum depth and bedrock including granite, mica schist and dacite. Explanation variance percentage on the site index of black pine was found 54.4% by using regression tree analysis whereas explained variance become 34.7% by stepwise regression analysis.

Keywords: Anatolian black pine, plantation, site index, environmental factors

1. GİRİŞ

Kesintili bir yayılış alanına sahip olan karaçam (*Pinus nigra* Arnold.), Güney Avrupa, Kuzeybatı Afrika ve Türkiye'de (Anadolu'da) yayılmaktadır (Vidaković, 1991). Bu tür ssp. *nigra*, ssp. *salzmannii*, ssp. *laricio*, ssp. *dalmatica* ve ssp. *pallasiana* olmak üzere sistematik bakımdan 5 alt türe ayrılmıştır (Tutin ve ark., 1993). Bu alt türlerden Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* J. F. Arnold. subsp. *pallasina* (Lamb.)

To cite this article (Atıf) : Güner, Ş.T., Çömez, A., Özkan, K., Karataş, R., Çelik, N., 2016. Türkiye'deki karaçam ağaçlandırmalarının verimlilik modellemesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(1): 159-172. DOI: [10.17099/jffiu.18731](http://dx.doi.org/10.17099/jffiu.18731)



Holmboe var. *pallasiana*) (Güner ve ark., 2012) doğal olarak Türkiye, Trakya, Kırım, Balkanlar, Güney Karpatlar, Kıbrıs, Batı Kafkasya ve Batı Suriye’de yayılış göstermektedir (Davis, 1965; Anşin ve Özkan, 1993).

Türkiye’de 2012 yılı verilerine göre 21,7 milyon hektar orman alanı bulunmaktadır. 4,7 milyon hektarlık yayılışı ile ibrelili türler içinde kızılçamdan sonra ikinci sırada yer alan karaçam (Anonim, 2014), gerek yayılış alanı gerekse odununun kullanım yeri bakımından önemli bir ağaç türümüzdür.

Türkiye’deki yayılış mntıklararı Marmara, Kuzey, Batı ve Güney Anadolu’dur. Doğu Karadeniz’in deniz iklimli mntıklarlarında bulunmaz. Bu durum onun yetiştirme ortamı isteklerini değerlendirme bakımından önemlidir. Karaçam yaklaşık olarak 700-1400 m yükseltiler arasında geniş alanlarda saf ormanlar oluşturur. 1400-1700 m’ler arasında Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)’la karışık fakat küçük alanlarda bulunur. Anadolu’da bozkıra en çok sokulan türdür. İç Anadolu’da bozkır kıyılarında 900 m yükseltilerde bulunduğu gibi, yükseklerde 1500 m’ye ve tek olarak da daha yükseklere çıkar. Gerek yaz kuraklığına ve sıcaklarına, gerekse kış soğuklarına karşı dayanıklı olup, toprak istekleri bakımından da kanaatkârdır (Saatçioğlu, 1976).

Karaçam bu özellikleri sebebi ile yarı kurak iklim özelliklerine sahip olan İç Anadolu Bölgesi’ndeki ağaçlandırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Türün 2000 yılı sonu itibariyle ülkemizde 540.445 hektar ağaçlandırması yapılmıştır (Konukcu, 2001). Ancak, bölgede yapılan karaçam ağaçlandırmalarında gelişim farklılıklarına rastlanılmaktadır. Bu durumun büyük ölçüde yetiştirme ortamı farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Başarılı bir ağaçlandırma, söz konusu ağaç türünün yetiştirme ortamı istekleri hakkında yeterli bilgiye sahip olmakla mümkündür.

Ülkemizin % 35’inin yarı kurak iklim tipinin etkisi altında bulunduğu, son yıllardaki ağaçlandırmaların büyük bir bölümünün yarı kurak mntıklararda yapıldığı ve potansiyel ağaçlandırma alanlarının çoğunluğunun da bu bölgelerde bulunduğu bilinmektedir. Bu durumda, karaçamın en iyi gelişebileceği alanlarda ağaçlandırma çalışmalarına öncelik verilmelidir. Zira, türün en iyi gelişebileceği alanlara öncelik vererek ağaçlandırma çalışmalarına başlanması dönem sonu bileşik faiz sebebiyle en yüksek kazancın elde edilmesi anlamına gelmektedir (Daşdemir, 1992). Diğer yandan, türün en iyi gelişebileceği ortamlarda ağaçlandırma çalışmalarının yapılması ile fidan tutma başarısının en yüksek oranda olabileceği ve ağaçlandırma masraflarının azaltılabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Ülkemizde, karaçamın ekolojisi (Yücel, 1995; Yücel, 2000; Sevgi, 2003; Özkan, 2004; Sevgi ve Tecimen, 2009) ve boy gelişimi ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırıldığı çalışmalar (Eruz, 1984; Özkan ve ark., 2008; Özkan ve Gülsoy, 2009; Güner ve ark., 2011a; Güner ve ark., 2011b; Gülsoy ve ark., 2014; Polat ve ark., 2014) mevcuttur. Ancak bu araştırmalardan Güner ve ark. (2011a), Güner ve ark. (2011b) ile Polat ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmaların dışındaki araştırmalar türün doğal olarak yayıldığı orman alanlarında gerçekleştirilmiştir. Araştırmamız, potansiyel ağaçlandırma alanı özelliklerini taşıyan alanlarda ve plantasyon ormanlarında gerçekleştirilmesi sebebiyle diğer araştırmalardan ayrılmaktadır.

Bu çalışmada karaçam ağaçlandırmalarının gelişiminde etkili olan edafik, fizyografik ve klimatik yetiştirme ortamı faktörlerinin tespit edilmesi ve bu faktörlere göre kestirimde bulunacak bir verimlilik modelinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonuçlarının, karaçam ağaçlandırma alanlarının seçimine ve orman amenajmanı çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırma Alanının Tanıtımı

Araştırma alanı 38°23’00’’ - 41°30’58’’ kuzey enlemleri ile 29°33’33’’ - 30°03’37’’ doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Araştırma alanı Türkiye’nin yetiştirme ortamı bölgelerinden 1- İç Anadolu Bölgesi, Batı İç Anadolu Yetiştirme Ortamı Bölgesi, 2- Marmara Bölgesi, Anadolu Bölümü, 3- Karadeniz Bölgesi, Batı Karadeniz Bölümü, 4- Ege Bölgesi, İç Ege Bölümü içerisinde kalmaktadır (Kantarci 2005). Araştırma

alanındaki önemli dağ kütleleri Sultan Dağları (2610 m), Türkmen Dağı (1826 m), Sündiken Dağları (1818 m), Sivrihisar Dağları (1526 m), Emir Dağları (2281 m), Küre Dağları (2019 m), Alaçam Dağları (1591 m), Kaz Dağları (1767 m), Simav Dağları (1801 m), Eğrigöz Dağı (2181 m) ve Murat Dağı (2224 m)'dir (İzbirak, 1968).

1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası'nın Ankara, İzmir ve Sinop paftaları içerisinde kalan araştırma alanında dasit, riyolit, bazalt, andezit, granit, volkanik tüf, aglomera, breş, kuvarsit, mikaşist, kireç taşı ve serpantin anakayaları sıklıkla bulunmakta olup (Pamir ve Erentöz 1975), en yaygın toprak tipi esmer orman toprağıdır (Güner ve ark., 2011a).

Araştırma alanları Eskişehir, Afyonkarahisar, Kastamonu, Çanakkale, Balıkesir ve Kütahya il sınırları içerisinde kalmaktadır (Şekil / Figure 1). İklim değerlendirmelerinde ağaçlandırma alanlarına en yakın mesafede bulunan Kastamonu, Çanakkale, Balıkesir, Dursunbey, Kütahya, Tavşanlı, Simav, Eskişehir, Mihaliççık, Sivrihisar, Emirdağı, Dinar ve Çay meteoroloji istasyonu verileri kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama yüksek sıcaklık 13,6-28,4 °C, yıllık ortalama sıcaklık 8,9-14,4 °C, yıllık yağış ise 374,2-796,2 mm arasında değişmektedir (Anonim, 2000).



Şekil 1. Araştırma alanlarının konumu
Figure 1. Location of the study area

Araştırma alanında Eskişehir, Karadeniz ile İç Anadolu yağış rejimi arasında bir geçiş tipi; Afyonkarahisar, İç Anadolu yağış rejimi; Kütahya, Akdeniz ile İç Anadolu yağış rejimi; Kastamonu, kontinental yağış rejimi; Çanakkale ve Balıkesir, Akdeniz yağış rejimi içinde bulunmaktadır (Anonim, 1989). Thornthwaite yöntemine göre, Balıkesir, Eskişehir, Afyonkarahisar, Dinar, Emirdağı, Kastamonu ve Sivrihisar kurak-az nemli, Kütahya yarı nemli ve Simav nemli bir iklime sahiptir (Akgündüz, 2000). Araştırma alanlarının, en yakın meteoroloji istasyonlarından enterpole edilen veriler kullanılarak Erinç yöntemine göre hesaplanan iklim tipleri Tablo / Table 1'de verilmiştir (Özyuvacı, 1999).

Tablo 1. Araştırma alanlarının Erinç yöntemine göre iklim tipleri
Table 1. Climate types of the study area according to Erinç method

İli	İlçesi	Ağaçlandırma sahası	Yükselti (m)	Yağış Etkenliği indisi (Im)	İklim tipi
Eskişehir	Merkez	Musaözü, Kocakır, İmişçir, Kalabak	900	25,9	Yarı nemli
Eskişehir	Sivrihisar	Kaymaz	1100	24,1	Yarı nemli
Eskişehir	Mihalıççık	Ormantep, Kızıldağ	1100	26,4	Yarı nemli
Eskişehir	Mihalıççık	Ormantep	1300	37,5	Yarı nemli
Afyonkarahisar	Çay	Çayderesi, Dortderesi	1300	28,8	Yarı nemli
Afyonkarahisar	Çay	Çayderesi, Dortderesi	1500	34,8	Yarı nemli
Afyonkarahisar	Emirdağı	Köroğlubeli	1300	36,4	Yarı nemli
Afyonkarahisar	Emirdağı	Köroğlubeli	1500	46,2	Nemli
Afyonkarahisar	Sandıklı	Kestel	1100	31,2	Yarı nemli
Kastamonu	Merkez	Merkez	800	19,9	Yarı kurak
Kastamonu	Merkez, Araç	Merkez, Araç	1000	25,3	Yarı nemli
Kastamonu	Merkez	Merkez	1400	37,6	Yarı nemli
Çanakkale	Yenice	Çımarcık, Üççeşmeler	500	28,9	Yarı nemli
Balıkesir	Dursunbey	Yayla	1000	30,8	Yarı nemli
Kütahya	Merkez	Pusan	1100	38,1	Yarı nemli
Kütahya	Tavşanlı	Merkez	900	19,5	Yarı kurak
Kütahya	Simav	Nadarçanı	1100	39,1	Yarı nemli
Kütahya	Simav	Fındıkçukuru, Demirbökü	1400	47,4	Nemli

Araştırma alanında doğal yayılış gösteren ağaç ve çalı taksonları, *Quercus cerris* L. var. *cerris*, *Quercus pubescens* Willd., *Quercus infectoria* Olivier, *Quercus trojana* P.B. Webb, *Quercus petraea* (Mattuschka) Lieb. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb.) Krassiln., *Quercus vulcanica* Boiss. & Heldr. ex Kotschy, *Juniperus excelsa* Bieb., *Juniperus foetidissima* Willd., *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus*, *Acer hyrcanum* Fisch. & Mey. subsp. *sphaerocaryum* Yalt., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Hudson, *Corylus colurna* L., *Jasminum fruticans* L., *Ligustrum vulgare* L., *Lonicera etrusca* Santi var. *etrusca*, *Lonicera caucasica* Pallas subsp. *orientalis* (Lam.) Chamb. & Long, *Viburnum lantana* L., *Crataegus monogyna* Jacq. subsp. *monogyna*, *Crataegus orientalis* Pallas ex Bieb. var. *orientalis*, *Sorbus torminalis* (L.) Crantz var. *torminalis*, *Sorbus umbellata* (Desf.) Fritsch in Kerner, *Amelanchier rotundifolia* (Lam.) Dum. -Courset subsp. *rotundifolia*, *Rosa canina* L., *Rubus canescens* DC. var. *glabratus* (Godron) Davis & Meikle, *Pyrus elaeagnifolia* Pall., *Cerasus mahaleb* (L.) Miller var. *mahaleb*, *Prunus divaricata* Ledeb. subsp. *divaricata*, *Amygdalus communis* L., *Malus sylvestris* Miller subsp. *orientalis* (A. Uglitzkich) Browicz var. *orientalis*, *Cotoneaster nummularia* Fisch. & Mey., *Chamaecytisus hirsutus* (L.) Link, *Berberis crataegina* DC., *Rhamnus rhodopeus* Velenovsky, *Euonymus latifolius* (L.) Miller subsp. *latifolius*, *Cistus laurifolius* L., *Daphne oleoides* Schreber subsp. *oleoides*, *Robinia pseudoacacia* L. dir. Bu taksonlardan, 16 adedinin (% 42,1) fitocoğrafik bölgesi bilinmektedir. Bunların % 21,0'i Avrupa – Sibiryaya, % 18,4'i Akdeniz ve % 2,6'sı ise İran – Turan elementidir (Güner ve ark., 2011a).

2.2. Arazi Örneklemesi ve Laboratuvar Analizleri

Örneklemeler, araştırma alanı içerisinde, bakı, yükselti, yamaç konumu, eğim ve verim sınıfı bakımından farklılık gösteren 118 alandan yapılmıştır (Tablo / Table 2). Örnek alanlar kare (10x10 m) veya dikdörtgen (20x10 m) şeklinde ve içerisine en az 15 adet ağaç girecek büyüklükte (100-200 m²) alınmıştır (Çepel ve ark., 1977). Örnek alanların konumu (enlem, boylam), eğimi, yükseltisi, bakışı ve yamaç konumu belirlenmiştir. Konum (m) GPS, eğim (%) klizimetre, yükselti (m) altimetre, bakı pusula ile belirlenmiştir. Yamaç konumunun belirlenmesinde, bir yamacın üst kısmındaki sırt çizgisi ile etek kısmı arasındaki yamaç uzunluğu 100 birim kabul edilmiş, yamaç üst kenarından olan ortalama uzaklık yamaç uzunluğunun yüzdesi olarak hesaplanmıştır (Zech ve Çepel, 1972). Fizyografik faktörlere ilişkin elde edilen sonuçlar 1/25000 ölçekli eş yükselti eğrili harita ile kontrol edilmiştir. Her örnek alanda bir adet toprak çukuru açılmıştır. Açılan toprak çukurunda mineral toprak horizonları ayrılarak genetik toprak tipi belirlenmiş (Kantarıcı, 2000) ve teşhisi yapılmak üzere anakaya örnekleri alınmıştır. Toprak tipi ve yetiştirme ortamı arazide tanımlandıktan sonra, ayrılan mineral toprak horizonlarından, bir litre hacmindeki silindirelerle toprak örnekleri alınmıştır. Daha sonra örnek alanlarda, meşcere üst boyuna sahip beş ağaçta yaş ve boy ölçümleri yapılmış, ortalamaya en yakın olan ağaç kesilerek boyu cm hassasiyetinde ölçülmüş ve dip kütükteki yıllık halkalardan yaş sayımı yapılmıştır.

Laboratuvara getirilen 580 adet toprak örneği hava kuru hale geldikten sonra öğütülerek iki mm'lik elekten geçirilmiş ve tartılmıştır. Eleğin üzerinde kalan taş hacmi belirlenmiştir. Toprak örneklerinde higroskopik nem 105 °C'de kurutularak, tane çapı (toprak türü) hidrometre yöntemiyle, toprak reaksiyonu (pH) 1:2,5 toprak-su çözeltisinde, organik karbon Walkley-Black ıslak yakma yöntemiyle, toplam karbonat Scheibler kalsimetresi ile tayin edilmiştir (Irmak, 1954; Gülçur, 1974).

Tablo 2. Örnek alanların yetiştirme ortamı özelliklerine göre dağılımı
Table 2. Distribution of sample plots according to site factors

YÜKSELTİ							
< 800 m	800-1000 m	1000-1200 m	1200-1400 m	1400-1600 m	>1600 m		
1	35	31	29	19	3		
EĞİM							
Düz (% 1-3)	Az eğimli (% 4-9)	Orta eğimli (% 10-17)	Çok eğimli (% 18-36)	Dik eğimli (% 37-58)	Sarp (% 59-100)		
14	36	26	20	19	3		
YAMAÇ KONUMU							
Sırt (% 0)	Üst yamaç (% 1-25)	Yukarı orta yamaç (% 26-50)	Aşağı orta yamaç (% 51-75)	Alt yamaç (% 76-100)	Etek, düzlük (% >100)		
12	25	23	26	27	5		
BAKI							
Kuzeydoğu	Kuzey	Kuzeybatı	Doğu	Güneydoğu	Güney	Güneybatı	Batı
21	13	13	5	12	14	20	20
ANAKAYA							
Dasit	Riyolit	Tüf	Mikaşist	Serizitist	Talkşist	Siyahmermer	Kuarsit
19	4	9	26	12	2	5	6
Gnays	Filiş	Neojen	Kireçtaşı	Kumtaşı	Grovak		
2	2	4	25	1	1		

Kesilen ağaçların yaş ve boy değerleri kullanılarak, karaçam ağaçlandırmaları için hazırlanan hasılat tablosunda (Yavuz ve ark., 2004), örnek alanların 40 yaşındaki meşçere üst boyları (BE₄₀) bulunmuştur.

2.3. Değerlendirme

Üst boy, silvikültürel işlemlerden önemli derecede etkilenmemesi, büyüme seyri en iyi şekilde yansıtması ve birim alandaki verim gücü ile sıkı ilişki içinde bulunması sebebiyle meşçere gelişim ölçüsü olarak alınmış (Irmak, 1970; Fırat, 1972) ve istatistik analizlerde bağımlı değişken olarak kullanılmıştır.

Bağımsız değişkenlerden yükselti metre, eğim ve yamaç konumu % olarak veri matrisinde depolanmıştır. Bakı ise aşağıda verilen formül (Formül 1) kullanılarak radyasyon indeksine dönüştürülmüş (Moisen ve Frescino, 2002; Aertsen ve ark., 2010) ve istatistik analizler için hazır hale getirilmiştir.

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

Formülde, *RI*: Radyasyon indeksini, *Q*: Örnek alanın kuzeye göre semt açısını ifade etmektedir.

Örnek alanların iklim özelliklerinin değerlendirilmesinde örnek alana en yakın mesafede bulunan meteoroloji istasyonu verileri kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonu verileri örnek alanlara enterpole edilirken sıcaklık değerleri her 100 m'de 0,5 °C azaltılmış, yağış değerleri ise her 100 m'de yıllık yağışa 54 mm ilave edilmiş ve oransal olarak aylara dağıtılmıştır (Özyuvacı, 1999).

Örnek alanların toprak özelliklerinin değerlendirilmesinde, birim hacimdeki değerler kullanılmıştır. Bunun için toprak örneklerinin analiz sonucu elde edilen yüzde değerleri (100 g kuru madde için) her toprak horizonunun bir litre hacimdeki ince toprak (< 2 mm) miktarı ile çarpılarak birim hacimdeki değerlere çevrilmiştir. Bir litre hacim değeri aynı zamanda bir m² yüzeye sahip, bir mm kalınlığındaki toprak hacmini temsil etmektedir. İncelenen her madde için bulunan hacim değerleri, ait oldukları horizonların mm cinsinden kalınlıkları ile çarpılarak, her horizonunda bir m² alandaki madde miktarı bulunmuştur. Horizonlardaki madde miktarları toplanarak, bir m² yüzeye sahip ve bir m derinlikteki toprak sütununda, diğer bir ifadeyle bir “pedon” daki madde miktarı elde edilmiştir. En alttaki horizonundan ise bir m’yi tamamlayacak kadar bir derinlik alınmıştır.

Üst boy değerleri ile yetişme ortamı özellikleri arasındaki ikili ilişkiler korelasyon ve regresyon analizi ile incelenmiştir. Sürekli değişkenler için Pearson, var-yok (anakaya) verileri için Spearman korelasyon analizi yapılmıştır. Böylece verimlilikte önemli derecede etkili olan değişkenlerin neler olduğunun belirlenmesi sağlanmıştır. Üst boy ile önemli derecede ilişki gösteren değişkenlerden en sağlıklı değişken setini verecek modelleri belirlemek amacıyla aşamalı regresyon analizi yapılmıştır (Kalıpsız, 1994; Özdamar, 2002). Ayrıca üst boy ile yetişme ortamı özellikleri arasındaki ilişkiler regresyon ağacı yöntemi ile de incelenmiştir. Regresyon ağacı tekniğinde DTREG paket programı (DTREG, 2015) kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Örnek alanların BE₄₀ ile fizyografik, edafik ve iklimik özellikleri Tablo / Table 3’de verilmiştir. Örnek alanların 40 yaşındaki meşcere üst boyları 7,0 ile 24,0 m arasında değişmektedir. Örnekleme alanlarının toprak profillerinde, genelde iki farklı horizon sıralanması mevcuttur. Bunlardan birincisi 1000-1200 m yükseltilerin altında bulunan Ah, Bv, BC ve Cv horizon sıralanması gösteren kireçli-kireçsiz esmer orman toprağı; ikincisi ise 1000-1200 m yükseltinin üzerinde bulunan Ah, Ael, Bst, BC ve Cv horizon sıralanması gösteren solgun ve boz esmer orman topraklarıdır.

BE₄₀ ile yetişme ortamı özellikleri arasındaki ilişkilere ait korelasyon analizleri Tablo / Table 4 ve 5’te, regresyon analizleri ise Şekil / Figure 2’de verilmiştir. BE₄₀ ile yükselti, eğim ve yamaç konumu arasında pozitif yönde önemli ilişkiler bulunmuş, bakı arasında ise anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Yükseltinin ekolojideki önemi iklime yaptığı etkiden kaynaklanmaktadır. Ülkemizdeki karaçam ağaçlandırma alanları genel olarak bozkırın etrafında bulunmakta ve vejetasyon döneminde toprakta su açığı meydana gelmektedir (Güner ve ark., 2011a). Dolayısıyla, araştırma alanlarındaki sınırlayıcı faktör su açığıdır. Bu sebeple, yükseltiye bağlı olarak yağışın artması, boy büyümesinin yükselti ile artmasına yol açmıştır. Ayrıca yükseltideki artış, sıcaklığın düşmesine, buharlaşmanın azalmasına ve beraberinde daha nemli yetişme ortamlarının oluşmasına sebep olacaktır. Keza, sarıçamda (Çepel ve Dündar, 1980; Güner, 2006) ve karaçamda (Özkan ve ark., 2008) yapılan çalışmalarda da benzer bulgulara ulaşılmıştır. Ancak sarıçamda (Çepel ve ark., 1977), Doğu ladininde (Kalay, 1989; Daşdemir, 1992; Ercanlı ve ark., 2008) ve *Pinus radiata*’da (Romanyà ve Vallejo, 2004) yapılan çalışmalarda yükselti ile boy gelişimi arasında negatif bir ilişki belirlenmiştir. Doğu ladininde yapılan çalışmalarda, boy büyümesinin yükselti ile negatif ilişki vermesinde, yörede su açığı bulunmadığı halde yükseltideki artışa bağlı olarak sıcaklığın azalmasının, vejetasyon döneminin kısalmasının, boy büyümesinde gerilemelere sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, yükseltideki artışa bağlı olarak kötüleşen edafik şartlar ve artan rüzgâr-fırtına zararları da kuşkusuz, boy gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Genç, 2004).

Örnek alanların yamaç konumları (yamaç üst kenarından olan uzaklık) ile boy büyümesi arasında pozitif ilişki bulunmuştur. Bu konuda yapılmış çalışmaların hemen hepsinde olduğu gibi karaçamda yapılan araştırmalarda da (Eruz, 1984; Özkan ve ark., 2008; Gülsoy ve ark., 2014) benzer bulgulara ulaşılmıştır. Çünkü yamaç üst kenarından aşağılara inildikçe ağaçların su ve besin maddelerinden yararlanma imkânları daha fazla olmaktadır.

Tablo 3. Örnek alanların BE₄₀, fizyografik, edafik ve iklimik özellikleri
Table 3. Site index (SI₄₀), physiographic, edaphic and climatic properties of sample plots

Değişkenler	Kodu	Birimi	Min.	Maks.	Ortalama
Bonitet endeksi (40 yaş)	BE ₄₀	m	7,0	24,0	12,9
Yükselti	Y	m	530	1700	1175,9
Eğim	E	%	1,0	80,0	18,3
Yamaç konumu	YK	%	0,0	100,0	49,5
Bakı	RI		0,017	0,983	0,446
Solum (mutlak toprak derinliği)	SLM	cm	14,0	60,0	33,0
İnce toprak miktarı	İTM	kg/m ³	329,2	1555,5	908,0
İskelet hacmi	İH	l/m ³	17,2	443,3	177,1
Kum	KUM	kg/m ³	141,1	979,6	492,7
Toz	TOZ	kg/m ³	25,4	355,5	136,6
Kil	KİL	kg/m ³	43,3	680,3	278,7
Toplam karbonat	TK	kg/m ³	0,0	509,9	104,9
Organik karbon	OC	kg/m ³	3,2	20,2	8,6
Toprak reaksiyonu	pH		5,0	8,65	7,19
Yıllık ortalama sıcaklık	YOS	°C	7,5	12,5	9,7
Ortalama yüksek sıcaklık	OYS	°C	13,4	24,7	16,4
En soğuk ayın ortalama sıcaklığı	ESOAOS	°C	-3,3	3,7	-1,1
En sıcak ayın ortalama sıcaklığı	ESIAOS	°C	18,9	22,9	20,6
4 yaz ayının ortalama sıcaklığı	4YAOS	°C	16,7	20,8	18,6
Yıllık yağış	YY	mm	394,7	1106,7	542,6
4 yaz ayındaki yağış miktarı	4YAYM	mm	61,8	207,1	99,9
En kurak ayın yağış miktarı	EKAYM	mm	8,1	38,5	14,6
Erinç indisi	Eİ		20,8	55,6	33,5

Tablo 4. BE₄₀ ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon analizi sonuçları
Table 4. Results of Pearson rank correlation analysis of relationships between SI₄₀ and site properties

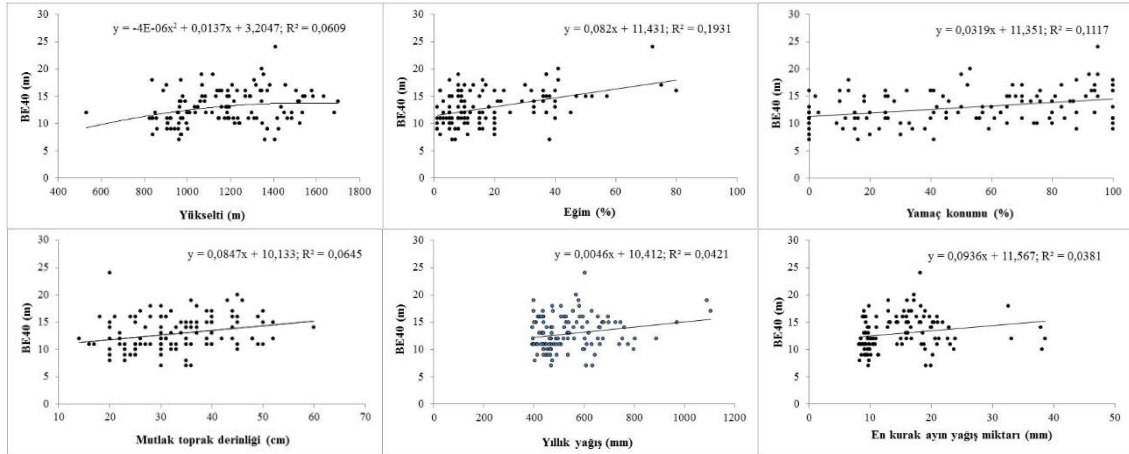
Değişkenler	BE ₄₀ (m)	Değişkenler	BE ₄₀ (m)	Değişkenler	BE ₄₀ (m)
Y	r 0,334** p 0,012	KUM	r 0,109 ^{ns} p 0,242	OYS	r 0,088 ^{ns} p 0,344
E	r 0,439** p 0,000	TOZ	r 0,124 ^{ns} p 0,180	Eİ	r 0,142 ^{ns} p 0,124
YK	r 0,334** p 0,000	KİL	r -0,026 ^{ns} p 0,783	ESOAOS	r 0,048 ^{ns} p 0,609
RI	r -0,042 ^{ns} p 0,655	TK	r -0,144 ^{ns} p 0,119	ESIAOS	r 0,077 ^{ns} p 0,410
SLM	r 0,254** p 0,006	OC	r 0,118 ^{ns} p 0,204	4YAOS	r -0,114 ^{ns} p 0,220
İTM	r 0,109 ^{ns} p 0,239	YOS	r -0,036 ^{ns} p 0,700	EKAYM	r 0,195* p 0,034
İH	r 0,158 ^{ns} p 0,087	YY	r 0,205* p 0,026	4YAYM	r 0,067 ^{ns} p 0,469

^{ns}: önemsiz, *: p<0,05, **: p<0,01

Tablo 5. BE₄₀ ile anakayalar arasındaki ilişkilere ait Spearman's korelasyon analizi sonuçları
Table 5. Results of Spearman's rank correlation analysis of relationships between SI₄₀ and main rocks

Değişkenler	BE ₄₀ (m)	Değişkenler	BE ₄₀ (m)	Değişkenler	BE ₄₀ (m)
Dasit	r -0,306** p 0,001	Talkışist	r 0,029 ^{ns} p 0,754	Neojen	r -0,071 ^{ns} p 0,443
Riyolit	r -0,038 ^{ns} p 0,682	Siyahmermer	r 0,123 ^{ns} p 0,184	Kireçtaşı	r -0,095 ^{ns} p 0,305
Tüf	r -0,081 ^{ns} p 0,382	Kuvarsit	r -0,120 ^{ns} p 0,195	Kumtaşı	r -0,015 ^{ns} p 0,872
Mikaşist	r 0,341** p 0,000	Gnays	r 0,201* p 0,029	Grovak	r -0,015 ^{ns} p 0,872
Serizitşist	r 0,078 ^{ns} p 0,402	Filiş	r 0,018 ^{ns} p 0,843		

^{ns}: önemsiz, *: p<0,05, **: p<0,01



Şekil 2. BE₄₀ ile yetiştirme ortamı özelliklerine ait regresyon analizi sonuçları
Figure 2. The results of regression analysis between SI₄₀ and site properties

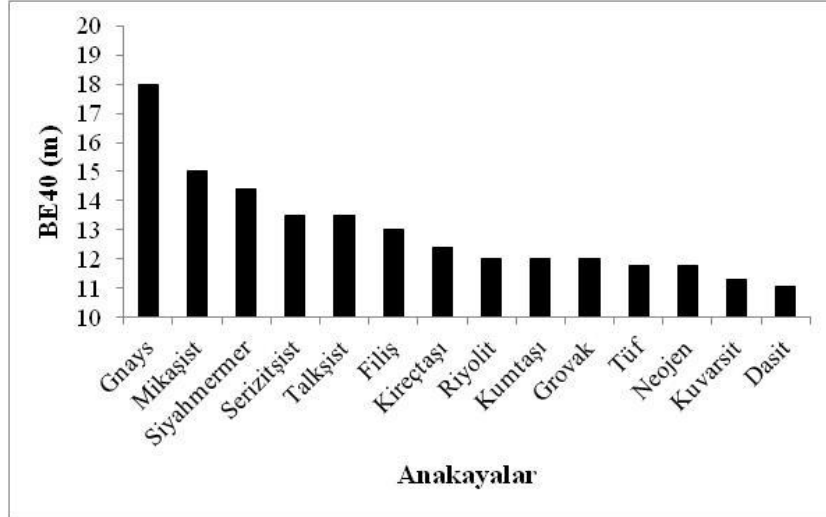
Araştırmamızda boy gelişimi ile eğim arasında pozitif bir ilişki belirlenmiştir. Sarıçamda (Güner, 2006) ve göknarda (Saraçoğlu, 1989) yapılan araştırmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak, Doğu ladini (Kalay, 1989; Günlü ve ark., 2006; Ercanlı ve ark., 2008), doğu kayını (Yılmaz, 2005) ve kasnak meşesinde (Karataş ve ark., 2013) yapılan çalışmalarda zıt sonuçlar elde edilmiştir. Karaçamda yapılan çalışmalarda (Eruz, 1984; Özkan ve ark., 2008) ise boy gelişimi ile eğim arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Yamaç eğimi, lokal iklim üzerinde etkili olduğu gibi toprağın su ve besin ekonomisini de etkilediğinden, az eğimli yerlerde iyi bonitetlerin bulunması doğaldır. Çalışmamızda eğim ile toprakların bir m³ hacimdeki kil ve toz+kil miktarı arasında $P < 0,01$ önem düzeyinde negatif ilişki bulunmuştur. Bu durum, düz ve az eğimli alanlardaki toprakların toz ve kil miktarının daha fazla olduğunu göstermektedir. Toz ve kil miktarının artması, toprakların hava kapasitesinin azalmasına, dolayısıyla da kök gelişiminin engellenmesine ve boy gelişiminin gerilemesine yol açmış olabilir. Ayrıca az eğimli alanlarda toprağın kil içeriğinin yüksek olması, kurak dönemde meydana gelebilecek çatlakları dolayısıyla su kayıplarını da arttırmaktadır. Bu durumun, boy gelişimini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Dolayısıyla, çalışmamızda eğim ile boy gelişimi arasındaki pozitif ilişkinin bu durumlardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Bakının, bir yerin sıcaklık ve nem iklimini önemli derecede etkileyen bir faktör olması nedeniyle boy gelişimi üzerinde etkili olması beklenir. Ancak araştırmamızda, bakı, boy büyümesi üzerinde etkili bir faktör olarak ortaya çıkmamıştır. Bu durum, bakının istatistik hesaplara sayısal değerler halinde bir parametre olarak sokulmasındaki güçlükler ile açıklanmaktadır (Carmean, 1965'e atfen Çepel ve Dündar, 1980). Ayrıca araştırma alanlarındaki su açığının fazla olması, kuzey bakıların da güney bakı kadar kuru olmasına sebep olmuş olabilir. Diğer yandan örneklemelerin yapıldığı alanların genelde peneplen bir arazi yapısına sahip olması sebebiyle, bakı farklılıklarının, iklim özellikleri üzerindeki etkisinin, boy gelişimini etkileyecek düzeyde olmamasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Araştırma kapsamında incelenen toprak özelliklerinden mutlak toprak derinliği (B horizonunun alt sınırı) ile boy gelişimi arasında önemli pozitif bir ilişki belirlenmiştir. Bir m³ hacimdeki ince toprak miktarı, iskelet hacmi, kum, toz, kil, toplam karbonat ve organik karbon miktarı ile boy gelişimi arasında ise anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Toprak derinliğindeki artış, su ve besin ekonomisi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacaktır. Keza, sarıçamda (Çepel ve ark., 1977) ve kasnak meşesinde (Karataş ve ark., 2013) yapılan çalışmalarda da paralel bulgulara ulaşılmıştır.

BE₄₀ çalışma alanında yayılış gösteren anakayalardan mikaşit ve gnays ile pozitif, dasit ile negatif yönde önemli ilişkiler göstermiştir. Ancak ortalama değerlere göre karaçam dasit, tuf, kuvarsit anakayalar ile alüvyal anamateryallerde zayıf, gnays, mikaşit, serisit şist, talk şist ve siyah mermerde ise daha iyi bir gelişim göstermiştir (Şekil / Figure 3). Kantarcı (2000), mikaşitlerden gelişen toprakların genellikle killi

türde, derin ve geçirgenlikleri pek fazla olmayan, besin maddelerince zengin; kuvarsa zengin olan kuvarserisit şistlerin topraklarının, ince kum bakımından zengin, besin maddelerince de fakir topraklar; gnaysların, derin, balçıklı kumdan, kumlu balçık ve balçığa kadar türde süzek topraklar verdiğini bildirmektedir. Güner ve ark. (2011a) karaçamın kaba tekstürlü, hava kapasitesi yüksek, nemli ve besin maddesince zengin topraklarda iyi bir gelişim yaptığını belirlemişlerdir. Yine, karaçamda yapılan başka bir çalışmada, karaçamın kaba tekstürlü ve nemli topraklarda iyi bir gelişim gösterdiği bildirilmektedir (Eruz, 1984).



Şekil 3. Anakayalara göre BE₄₀
Figure 3. SL₄₀ according to parent material

Üst boy (BE₄₀) ile yıllık yağış ve en kurak ayın yağış miktarı arasında pozitif ilişki belirlenirken, diğer iklim özellikleri ile üst boy arasında anlamlı ilişkiler belirlenmemiştir. Keza, İtalya'daki Duglas göknarı ağaçlandırmalarında, bonitet endeksi ile yıllık yağış miktarı ve su fazlası arasında önemli ilişkiler bulunmuştur (Corona ve ark., 1998). Devrek-Akçasu yöresindeki karaçam ağaçlandırmalarında ise boy artımı ile vejetasyon dönemindeki sıcaklık ve yağış değişkenleri arasında önemli ilişkiler belirlenmiştir (Özel ve ark., 2010). Araştırma alanlarında, birbirine yakın ve farklı yükseltilerde meteoroloji istasyonlarının bulunmaması, mevcut istasyonların ise kent merkezlerinde olması sebebiyle, sıcaklık ve yağış değerleri aynı oranlar kullanılarak örnek alanlara enterpole edilmiştir. Bu durum, örnek alanlardaki gerçek sıcaklık ve yağış değerlerinin belirlenmemesine yol açmaktadır. Bu sebeple, örnek alanlara en yakın mesafede bulunan meteoroloji istasyonu verilerine göre enterpole edilen iklim değerlerinin güvenilirliği de sorgulamaya açıktır. Ne var ki, iklim ile boy gelişimi arasındaki ilişkilerinin analitik olarak incelenmesi için başka bir yöntemin de olmadığı bir gerçektir. Dolayısıyla, iklim özellikleri ile boy gelişimi arasında güçlü ilişkilerin belirlenmemesinde bu durumun etkili olduğu düşünülmektedir.

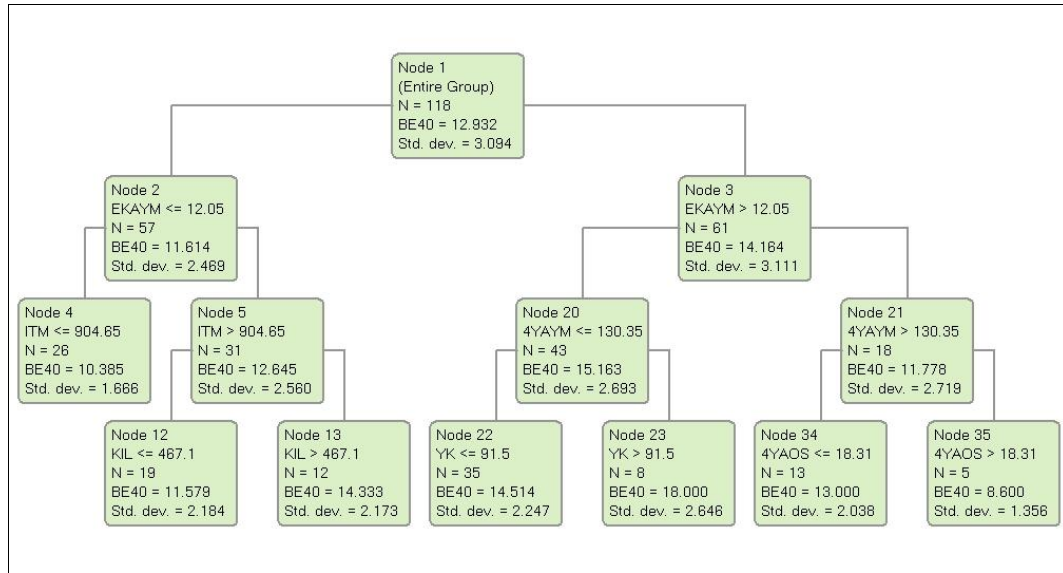
Üst boy ile ilişkili fizyografik faktörler, iklim, anakaya ve bazı toprak özelliklerinin bir m³ hacimdeki değerleriyle yapılan aşamalı regresyon analizinde (Tablo / Table 6) beş model ortaya çıkmıştır. Eğim, yamaç konumu, dasit, gnays ve mikaşist anakaya bağımsız değişken olarak regresyon denkleminde girmiştir. Denklemden bu beş değişkenin 40 yaşındaki üst boyu açıklama oranı % 34,7'dir.

Doğal karaçam ormanlarında yapılan çalışmalarda da benzer bulgulara ulaşılmıştır. Eruz (1984) tarafından Balıkesir yöresinde yapılan çalışmada, yamaç konumu ile bir m³ hacimdeki kum, organik madde, toz+kil, kil, potasyum ve toz miktarı üst boyu % 46 oranında açıklamıştır. Isparta-Sütçüler'de yapılan çalışmada, karaçamın boy gelişimi üzerinde en etkili faktörlerin bakı, yükselti ve eğim olduğu belirlenmiştir (Özkan ve Gülsoy, 2009). Gülsoy ve ark. (2014) tarafından Buldan yöresinde yapılan çalışmada ise kuvarsit anakaya, yamaç konumu ve toprağın birikme (B) horizonundaki kil yüzdesi, üst boydaki değişimi % 66,8 oranında açıklamıştır.

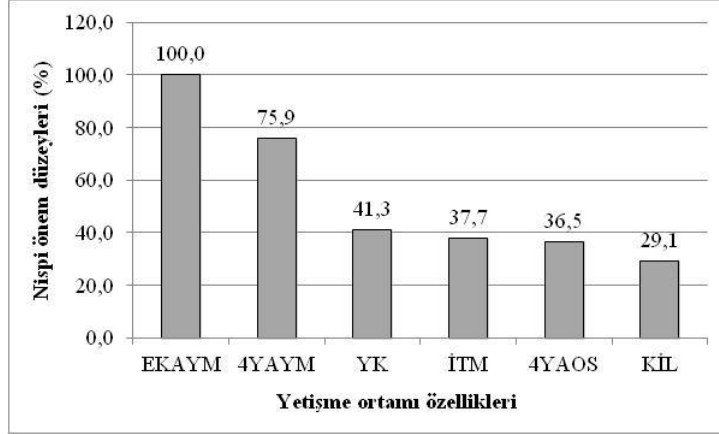
Tablo 6. BE₄₀ ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki aşamalı regresyon analizi sonuçları
 Table 6. Results of stepwise multiple regression analysis of relationships between SI₄₀ and site properties

Model	R ²	P (Model)	SEE	Modele giren değişkenler		P (Değişkenler)	VIF
1	0,193	0,000	2,80	Sabit sayısı	11,431	0,000	
				Eğim	0,082	0,000	1,000
2	0,245	0,000	2,72	Sabit sayısı	10,522	0,000	
				Eğim	0,071	0,000	1,072
				Yamaç konumu	0,023	0,006	1,072
3	0,286	0,000	2,66	Sabit sayısı	10,862	0,000	
				Eğim	0,060	0,000	1,149
				Yamaç konumu	0,025	0,002	1,092
				Dasit	-1,759	0,012	1,076
4	0,315	0,000	2,62	Sabit sayısı	10,832	0,000	
				Eğim	0,059	0,000	1,151
				Yamaç konumu	0,025	0,002	1,092
				Dasit	-1,690	0,014	1,079
				Gnays	4,133	0,029	1,007
5	0,347	0,000	2,56	Sabit sayısı	10,759	0,000	
				Eğim	0,047	0,004	1,263
				Yamaç konumu	0,023	0,004	1,107
				Dasit	-1,400	0,042	1,116
				Gnays	4,626	0,014	1,021
				Mikaşist	1,464	0,022	1,216

BE₄₀ ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki hiyerarşik ilişkileri gösteren regresyon ağacı Şekil / Figure 4'de verilmiştir. Regresyon ağacı modelinde gerçek ve tahmini boy değerleri arasındaki ilişki önemli olup ($P < 0,01$), açıklanan varyans oranı % 54,4'tür. BE₄₀ üzerinde etkili olan yetiştirme ortamı özelliklerinin nispi önem düzeyleri Şekil / Figure 5'te verilmiştir. Şekil / Figure 5 incelendiğinde boy gelişimi üzerinde en etkili faktörün en kurak ayın yağış miktarı olduğu görülmektedir. En kurak ayın yağış miktarını, dört yaz ayındaki (Haziran-Eylül) yağış miktarı, yamaç konumu, dört yaz ayının ortalama sıcaklığı ve kil miktarı takip etmektedir.



Şekil 4. BE₄₀ ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki ilişkilere ait regresyon ağacı analizi sonuçları
 Figure 4. Results of regression tree analysis of relationships between SI₄₀ and site characteristics



Şekil 5. BE₄₀ üzerinde etkili olan yetiştirme ortamı özelliklerinin nispi önem düzeyleri
Figure 5. Relative importance of the site characteristics effecting on SI₄₀

Gülsoy ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, iki ağaç model önerilmiştir. Yamaç konumu ve yükseltinin girdiği birinci modelde $R^2=0,641$; yamaç konumu ve yüzey taşlılığının girdiği ikinci modelde ise $R^2=0,764$ bulunmuştur.

Bu çalışmada, birçok değişken kombinasyonunun denenmesine rağmen modellerin açıklama payları yüksek düzeyde bulunamamıştır. Bu durumun, araştırmanın geniş bir alanda yapılması ve bu alanın birçok yetiştirme ortamı alt bölge ve yörelerini kapsamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR

Karaçam ağaçlandırmalarının BE₄₀ ile yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

BE₄₀ ile yükselti, eğim ve yamaç konumu arasında önemli ilişkiler bulunmuştur. Karaçam ağaçlandırmalarının 1200-1600 m yükselti aralığında yapılması muhtemelen başarıyı arttıracaktır. Eğim derecesi % 1-80 arasında değişen sahalarda karaçamın boy gelişimi eğimdeki artışa paralel olarak artmaktadır. Bu durum, karaçamın düz alanlardan çok, eğimli alanlarda daha iyi bir gelişim yaptığını göstermektedir. Yamaç konumu bakımından, sırt arazilerden taban arazilere doğru inildikçe, karaçamın boy gelişimi artmaktadır. Bu sebeple, karaçam ağaçlandırması yapılacak sahalarda önceliğin, alt yamaç ve orta yamaç arazilere verilmesine dikkat edilmelidir (Bkz. Şekil / Figure 2).

BE₄₀ ile mutlak toprak derinliği arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Bu durum, karaçamın derin topraklarda iyi bir gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca karaçam dasit, tuf, kuvarsit anakayalar ile alüvyal anamateryallerde zayıf, gnays, mikaşist, serisit şist, talk şist ve siyah mermerde ise daha iyi bir gelişim göstermiştir.

BE₄₀ ile yıllık yağış ve en kurak ayın yağış miktarı arasında pozitif yönde bir ilişki belirlenmiştir. Karaçam, yıllık yağışı 400 mm ve en kurak aydaki (ağustos-eylül) yağış miktarı 10 mm'nin üzerinde olan alanlarda daha iyi bir gelişim göstermektedir.

Karaçamın boy gelişiminin modellenmesi için aşamalı regresyon analizi ve regresyon ağacı tekniği kullanılmıştır. Aşamalı regresyon analizi ile elde edilen en iyi modelin açıklama payı % 34,7 olup, modele eğim, yamaç konumu, dasit, gnays ve mikaşist anakaya değişkenleri girmiştir. Regresyon ağacı tekniği ile elde edilen modele en kurak ayın yağış miktarı, 4 yaz ayındaki yağış miktarı, yamaç konumu, ince toprak miktarı, dört yaz ayının ortalama sıcaklığı ve kil miktarı girmiş ve bu modelin açıklama payı % 54,4 bulunmuştur. Regresyon ağacı tekniğinin, çoklu regresyon analizinden daha yüksek sonuç vermesi beklenen bir durumdur. Zira regresyon ağacı tekniği hiyerarşik bir ayırım tekniği olup, sadece doğrusal ilişkileri açıklayabilen çoklu regresyon analizinden, daha avantajlı bir yöntemdir. Bu durumda açıklama

payı daha yüksek olan regresyon ağacı modelinin, potansiyel karaçam ağaçlandırma alanlarının seçiminde, bir bilgi altlığı olarak kullanılmasının daha uygun olacağı söylenebilir.

Orman ağaçlarının gelişiminde genetik yapı, yetiştirme ortamı faktörleri ve genetik yapı-yetiştirme ortamı faktörleri etkileşimi belirleyici etmenlerdir. Dolayısıyla, orman toplumlarının gelişimini sadece çevresel ve antropojen etkilerle ortaya koymak, hatalı sonuçlar verebilir. Bu nedenle, karaçam ağaçlandırmalarında, bu çalışmayla ortaya çıkarılan farklılıkların, genotip analizleriyle desteklenmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, Orman Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen ESK-05 (6302) ve ESK-10 (6307) numaralı araştırma projelerine ait veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Aertsens, W., Kint, V., Orshoven, J., Özkan, K., Muys, B., 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. *Ecological Modelling* 221(8): 1119-1130.

Akgündüz, A.S., 2000. Türkiye’de Yağış, Sıcaklık ve Nem Verilerinin Klimatolojik Analizi Raporu. T.C. Başbakanlık, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, DMİ Yayın No: 2000/07, Ankara.

Anşın, R., Özkan, Z.C., 1993. Tohumlu Bitkiler. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 167/19, Trabzon.

Anonim, 1989. Türkiye’nin Yağış Rejimi. T.C. Başbakanlık, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ziraat Meteoroloji ve İklim Rasatları Daire Başkanlığı, TUMAK Projesi, Ankara.

Anonim, 2000. Kastamonu, Balıkesir, Dursunbey, Kütahya, Tavşanlı, Simav, Eskişehir, Mihalicçık, Sivrihisar, Emirdağı, Dinar ve Çay meteoroloji istasyonlarına ait iklim verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

Anonim, 2014. Türkiye Orman Varlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Yayın No: 115, Ankara.

Corona, P., Scotti, R., Tarchiani, N., 1998. Relationship between environmental factors and site index in Douglas-fir plantations in central Italy. *Forest Ecology and Management* 110: 195-207.

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 Yayınları, Yayın No: 354/65, Ankara.

Çepel, N., Dündar, M., 1980. Bolu- Aladağ Orman Ekosistemlerinde Sarıçam’ın (*Pinus sylvestris* L.) Boy Artımı ile Reliyef ve Toprak Özellikleri Arasındaki İlişkiler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 30(1): 129-140.

Daşdemir, İ., 1992. Türkiye’deki Doğu Ladini (*Picea orientalis* L. Carr.) Ormanlarında Yetiştirme Ortamı Faktörleri-Verimlilik İlişkisi. Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 64, Ankara.

Davis, P. H., 1965. Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Volume 1, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.

Dtreg, 2015. DTREG predictive modeling software. <https://www.dtreg.com/> (Ziyaret tarihi: 16 Şubat 2015)

Ercanlı, İ., Günlü, A., Altun, L., Başkent, E.Z., 2008. Relationship between site index of oriental spruce [*Picea orientalis* (L.) Link] and ecological variables in Maçka, Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23: 319-329.

Eruz, E., 1984. Balıkesir Orman Başmüdürlüğü Bölgesindeki Saf Karaçam Meşcerelerinin Boy Gelişimi ile Bazı Edafik ve Fizyografik Özellikler Arasındaki İlişkiler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3244/368, İstanbul.

Fırat, F., 1972. Orman Hasılat Bilgisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 166, İstanbul.

- Genç, M., 2004. Silvikültürün Temel Esasları. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 44, Isparta.
- Gulsoy, S., Suel, H., Celik, H., Ozdemir, S., Ozkan, K., 2014. Modelling site productivity of Anatolian black pine stands in response to site factors in Buldan District, Turkey. *Pakistan Journal of Botany* 46(1): 213-220.
- Gülçur, F., 1974. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1970/201, İstanbul.
- Güner, Ş.T., 2006. Türkmen Dağı (Eskişehir, Kütahya) Sarıçam (*Pinus sylvestris* ssp. *hamata*) Ormanlarının Yükseltiye Bağlı Büyüme Beslenme İlişkilerinin Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.
- Güner, Ş.T., Çömez, A., Karataş, R., Çelik, N., 2011a. 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 Yayın No: 434/4, Eskişehir.
- Güner, Ş.T., Özkan, K., Çömez, A., Çelik, N., 2011b. İç Anadolu Bölgesi'nde Anadolu karaçamının (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) verimli olabileceği potansiyel alanların odunsu gösterge türleri. *Ekoloji* 20(80): 51-58.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T., 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul.
- Günlü, A., Yılmaz, M., Altun, L., Ercanlı, İ., Küçük, M., 2006. Artvin Genya Dağı Bölgesinde Saf Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) Meşcerelerinin Verimliliği ile Bazı Edafik ve Fizyografik Faktörler Arasındaki İlişkiler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* A(1): 1-10.
- İrmak, A., 1954. Arazide ve Laboratuvarında Toprağın Araştırılması Metodları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 599/27, İstanbul.
- İrmak, A., 1970. Orman Ekolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 599/27, İstanbul.
- İzbirak, R., 1968. Türkiye Jeomorfoğrafik Haritası, Harita Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Kalay, Z., 1989. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Müntakasında Saf Doğu Ladini (Dorukağaç) (*Picea orientalis* (L.) LINK.) Büklerinin Gelişimi ile Bazı Toprak Özelliklerinin ve Fizyografik Etmenlerin Arasındaki İlişkilerin Denel Olarak Araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Doçentlik Tezi, Trabzon.
- Kalıpsız, A.K., 1994. İstatistik Yöntemler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3835/427, İstanbul.
- Kantarci, M.D., 2000. Toprak İlmi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 4261/462, İstanbul.
- Kantarci, M.D., 2005. Orman Ekosistemleri Bilgisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 4594/488, İstanbul.
- Karataş, R., Arslan, M., Güner, Ş.T., Çömez, A., Özkan, K., 2013. Göller Bölgesindeki Doğal Yayılış Alanlarında Kasnak Meşesinin (*Quercus vulcanica* Boiss. And Heldr. Ex Kotschy) Boy gelişimi ile Yetiştirme Ortamı Özellikleri Arasındaki İlişkiler. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü Yayın No: 9/5, Eskişehir.
- Konukcu, M., 2001. Ormanlar ve Ormancılığımız. DPT Yayınları, Yayın No: 2630, Ankara.
- Moisen, G.G., Frescino, T.S., 2002. Comparing five modelling techniques for predicting forest characteristics. *Ecological Modelling* 157: 209-225.
- Özdamar, K., 2002. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-1. Kaan Kitabevi, Eskişehir.

- Özel, H.B., Ertekin, M., Tufanoğlu, G.Ç., 2010. Devrek-Akçasu Yöresindeki Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Ağaçlandırmalarında Boy Artımı ile Bazı İklim Faktörleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Ecological Life Science* 5(4): 376-389.
- Özkan, K., 2004. Beyşehir Gölü havzası'nda Anadolu karaçamının (*Pinus nigra* Arnold) yayılışı ile fizyografik yetişme ortamı faktörleri arasındaki ilişkiler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* A(2): 30-47.
- Özkan, K., Gülsoy, S., Mert, A., 2008. Interrelations between height growth and site characteristics of *Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. *J. The Malaysian Forester* 71: 9-16.
- Özkan, K., Gülsoy, S., 2009. Effect of environmental factors on the productivity of crimean pine (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana*) in Sutculer, Turkey. *Journal of Environmental Biology* 30(6): 965-970.
- Özyuvacı, N., 1999. Meteoroloji ve Klimatoloji, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 4196, İstanbul.
- Pamir, H.N., Erentöz, C., 1975. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Ankara Paftası, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- Polat, S., Polat, O., Kantarcı, M.D., Tüfekçi, S., Aksay, Y., 2014. Mersin Kadıncık Havzası'ndaki sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) ve karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ağaçlandırmalarının boy gelişimi ile bazı yetişme ortamı özellikleri arasındaki ilişkiler. *Ormanlık Araştırma Dergisi* 1(1): 22-37.
- Romanya, J., Vallejo, V.R., 2004. Productivity of *Pinus radiata* plantations in Spain in response to climate and soil. *Forest Ecology and Management* 195: 177-189.
- Saatçioğlu, F., 1976. Silvikültür I, Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 2187/222, İstanbul.
- Saraçoğlu, Ö., 1989. Değişik Yaşlı Göknaar Meşcerelerinde Bonitet ve Yetiştirme Ortamı Özellikleri Arasında İkili İlişkiler, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 39(2): 122-138.
- Sevgi, O., 2003. Bayramiç İşletmesi'nde (Kaz Dağları) Karaçam'ın (*Pinus nigra* Arnold.) Yükseltiye Göre Beslenme Büyüme İlişkileri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Sevgi, O., Tecimen, H.B., 2009. Physical, chemical and pedogenetical properties of soils in relation with altitude at Kazdağı upland black pine forests. *Journal of Environmental Biology* 30(3): 349-354.
- Tutin, T.G., Burges, N.A., Chater, A.O., Edmondson, J.R., Heywood, V.H., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M., Webb, D.A., 1993. Flora Europaea, Second Edition Volume 1, Psilotaceae to Platanaceae, Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Vidaković, M., 1991. Conifers Morphology and Variation. Grafički zavod Hrvatske, Zagreb.
- Yavuz, H., Mısır, N., Mısır, M., 2004. Karaçam Ağaçlandırmalarına İlişkin Büyüme Modelleri, Proje No: TOGTAG – 2747, Trabzon.
- Yılmaz, M., 2005. Doğu Karadeniz Bölümü Saf Doğu Kayını Ekosistemlerinde Kimi Ortam Etmenlerinin Kayının Gelişimine Etkileri Üzerine Araştırmalar. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Yücel, E., 1995. Ehlami Karaçamın Doğal Yayılışı ve Ekolojik Özellikleri. Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Yayın No: 847/2, Eskişehir.
- Yucel, E., 2000. Ecological properties of *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *seneriana*. *Silvea Genetica* 49: 264-277.
- Zech, W., Çepel, N., 1972. Güney Anadolu'daki Bazı *Pinus brutia* Meşcerelerinin Gelişimi ile Toprak ve Relief Özellikleri Arasındaki İlişkiler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1753/191, İstanbul.