

Durusu Kumulu sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarında yaş ticari kök kütlesi miktarları

Fresh merchantable root biomass in Durusu Coastal Dune maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) afforestation

Alper Gün ÖZTURNA¹

Servet PEHLİVAN²

Ender MAKİNECİ¹

Doğanay TOLUNAY¹

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, İstanbul

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Çankırı

Sorumlu yazar (Corresponding author)

Alper Gün ÖZTURNA

alpergun.ozturna@iuc.edu.tr

Geliş tarihi (Received)

29.05.2023

Kabul Tarihi (Accepted)

13.10.2023

Sorumlu editör (Corresponding editor)

Mustafa BATUR

mustafabatur01@ogm.gov.tr

Atıf (To cite this article): Öztur, A. G., Pehlivan, S., Makineci, E. & Tolunay, D. (2023). Durusu Kumulu sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarında yaş ticari kök kütlesi miktarları. Ormanlık Araştırma Dergisi, 10 (2), 197-216. DOI: 10.17568/ogmoad.1306652



Creative Commons Atıf -
Türetilmez 4.0 Uluslararası
Lisansı ile lisanslanmıştır.

Öz

Sunulan bu çalışma ile ülkemizin endüstriyel ağaçlandırmalarında kullanılan yabancı ibrelili türlerden sahil çamının (*Pinus pinaster* Ait.) yaş ticari kök bitkisel kütlelerini tek ağaç ve meşcere düzeyinde doğrudan tahmini için kullanılabilir denklemlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, İstanbul-Durusu (Terkos) kumul ağaçlandırmalarında farklı gelişim çağlarından 45 adet örnek alanda çalışılmış ve her bir örnek alandan meşcere orta ağacını temsil eden 1 adet ağaç kesilmiştir. Kesilen ağaçların kökleri sökülerek kök kütlesi ve çapı 4 cm'den büyük köklerin yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Örnek ağaçların yaş ticari kök ağırlıkları 12,3 kg ile 214,9 kg arasında değişmektedir. Yaş ticari kök kütlesi, ağaçların dip çapları (d_0), göğüs çapları ($d_{1,3}$), boyları (h) ve kabuklu gövde odunu hacimleriyle (V_{KGO}) ilişkiye getirilerek her bir değişken için 10 ayrı regresyon denklemi test edilmiştir. Denklemlerin RMSE, ortalama hata ve ortalama mutlak hata gibi değerleri de hesaplanarak başarı sıralaması yapılmış ve aralarından en başarılı sonuçlar veren denklem belirlenmiştir. Tek ağaç düzeyinde V_{KGO} 'nun bağımsız değişken olduğu tek girişli denklem doğrusal; diğer tek ağaç denklemleri ise logaritmik formdadır. Ayrıca V_{KGO} bağımsız değişkeninin kullanıldığı tek girişli regresyon denklemleri yardımıyla meşcere düzeyinde yaş ticari kök kütlesini tahmin edebilmek amacıyla da bir regresyon denklemi geliştirilmiştir. Bu denklem ise parabolik formdadır. Bu denklemin sonuçlarına göre Durusu Kumulu sahil çamı ağaçlandırmalarında birim alandaki yaş ticari kök miktarı 12,68-199,9 t/ha arasında değişmektedir.

Anahtar kelimeler: Bitkisel kütle denklemi, Terkos, ticari kütle, top-rakaltı biyokütle, nispi sıralama

Abstract

This study aims to develop equations in the single-tree and stand level for direct predictions of fresh merchantable root biomass of the maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.), an exotic species used in industrial afforestation in Türkiye. 45 sample plots from different developmental stages in İstanbul-Durusu (Terkos) coastal dune afforestation were studied, and one representative tree was destructively harvested from each plot. The roots of the cut trees were removed, and the fresh weight of the root stumps and roots $\varnothing > 4$ cm were determined. Fresh merchantable biomass of roots ranged from 12.3 to 214.9 kg/tree. Regarding to these results, 10 (single- and double-entry) regression equations were tested for, base diameter (d_0), diameter at breast height ($d_{1,3}$), tree height (h), and stemwood overbark volume (V_{KGO}). RMSE, ME and MAE of the equations were calculated for their success ranking, and the equation of the most statistically successful results was determined. At the single-tree level, the single-entry equation (independent var. as V_{KGO}) was in linear form where the others were in logarithmic. In addition, a regression equation was developed to estimate the fresh merchantable root biomass at the stand level with the leading single-entry regression equation using the V_{KGO} as the independent variable. This equation was in parabolic form. According to the results of this equation, the fresh merchantable root biomass per unit area in Durusu Coastal Dune afforestation of maritime pines varied between 12.68 to 199.9 t/ha.

Key words: Biomass equation, Terkos, merchantable biomass, below-ground biomass, relative ranking

1. Giriş

Bitkisel kütle çalışmaları dünya genelinde uzun yıllardır gerçekleştirilse de Türkiye’de 2000’li yıllara kadar sınırlı sayıda kalmıştır. Son 20 yıldır, özellikle ormanların depoladığı karbon miktarının belirlenebilmesi için öncelikle bitkisel kütle miktarlarının tahmin edilmesi gerektiğinden bu çalışmaların sayısı artmıştır. Ormanlardaki bitkisel kütle miktarı tek ağaç ya da birim alan (ha) düzeyinde tahmin edilebilmektedir. Bitkisel kütle tahminleri, ağaç bileşenlerinin (toprak üstü bitkisel kütle, kabuklu ya da kabuksuz gövde, kabuk, dallar, ibreler/yapraklar, kökler) kütlesi ile bir veya daha fazla dendrometrik değişken (dip çap, göğüs çapı, ağaç boyu, göğüs yüzeyi, kabuklu gövde odunu hacmi vb.) arasındaki nicel ilişkileri matematik olarak tanımlayan allometrik modeller ile ortaya konulabilmektedir. Diğer yandan Türkiye’de özellikle sera gazı envanterlerinde bölge ya da ülke düzeyinde önce bitkisel kütle, sonrasında ise bu bitkisel kütledeki karbon miktarının hesaplanmasında bitkisel kütle dönüştürme ve genişletme faktörleri de kullanılmaktadır. Çalışmalar incelendiğinde, önceki araştırmalardan elde edilen model ve katsayıların kullanıldığı (Solla-Gullón ve ark., 2005; Fayolle ve ark., 2013; Ngomanda ve ark., 2014) ya da alana özgü model ve katsayıların geliştirildiği (Ritson ve Sochacki, 2003; Makineci ve ark., 2017; Tolunay ve ark., 2017) görülmektedir.

Orman ekosistemlerindeki bitkisel kütle ölçümü, toprak seviyesinden yıkıcı örnekleme ile kesilen ağaçların (i) ibre/yaprak, dal, kabuklu gövde odunu gibi bileşenlerinin ayrılması, (ii) gövde odununun seksiyonlara bölünmesi ve (iii) bunların sahada tartılmaları ile gerçekleştirilmektedir. Sonrasında yaş ya da kuru bitkisel kütle miktarlarının tahmini için allometrik denklemler geliştirilmektedir. Ek olarak, tek ağaç (kg/ağaç) ya da meşcere düzeyinde (ton/ha) bitkisel kütle miktarları farklı bölgelerdeki aynı ağaç türü için geliştirilmiş olan bitkisel kütle denklemleri kullanılarak da tahmin edilebilmektedir. Arazi çalışmalarının nispeten kolay olması nedeniyle toprak üstü toplam kütle ya da çeşitli ağaç bileşenlerinin kütlelerinin tahmin edildiği araştırmalar daha yaygınken toprak altı ağaç bileşeni olarak da adlandırılan kök kütlesi tahminine yönelik araştırmalar, ağaç köklerinin bir bütün halinde sökülmesinin zorluğu nedeniyle daha sınırlı kalmıştır. Ancak köklerin de önemli miktarda karbon depolaması nedeniyle kök kütlesi modellenmesine yönelik araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Türkiye’de son yıllarda odun ham maddesine olan talebin artması ve gövde odunu dışındaki diğer ağaç bileşenlerinin değişik sektörlerde kullanıl-

maya başlanması ormanlardaki kök kütlesinin tahminini gerekli kılmaktadır. Nitekim Orman Genel Müdürlüğü’nün (OGM) oduna dayalı orman ürünlerinin satış usul ve esasları hakkındaki 312 Sayılı Tebliği’nde orman alanlarındaki kök odunlarının da satılabileceği belirtilmektedir (OGM, 2022a).

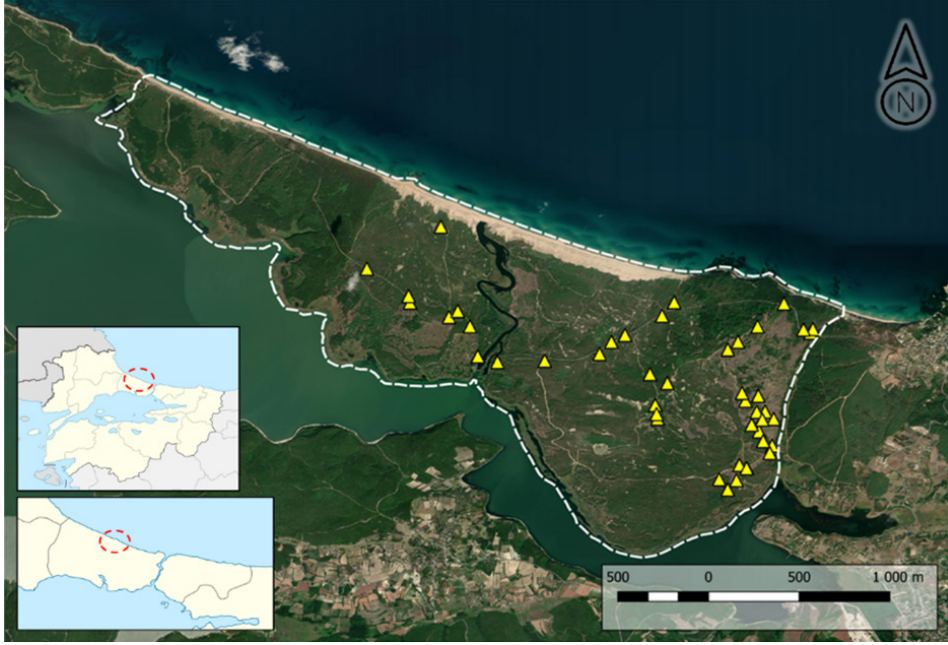
Ülkemizin çeşitli yörelerindeki ormanların toprak üstü bitkisel kütle ve hacim tahminlerine yönelik çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Sun ve ark., 1976; Saraçoğlu, 1986; Güner, 2006; Tolunay, 2012; Ozdemir ve ark., 2019). Bununla birlikte toprak altı bitkisel kütle (kökler) tahmin etmeye yönelik çalışmaların sınırlı olduğu (Kantarci, 1983; Tüfekçioğlu ve Güner, 2008; Güner ve ark., 2010; Doğan, 2010; Tüfekçioğlu ve ark., 2010; Tüfekçioğlu ve Küçük, 2010; Yavuz ve ark., 2010; Çömez, 2010; Güner ve Çömez, 2017; Sariyıldız, 2015; Say, 2016; Karataş ve ark., 2017; Tolunay ve ark., 2017; Saranay, 2017; Sariyıldız ve Tanı, 2022) ve çoğunda kılcal ($\varnothing < 2$ mm) ve ince ($\varnothing = 2 - 5$ mm ya da 10 mm) kökler gibi ticari değeri olmayan köklerin incelendiği göze çarpmaktadır (Tüfekçioğlu ve ark., 2005a; Tüfekçioğlu ve ark., 2005b; Yağcı, 2010; Tüfekçioğlu ve Küçük, 2010; Mısır ve Mısır, 2012; Kocamanoğlu, 2022). Kök sisteminin topraklardan sökülerek değerlendirildiği çalışmalar da giderek artmaktadır (Çömez, 2010; Sargıncı, 2014; Aydın, 2016; Saranay, 2017; Güner ve Çömez, 2017). Bu çalışmaların neredeyse tümünde ağaç köklerinin bitkisel kütle miktarları kuru ağırlık olarak verilmiştir. Yaş ya da taze ağırlığın belirlendiği araştırma ise yine az sayıdadır (Ülküdur, 2010; Karabürk, 2011; Say, 2016; Çelen, 2022; Meşe, 2022).

OGM tarafından satışların yaş ağırlıklar üzerinden gerçekleştirilmesi sebebiyle yaş kök miktarı tahmininde kullanılacak bitkisel kütle denklemlerine de ihtiyaç bulunmaktadır. İstanbul ili Çatalca ilçesindeki Durusu Kumulunda gerçekleştirilen bu çalışma ile Türkiye’nin endüstriyel ağaçlandırmalarında sıkça kullanılan sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) türünün doğrudan yaş ticari kök bitkisel kütlelerini tek ağaç ve meşcere düzeyinde tahmin etmede kullanılacak bitkisel kütle denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Araştırma, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı Çatalca Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içinde kalan ve 1960’lı yıllarda tesis edilmeye başlanan Durusu (Terkos) Kumulundaki sahil çamı ağaçlandırmalarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Durusu kumulu ve sahil çamı örnek alanları
Figure 1. Durusu coastal dune and maritime pine sample sites

Durusu kumulu, yer yer Karadeniz kıyısından 4 km kadar içeriye uzanmakta ve 40-50 metre (m) yüksekliğinde tepelikler ya da kıyıya paralel uzanan sırtlar oluşturabilmektedir. Çalışma alanının denizden yüksekliği ortalama 20 m olup doğu yönündeki Kabakum Tepesi (70 m) alanın en yüksek noktasıdır. Araştırma alanının yıllık toplam yağışı 895-988 mm, yıllık ortalama sıcaklığı 12,7-13,0 °C, ortalama bağıl nemi %77-78, hâkim rüzgârları kuzeydoğudan ve ortalama yıllık rüzgâr hızı 9-107 km/saat arasındadır (İBB, 2009). Saatçioğlu ve Bozkuş (1996) tarafından çalışma alanında vejetasyon süresinin 8 aya çıkabildiği ve haziran-ekim ayları arasında su açığının 31,4 mm olduğu hesaplanmıştır. Topraklar, kum topraklarının özelliklerini taşımakta olup geçirendir ve faydalanılabilir su tutma kapasiteleri oldukça düşüktür (Tolunay ve ark., 2017). Durusu Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2013-2022) verilerine göre kumul alanı toplam 3106,7 ha kadar olup 1647,2 ha'ı fıstık çamı (*Pinus pinea*) ve sahil çamı ile ağaçlandırılmıştır. Sahil çamı ağaçlandırmaları ise 1444,3 ha civarındadır. Ağaçlandırılmamış kumul alanı ise büyük çoğunluğu sahilde olmak üzere 151,9 ha'dır (OGM, 2013).

Durusu kumulunda doğal olarak mazı meşesi (*Quercus infectoria*) ve Macar meşesi (*Quercus frainetto*) ormanlarına da rastlanmaktadır. Çalı türleri içerisinde ise karaçalı (*Paliurus spina-christi*), akçakesme (*Phillyrea latifolia*), menengiç (*Pistacia terebinthus*), Akdeniz defnesi (*Laurus nobilis*) türleri ön plana çıkmaktadır (Saraçoğlu ve Bozkuş, 1996).

2.2. Arazi çalışmaları

Çalışmadaki örnek alanlar, tam kapalı sahil çamı ağaçlandırmalarından b, c ve cd meşcere gelişim çağlarının her birinden 15 adet olmak üzere seçilmiştir. Böylece 400 m² (20x20 m) büyüklüğünde toplam 45 adet örnek alan alınmıştır. Örnek alan içinde kalan ağaçların dip çapları (d_p), göğüs çapları ($d_{1,3}$) ve boyları (h) ölçülmüştür. Örnek alanların bazı özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1' de verilmiştir.

Örnek alanlarda yapılan ölçümlerin tamamlanmasının takiben her bir örnek alanın meşcere orta çapı (d_g) hesaplanmıştır. Meşcere orta çapının hesaplanmasında Eşitlik 1'den yararlanılmıştır.

$$d_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bu eşitlikte; d_g : Meşcere orta çapını (cm); d_i : Örnek alandaki ağaçların göğüs çapını (cm) ve n : Örnek alan içerisinde göğüs çapı ölçülen ağaç sayısını ifade etmektedir. Meşcere orta çapının hesaplanması sonrasında her bir örnek alanda göğüs çapı ($d_{1,3}$) meşcere orta çapına eşit ya da yakın olan bir adet örnek ağaç tespit edilerek kesilmiştir. Örnek ağaçların gövdeleri üzerinde ikişer metrelik seksiyonlarda alt ve üst gövde çapları ölçülmüş ve bölümlene yöntemine göre kabuklu gövde hacimleri (V_{KGO}) belirlenmiştir. Gövde hacimlerinin belirlenmesinde Smalian hacim formülünden yararlanılmıştır (Eşitlik 2).

$$\begin{aligned}
V_{KGO} = & \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \times d_{0,3}^2 \times 0,3 \right] \\
& + \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \times \left(\frac{d_{0,3}^2 + d_{2,3}^2}{2} \right) \right] \\
& + \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \times \left(\frac{d_{2,3}^2 + d_{4,3}^2}{2} \right) \right] \quad (\text{Eşitlik 2}) \\
& + \dots + \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \times \left(\frac{d_{k-1}^2 + d_k^2}{2} \right) \right] \\
& + \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \times d_k^2 \times \ell \right]
\end{aligned}$$

Bu eşitlikte; $d_{0,3}$, $d_{2,3}$, $d_{4,3}$ ve d_k : ağaç gövdesi üzerinden ikişer metrelik seksiyonlara ait alt ve üst gövde çaplarını (cm) ve ℓ : Uç parça boyunu (m) ifade etmektedir (Özçelik ve ark., 2009).

Örnek ağaçlarda gövde çaplarının ölçülmesinin ar-

dından ağaç köklerinin sökülmesi işlemine geçilmiştir. Köklerin sökümü ekskavator kullanılarak mart – mayıs aylarını kapsayan dönemde gerçekleştirilmiştir. Söküm sonrasında köklere yapışık halde bulunan toprakların giderilmesi için kök kütükleri basınçlı su ile yıkanmıştır. Kökler yıkama işleminin ardından basınçlı su etkisiyle az miktarda da kazandıkları nemin uzaklaşması amacıyla kökler bir süre kurumaya bırakılmıştır. Böylelikle kök bitkisel kütlelerinin gerçekte olduğundan çok daha yüksek tespit edilmesinin önüne geçilmiştir (Şekil 2). Buna ek olarak kökün söküldüğü çukurda kalan 4 cm çaptan daha kalın kökler de çıkarılmıştır. Çıkarılan tüm kökler bünyelerinde bulunan nemi kaybetmeden (yaş halde) sahada tartılmıştır. Tartımlar 0,1 gram hassasiyetle yapılmıştır. Örnek ağaçlarda yapılan ölçümler ile bu ağaçların kabuklu gövde hacimleri ile yaş ticari kök kütlelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Örnek alanların ve örnek ağaçların bazı özellikleri (ortalama±standart hata)
Table 1. Some characteristics of sample plots and sample trees (mean±standard error)

Meşcere Tipi	Çmb3	Çmc3	Çmcd3
Özellik			
Örnek Alanların (n=45)*			
Ağaç Sayısı (adet/ha)	1663±144 (1125-3400)	920±55 (575-1275)	682±28 (475-900)
Yaş (yıl)	32±2 (25-45)	43±1 (26-50)	44±0 (42-47)
Ortalama Dip Çap (cm)	19,7± 0,7 (14,0- 24,1)	29,2± 0,8 (24,8-34,9)	37,3± 0,8 (31,6-41,9)
Meşcere Orta Çapı (d_g) (cm)	15,8±0,6 (10,8-19,3)	24,5±0,7 (20,1-28,8)	32,3±0,6 (28,2-36,3)
Meşcere Orta Boyu (m)	9,11±0,59 (4,91-12,93)	15,02±0,46 (10,76-17,42)	19,53±0,67 (15,24-24,41)
Kabuklu Gövde Odunu Hacmi (m ³ /ha)**	176,31±17,45 (75,53-323,89)	337,37±18,15 (219,98-490,34)	560,05±43,58 (267,76-874,94)
Örnek Ağaçların (n=45)*			
Yaş (yıl)	32±2 (25-45)	42±2 (26-50)	44±0 (42-47)
Dip Çap (d_0) (cm)	22,3±1,1 (13,7-27,8)	31,4±0,8 (26,1-35,8)	40,6±0,6 (37,6-45,4)
Göğüs Yüksekliğindeki Çap ($d_{1,3}$) (cm)	15,9±0,6 (11,2-19,6)	25,4±0,7 (20,9-28,6)	31,6±0,5 (28,7-36,3)
Ağaç Boyu (h) (m)	10,1±0,6 (5,9-13,2)	15,3±0,4 (12,3-16,9)	19±0,7 (14,3-23,1)
Kabuklu Gövde Odunu Hacmi (m ³ /ağaç)	0,114±0,013 (0,033-0,214)	0,383±0,024 (0,231-0,485)	0,737±0,045 (0,490-1,056)
Yaş Ticari Kök Kütleli (kg/ağaç)	33,8±3,9 (12,3-58,1)	89±5,4 (57,4-139,0)	151,4±9,1 (98,0-214,9)

En az (minimum) ve en çok (maksimum) değerler parantez içinde gösterilmiştir.

* Meşcere tiplerine eşit sayıda dağılmaktadır.

** Tolunay ve ark., (2017) tarafından geliştirilen sahil çamı ağaç hacim denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Ağaç köklerinin sökümü (sol) ve yıkanması (sağ) (Foto: ÖZTURNA, A.G.)
Figure 2. Excavation (left) and washing (right) processes of tree roots

2.3. Yaş ticari kök kütlesi denklemlerinin geliştirilmesi

Arazi çalışmalarının tamamlanmasını takiben yaş bitkisel kütle denklemlerinin geliştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Bu denklemler hem tek ağaç hem de meşcere bazında geliştirilmiştir. Bu amaçla literatürde sıklıkla kullanılan 10 adet regresyon denklemi derlenmiştir. Bu denklemler V_{KGO} ($m^3/ağaç$), d_0 ve $d_{1,3}$ 'ün ayrı ayrı bağımsız değişken olarak buldukları tek girişli denklemler biçiminde; d_0 ile h ve $d_{1,3}$ ile h değişkenlerinin bağımsız değişken olarak buldukları çift girişli denklemler biçiminde türetilmiştir. Böylelikle 50 adet regresyon denklemi üretilmiş ve tek ağaçlar bazında katsayıları hesaplanmıştır.

Ardından sahil çamı ağaçlandırmalarında meşcere birim alanındaki (ha) yaş ticari kök kütlesini tahmin edebilmek amacıyla meşcere bazında kullanılacak regresyon denklemi de geliştirilmiştir. Bu amaçla meşcere hacminin (V_{KGO}) (m^3/ha) bağımsız değişken olarak kullanıldığı tek girişli bir regresyon denklemi üretilmiştir. Ancak burada meşcere birim alanındaki ağaç servetinin nasıl hesaplanacağı sorusu ortaya çıkmaktadır. Meşcere ağaç servetini hesaplayabilmek için Tolunay ve ark. (2017) tarafından yine Durusu Kumulu sahil çamı ağaçlandırmaları için geliştirilen çift girişli ağaç hacim denkleminin yararlanılmıştır. Söz konusu ağaç hacim denklemi Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$V_{KGO} = 0,0099 + (0,00004 \times d_{1,3}^2 h) \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Bu eşitlikte; V_{KGO} : Kabuklu gövde odunu hacmini ($m^3/ağaç$); $d_{1,3}$: Göğüs çapını (cm) ve h : Ağaç boyunu (m) ifade etmektedir. Meşcere birim alanındaki yaş ticari kök kütlesi ise bu çalışma ile elde edilen göğüs çapı ve boya bağlı çift girişli regresyon denklemi yardımıyla hesaplanmış ve örnek alanlar için hesaplanan yaş ticari kök kütleleri meşcere bazında geliştirilen regresyon denkleminin ba-

ğımlı değişkeni olarak kabul edilmiştir. Araştırma kapsamında denetlenen regresyon denklemlerinin genel yapıları ve bu denklemlerin bağımsız değişkenlerine ilişkin bilgiler Tablo 2'de bulunmaktadır.

Tablo 2 incelendiğinde 5 ve 6 no'lu denklemlerin logaritmik formda olduğu görülmektedir. Bu yapıdaki (tahminlerini logaritmik olarak yapan) denklemler tahminlerini olması gerekenden daha düşük yapmaktadırlar. Bu durum da sistematik bir hatanın oluşmasına sebep olacaktır. Bu engeli aşmak için Meyer (1938) tarafından 1'den büyük bir düzeltme faktörü önermiştir (Pehlivan, 2010). Bu düzeltme faktörü Eşitlik 4'te verilmiştir.

$$f = 10^{(1,1513 \times SEE^2)} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Bu eşitlikte; f : Meyer tarafından önerilen düzeltme faktörünü ve SEE : Regresyon denkleminin tahminlerinin standart hatasının logaritmik değerini ifade etmektedir (Pehlivan, 2010).

Tablo 2'de verilen regresyon denklemlerine ait katsayıların hem tek girişli hem de çift girişli yaş ticari kök kütlesi denklemleri için hesaplanmasının ardından uygun denklemlerin seçilmesi aşamasına geçilmiştir. Bu amaçla öncelikle regresyon denklemlerinin düzeltilmiş R^2 ($R^2_{düz}$) ve tahminlerin standart hatası (standart error of estimates – SEE) değerlerinin yanısıra hataların ortalama karekökü (HOKK) (root mean square error – $RMSE$), ortalama hata (OH) (mean error – ME , diğer bir ifade ile mean bias – MB), ortalama mutlak hata (OMH) (mean absolute error – MAE) ile bu hataların yüzdeleri ve Akaike bilgi kriteri (Akaike information criterion – AIC) gibi başarı ölçütleri de hesaplanmıştır. HOKK, ME , MAE ve bunların yüzdeleri ile AIC formülleri aşağıdaki eşitliklerde (Eşitlik 5 – 11) verilmiştir.

Tablo 2. Denetlenen regresyon denklemlerinin genel yapıları ve bağımsız değişkenleri
Table 2. General structures and independent variables of generated regression equations

Denklem No	Denklemin Genel Yapısı	Katsayılar*		
		X ₁	X ₂	X ₃
1	$y = \beta_0 + (\beta_1 X_1)$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - d_0^2 h^d$ $d_{1,3^2} h^e$	-	-
2	$y = \beta_0 + (\beta_1 X_1) + (\beta_2 X_2)$	$V_{KGO^a} - d_0^{bd}$ $d_{1,3^{ce}}$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - h^{de}$	-
3	$y = \beta_0 + (\beta_1 X_1) + (\beta_2 X_2^{-1})$	$V_{KGO^a} - d_0^{bd}$ $d_{1,3^{ce}}$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - h^{de}$	-
4	$y = \beta_0 + (\beta_1 X_1) + (\beta_2 X_2) + (\beta_3 X_3^{-1})$	$V_{KGO^a} - d_0^{bd}$ $d_{1,3^{ce}}$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - h^{de}$	$V_{KGO^a} - d_0^{bd}$ $d_{1,3^{ce}}$
5	$\log y = \beta_0 + (\beta_1 (\log X_1))$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - d_0^2 h^d$ $d_{1,3^2} h^e$	-	-
6	$\log y = \beta_0 + (\beta_1 (\log X_1)) + (\beta_2 (\log X_2^2))$	$V_{KGO^a} - d_0^{bd}$ $d_{1,3^{ce}}$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - h^{de}$	-
7	$y = \beta_0 (X_1^{\beta_1})$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - d_0^2 h^d$ $d_{1,3^2} h^e$	-	-
8	$y = X_1^{\beta_1}$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - d_0^2 h^d$ $d_{1,3^2} h^e$	-	-
9	$y = e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1)}$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - d_0^2 h^d$ $d_{1,3^2} h^e$	-	-
10	$y = \beta_0 (e^{(-\beta_1 (e^{-\beta_2 X_1}))})$	$V_{KGO^a} - d_0^b$ $d_{1,3^c} - d_0^2 h^d$ $d_{1,3^2} h^e$	-	-

* Satırlarda aynı harfle simgelenmiş değişkenler aynı denklemin bağımsız değişkenlerini ifade etmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - k)} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

$$RMSE \% = (RMSE / \bar{y}_i) \times 100 \quad (\text{Eşitlik 6})$$

$$ME = (\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)) / n \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$$ME\% = (ME / \bar{y}_i) \times 100 \quad (\text{Eşitlik 8})$$

$$MAE = (\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|) / n \quad (\text{Eşitlik 9})$$

$$MAE\% = (\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| / y_i) \times 100 \quad (\text{Eşitlik 10})$$

$$AIC = \ln RMSE + 2k \quad (\text{Eşitlik 11})$$

Bu eşitliklerde y_i : Gerçek ölçüm değerlerini; \hat{y}_i : Regresyon denkleminde elde edilen tahmin değerlerini; \bar{y}_i : Gerçek ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamasını; n : Veri sayısını ve k : Regresyon denkleminin katsayılarının sayısını ifade etmektedir (Ercanlı, 2020).

Regresyon denklemlerinin başarı ölçütleri ile $R^2_{düz}$ ve SEE değerleri bir araya getirilerek yeni bir matris elde edilmiştir. Bu matriste $R^2_{düz}$ değerleri büyükten küçüğe, diğer değerler ise küçükten büyüğe sıralanarak her bir denklem için sıralama puanlaması (ranking) yapılmıştır. En yüksek $R^2_{düz}$ değerine sahip olan denklem en düşük sıralama puanını

alırken; diğer ölçütler için en düşük değere sahip olanlar en yüksek sıralama puanını almıştır (Pehlivan, 2010). Ancak burada sıralama puanlaması yapılırken sıralı puanlama yerine Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nispi puanlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ilgili başarı ölçütünün en iyi değeri ile en kötü değeri arasında sıra sayılarından oluşan puanlama yerine, bu değerler arasında süreklilik gösteren bir puanlama oluşturulmuştur. Böylelikle birbirine yakın değerlerin yakınlıkları derecesinde eşit puanlar alması sağlanmıştır. Sıralama puanlaması yapmak amacıyla yararlanılan formül Eşitlik 12'de görülmektedir.

$$R_i = 1 + \left(\frac{(m - 1) \times (S_i - S_{min})}{(S_{max} - S_{min})} \right) \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Bu eşitlikte; R_i : Regresyon denklemini için hesaplanan nispi başarı puanını; m : Denetlenen regresyon denklemleri sayısını; S_i : i . regresyon denkleminin başarı ölçütünün değerini; S_{min} : Denetlenen regresyon denkleminin ilgili başarı ölçütünün en düşük değerini ve S_{max} : Denetlenen regresyon denkleminin ilgili başarı ölçütünün en yüksek değerini ifade etmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir husus, regresyon denklemlerine ilişkin bazı başarı ölçütlerinin negatif yönlü olabileceğidir. Negatif işaretli ölçütlerin en düşük olduğu kabul edilse

de aslında mutlak büyüklük olarak daha yüksek bir değer elde edebilirler. Bu durum da daha yüksek miktarda hatalar yapan regresyon denkleminin daha başarılı (daha düşük sıralama puanlı) kabul edilmesi anlamına gelmektedir. Bu sorunu aşabilmek için negatif işaretli başarılı ölçütlerinin mutlak değerli sıralamaya tâbi tutulmuştur (Ercanlı ve ark., 2023)

Denetlemeler sonrasında en düşük sıralama puanına sahip olan denklem en iyi tahmini veren denklem olarak seçilmiştir. Eğer en düşük puana sahip denklemin katsayılarının herhangi biri ya da tamamı %95 güvenle ($p=0,05$) anlamsız ise bir sonraki en düşük sıralama puanına sahip denklem tercih edilmiştir. Her iki koşulu da sağlayan denkleme ulaşıncaya dek bu işlem sürdürülmüştür.

Çalışma kapsamında denetlenen regresyon denklemlerinin gerek tek girişli gerekse çift girişli formlarına ilişkin katsayıların hesaplanmasında Matlab R2017b (Mathworks, 2017) programından yararlanılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Tek ağaç düzeyinde yaş ticari kök kütlesi

Yaşları 25 ile 50 arasında değişen örnek ağaçların göğüs yüksekliğindeki çapları 11,2 ile 36,3 cm; boyları ise 5,9 ile 23,1 m arasındadır. Örnek ağaç-

larda yaş ticari kök kütleleri de 12,3 kg/ağaç ile 214,9 kg/ağaç arasında ölçülmüştür (Tablo 1).

Tek ağaç düzeyinde yaş ticari kök miktarını tahmin edebilmek için V_{KGO} bağımsız değişkenini içeren tek girişli denklemin (Denklem 1) $R^2_{düz}$ değeri 0,933 iken, SEE değeri ise 14,144 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu denklemin diğer başarı ölçütlerinin de dâhil edilmesi sonucu elde ettiği nispi sıralama puanı ise 9,32 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). İlgili denklemin katsayıları ve çeşitli istatistik bilgileri ise Tablo 3'te verilmiştir.

Dip çapın (d_0) bağımsız olduğu tek girişli denkleminde (Denklem 5) ise $R^2_{düz}$ değeri 0,875 olarak SEE değeri ise 21,026 olarak hesaplanmıştır. En başarılı denklemin nispi sıralama puanı ise 12,60 olmuştur. Göğüs çapının bağımsız değişken olduğu tek girişli denklem de 5 no'lu denklem ile aynı formdadır.

Hem dip çap ve ağaç boyunun hem de göğüs çapı ve ağaç boyunun bağımsız değişken oldukları çift girişli yaş ticari kök kütlesi denklemleri de logaritmik yapıdaki 5 no'lu denklemden türetilmiştir. Bu denklemlerin $R^2_{düz}$ ve SEE değerleri, sırasıyla, 0,884; 18,351 ve 0,921; 14,861 olarak hesaplanmıştır. Tek ağaç bazında denetlenen tüm regresyon denklemlerinin katsayıları ve çeşitli istatistik bilgileri Tablo 3a, 3b ve 3c'de görülmektedir.

Tablo 3a. Tek ağaç bazında denetlenen regresyon denklemlerinin katsayıları ve çeşitli istatistik bilgileri¹
Table 3a. Coefficients and various statistical information of regression equations generated on single tree level¹

Bağımsız Değişken(ler)	Denklem No	Regresyon Katsayıları				F_{Hesap}	f
		β_0	β_1	β_2	B_3		
V_{KGO}	1	14,7303 ***	186,4657 ***	-	-	610,29 ***	-
	2	10,3803 ns	213,9431 ***	-28,1197 ns	-	307,40 ***	-
	3	22,0108 **	177,0456 ***	-0,6659 ns	-	311,13 ***	-
	4	18,6623 ns	190,0545 ***	-11,1664 ns	-0,5176 ns	203,05 ***	-
	5	2,2848 ***	0,8076 ***	-	-	669,59 ***	1,0171
	6	Bu veri grubu için çözüme ulaşılamamıştır.					
	7	192,6652 ***	0,8076 ***	-	-	669,59 ***	-
	8	-	-2,0456 ***	-	-	42,02 ***	-
	9	3,3249 ***	2,3512 ***	-	-	176,79 ***	-
	10	260,1865 ***	2,5403 ***	2,1636 ***	-	197,00 ***	-
d_0	1	-99,1479 ***	6,0622 ***	-	-	216,52 ***	-
	2	2,8401 ns	-1,1324 ns	0,1178 *	-	124,94 ***	-
	3	-263,2018 ***	8,8754 ***	2191,7781 *	-	125,09 ***	-
	4	-139,2420 ns	4,1223 ns	0,0568 ns	1193,0644 ns	81,75 ***	-
	5	-1,7018 ***	2,4076 ***	-	-	309,70 ***	1,0348
	6	Bu veri grubu için çözüme ulaşılamamıştır.					
	7	0,0199 ***	2,4076 ***	-	-	309,70 ***	-
	8	-	1,2665 ***	-	-	4807,85 ***	-
	9	1,6553 ***	0,0839 ***	-	-	275,16 ***	-
	10	513,0846 ns	6,9970 ***	0,0430 ns	-	95,47 ***	-

¹ $R^2_{düz}$ ve SEE değerleri tekrar olmaması için karar matrisinin bulunduğu Tablo 4'te verilmiştir.
***: $p<0,001$; **: $p<0,01$; *: $p<0,05$; ns: Non-significant ($p>0,05$)

Tablo 3b. Tek ağaç bazında denetlenen regresyon denklemlerinin katsayıları ve çeşitli istatistik bilgileri¹
Table 3b. Coefficients and various statistical information of regression equations generated on single tree level¹

Bağımsız Değişken(ler)	Denklem No	Regresyon Katsayıları				F _{Hesap}	f
		β_0	β_1	β_2	B_3		
d _{1,3}	1	-88,5987 ***	7,3982 ***	-	-	345,90 ***	-
	2	42,5409 ns	-4,8240 ns	0,2601 ***	-	266,53 ***	-
	3	-285,7880 ***	11,7386 ***	2023,4895 **	-	223,58 ***	-
	4	462,9375 ns	-24,1597 *	0,5410 **	-2860,629 ns	189,01 ***	-
	5	-1,2491 ***	2,2781 ***	-	-	668,02 ***	1,0171
	6	Bu veri grubu için çözüme ulaşılamamıştır.					
	7	0,0563 ***	2,2781 ***	-	-	668,02 ***	-
	8	-	1,3729 ***	-	-	7352,03 ***	-
	9	1,8063 ***	0,1022 ***	-	-	483,30 ***	-
	10	2228,7 ns	6,7659 ns	0,0291 ns	-	191,92 ***	-
d _{0 - h}	1	16,5838 **	0,0043 ***	-	-	322,18 ***	-
	2	-98,0193 ***	3,5895 ***	5,1771 **	-	130,56 ***	-
	3	-114,3598 **	6,3300 ***	90,5615 ns	-	106,20 ***	-
	4	-268,6919 ***	6,4350 ***	5,3483 **	2280,7034 **	105,36 ***	-
	5	-1,3719 ***	0,7870 ***	-	-	335,06 ***	1,0324
	6	-1,4806 ***	1,8197 ***	0,5650 ns	-	166,16 ***	1,0328
	7	0,0425 ***	0,7870 ***	-	-	335,06 ***	-
	8	-	0,4562 ***	-	-	5680,09 ***	-
	9	3,3478 ***	0,00005 ***	-	-	136,46 ***	-
	10	225,0527 ***	2,4920 ***	0,00006 ***	-	120,16 ***	-

¹ R²_{düz} ve SEE değerleri tekrar olmaması için karar matrisinin bulunduğu Tablo 4'te verilmiştir.
***: p<0,001; **: p<0,01; *: p<0,05; ns: Non-significant (p>0,05)

Tablo 3c. Tek ağaç bazında denetlenen regresyon denklemlerinin katsayıları ve çeşitli istatistik bilgileri¹
Table 3c. Coefficients and various statistical information of regression equations generated on single-tree level¹

Bağımsız Değişken(ler)	Denklem No	Regresyon Katsayıları				F _{Hesap}	f
		β_0	β_1	β_2	B_3		
d _{1,3 - h}	1	17,6447 ***	0,0069 ***	-	-	525,38 ***	-
	2	-90,5254 ***	6,0582 ***	2,3339 ns	-	177,07 ***	-
	3	-135,5775 ***	8,4253 ***	293,0747 ns	-	180,10 ***	-
	4	-295,9126 ***	10,3178 ***	2,7748 ns	2103,8789 **	158,29 ***	-
	5	-1,0705 ***	0,7558 ***	-	-	517,06 ***	1,0218
	6	-1,2531 ***	2,3008 ***	-0,0236 ns	-	326,33 ***	1,0175
	7	0,0850 ***	0,7558 ***	-	-	517,06 ***	-
	8	-	0,4830 ***	-	-	7797,69 ***	-
	9	3,3653 ***	0,00009 ***	-	-	161,41 ***	-
	10	257,3005 ***	2,4641 ***	0,00008 ***	-	177,22 ***	-

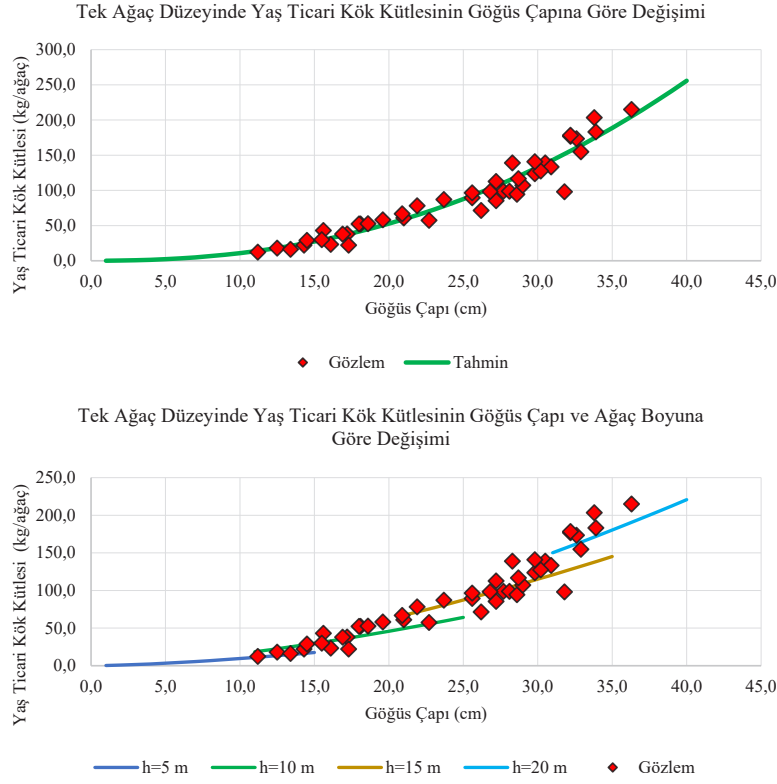
¹ R²_{düz} ve SEE değerleri tekrar olmaması için karar matrisinin bulunduğu Tablo 4'te verilmiştir.
***: p<0,001; **: p<0,01; *: p<0,05; ns: Non-significant (p>0,05)

Kabuklu gövde hacminin bağımsız değişken olduğu tek girişli yaş ticari kök kütlesi denkleminin (Denklem 1) HOKK, OH ve OMH değerleri, sırasıyla, 14,14; >0,01 ve 10,19 biçiminde hesaplanmıştır. Aynı denklemin AIC değeri ise 6,65'tir. Çift girişli denklemlerden göğüs çapı ve ağaç boyunun bağımsız değişken olarak kullanıldığı grupta ise en başarılı denklemin (Denklem 5) nispi sıralama puanı 12,92 olarak tespit edilmiştir. Kabuklu gövde hacmine bağlı olarak tek ağaç yaş ticari kök kütlesini tahmin edebilmek için 1 no'lu denklem en düşük sıralama puanını alırken, diğer denklem

gruplarında ise 5 no'lu denklem en düşük sıralama puanına sahip olmuştur. Buna göre tek ağaç bazında kabuklu gövde hacmi ile yaş ticari kök kütlesi arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Dip çap, göğüs çapı, dip çap – boy ve dip çap – boy bağımsız değişken(ler)i ile yaş ticari kök kütlesi arasında en başarılı tahminler logaritmik tahminler veren 5 no'lu denklemden elde edilmiştir (Tablo 4). Ek olarak V_{KGO}, d₀ ve d_{1,3}'un bağımsız değişken oldukları tek girişli regresyon denklemlerinde 6 no'lu denklem için parametre tahminleri hesaplanamamıştır. Diğer bir ifadeyle ilgili veri grupları

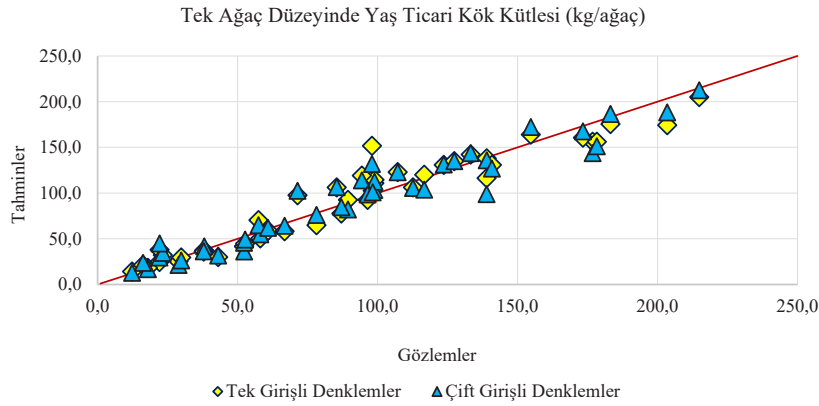
için 6 no'lu denklem çözüme ulaşmamıştır. Bu nedenle söz konusu tek ağaç denklemi gruplarında sıralama puanlaması 9 adet denklem için hesaplamıştır (Tablo 3 ve Tablo 4). Tek ağaç bazında yaş ticari kök kütlelerinin bu çalışma kapsamında üretilen tek girişli ($d_{1,3}$) ve çift girişli ($d_{1,3}$ ve h) regresyon denklemlerine bağlı olarak tahminleri Şekil 3'te

verilmiştir. Söz konusu iki denklem de Tablo 2'de verilen 5 no'lu denklem ile aynı formdadır. Şekil 3'te grafik gösterimleri verilen bu iki ayrı tek ağaç denkleminin tahminleri ile bitkisel kütle envanteri ile gözlenen gerçek yaş ticari kök kütleleri arasındaki ilişki de Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Tek ağaç düzeyinde yaş ticari kök kütlelerinin tek girişli ($d_{1,3}$) (Denk. 5) ve çift girişli ($d_{1,3}$ ve h) (Denk. 5) denklemlere göre tahmini

Figure 3. Estimation of fresh merchantable root biomass at tree level according to single-entry ($d_{1,3}$) (Eq. 5) and double-entry equations ($d_{1,3}$ and h) (Eq. 5)



Şekil 4. Tek ağaç düzeyinde yaş ticari kök kütlelerinin tek ve çift girişli regresyon denklem (Denk. 5) tahminleri ile gözlenen değerler arasındaki ilişki

Figure 4. The relationship between the estimates of single- and double-entry regression equations (Eq. 5) and observed values of fresh merchantable root biomass at single-tree level.

Tablo 4a. Tek ağaç bazında denetlenen regresyon denklemlerinin başarı ölçütleri ve sıralama puanları (Karar matrisi)
Table 4a. Performance criteria and ranking scores of regression equations generated on single-tree level (Decision matrix)

	DN*	R ² _{Düz.}	SEE (S _{y,x})	HOKK	HOKK (%)	OH	OH (%)	OMH	OMH (%)	AIC	Σ Puan	
Bağımsız Değişken(ler)	V _{KGO}	1	0,933 (1,09)	14,14 (1,09)	14,14 (1,01)	13,83 (1,01)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	10,19 (1,04)	11,15 (1,04)	6,65 (1,03)	9,32
		2	0,933 (1,09)	14,11 (1,08)	14,11 (1,01)	13,63 (1,00)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	10,11 (1,03)	11,06 (1,03)	8,65 (5,01)	13,25
		3	0,934 (1,08)	14,03 (1,05)	14,03 (1,01)	13,55 (1,00)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	9,66 (1,00)	10,56 (1,00)	8,64 (5,00)	13,13
		4	0,932 (1,10)	14,18 (1,11)	14,18 (1,01)	13,53 (1,00)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	9,73 (1,01)	10,65 (1,01)	10,65 (9,00)	17,23
		5	0,938 (1,00)	13,90 (1,00)	13,90 (1,00)	13,59 (1,00)	-0,51 (1,17)	-0,56 (1,17)	9,82 (1,01)	10,74 (1,01)	6,63 (1,00)	9,35
	7	0,938 (1,00)	13,92 (1,01)	13,92 (1,00)	13,61 (1,00)	1,03 (1,33)	1,13 (1,33)	9,81 (1,01)	10,74 (1,01)	6,63 (1,00)	9,70	
	8	0,466 (9,00)	27,09 (6,00)	208,7 (9,00)	206,4 (9,00)	24,79 (9,00)	27,12 (9,00)	131,3 (9,00)	143,6 (9,00)	7,34 (2,41)	71,41	
	9	0,800 (3,35)	35,00 (9,00)	35,00 (1,87)	34,22 (1,86)	-1,08 (1,35)	-1,19 (1,35)	23,20 (1,89)	25,38 (1,89)	7,56 (2,84)	25,39	
	10	0,927 (1,19)	14,36 (1,17)	14,69 (1,03)	14,19 (1,03)	-0,24 (1,08)	-0,26 (1,08)	10,92 (1,08)	11,94 (1,08)	8,69 (5,09)	13,83	
	d ₀	1	0,830 (2,21)	22,44 (2,04)	22,44 (1,84)	21,94 (1,90)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	18,16 (3,05)	19,87 (3,05)	7,11 (3,27)	19,36
2		0,849 (1,70)	21,16 (1,31)	21,16 (1,08)	20,44 (1,03)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	15,97 (1,12)	17,47 (1,12)	9,05 (6,09)	15,44	
3		0,849 (1,70)	21,15 (1,30)	21,15 (1,07)	20,43 (1,02)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	16,19 (1,31)	17,71 (1,31)	9,05 (6,09)	15,81	
4		0,846 (1,78)	21,37 (1,43)	21,37 (1,20)	20,39 (1,00)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	15,97 (1,12)	17,47 (1,12)	11,06 (9,00)	18,64	
5		0,875 (1,00)	21,03 (1,23)	21,03 (1,00)	20,55 (1,10)	-0,69 (1,47)	-0,76 (1,47)	15,92 (1,07)	17,41 (1,07)	7,05 (3,18)	12,60	
7		0,875 (1,00)	21,13 (1,29)	21,13 (1,06)	20,65 (1,15)	2,40 (2,64)	2,63 (2,64)	15,83 (1,00)	17,32 (1,00)	7,05 (3,19)	14,98	
8		0,578 (9,00)	34,57 (9,00)	34,57 (9,00)	34,19 (9,00)	11,70 (9,00)	12,80 (9,00)	24,91 (9,00)	27,26 (9,00)	5,54 (1,00)	73,00	
9		0,862 (1,37)	24,05 (2,97)	24,05 (2,78)	23,51 (2,81)	0,90 (1,62)	0,99 (1,62)	17,23 (2,23)	18,85 (2,23)	7,18 (3,37)	20,99	
10		0,850 (1,68)	20,62 (1,00)	21,11 (1,05)	20,39 (1,00)	0,04 (1,03)	0,04 (1,03)	16,00 (1,15)	17,50 (1,15)	9,05 (6,08)	15,16	

* DN: Denklem Numarası; R²_{Düz.}: Düzeltilmiş R²; SEE: Tahminlerin standart hatası (SEE); HOKK: Hataların ortalama karekökü (RMSE); Ortalama hata (OH) (ME ya da MB); OMH: Ortalama mutlak hata (MAE); Akaike bilgi kriteri (AIC)
Parantez içindeki değerler başarı ölçütlerinin sahip oldukları nispi sıralama puanlarını göstermektedir.

Tablo 4b. Tek ağaç bazında denetlenen regresyon denklemlerinin başarı ölçütleri ve sıralama puanları (Karar matrisi)
Table 4b. Performance criteria and ranking scores of regression equations generated on single tree level (Decision matrix)

	DN*	R ² _{Düz.}	SEE (S _{y,x})	HOKK	HOKK (%)	OH	OH (%)	OMH	OMH (%)	AIC	Σ Puan	
Bağımsız Değişken(ler)	$d_{1,3}$	1	0,887 (2,79)	18,33 (3,14)	17,92 (3,18)	19,60 (3,18)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	13,52 (3,54)	14,79 (3,54)	6,89 (3,33)	24,72
		2	0,923 (1,51)	15,08 (1,30)	14,56 (1,32)	15,93 (1,32)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	11,18 (1,62)	12,23 (1,62)	8,68 (6,04)	16,72
		3	0,910 (1,98)	16,35 (2,02)	15,79 (2,00)	17,28 (2,00)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	12,55 (2,74)	13,73 (2,74)	8,76 (6,16)	21,64
		4	0,928 (1,37)	14,66 (1,07)	13,99 (1,00)	15,31 (1,00)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	10,43 (1,00)	11,41 (1,00)	10,64 (9,00)	17,43
		5	0,938 (1,00)	15,04 (1,28)	14,70 (1,39)	16,08 (1,39)	-0,50 (1,41)	-0,55 (1,41)	11,01 (1,47)	12,04 (1,47)	6,69 (3,03)	13,87
	7	0,938 (1,00)	15,10 (1,31)	14,76 (1,43)	16,15 (1,43)	1,04 (1,86)	1,14 (1,86)	11,12 (1,57)	12,17 (1,57)	6,69 (3,03)	15,05	
	8	0,710 (9,00)	28,70 (9,00)	28,38 (9,00)	31,04 (9,00)	9,74 (9,00)	10,66 (9,00)	20,14 (9,00)	22,04 (9,00)	5,35 (1,00)	73,00	
	9	0,916 (1,76)	15,77 (1,69)	15,41 (1,79)	16,86 (1,79)	0,06 (1,05)	0,07 (1,05)	11,78 (2,11)	12,88 (2,11)	6,74 (3,10)	16,45	
	10	0,925 (1,45)	14,54 (1,00)	14,38 (1,22)	15,73 (1,22)	0,18 (1,00)	0,19 (1,00)	10,83 (1,32)	11,84 (1,32)	8,67 (6,02)	15,83	
	d_{0-h}	1	0,880 (1,16)	18,92 (1,27)	18,49 (1,27)	20,23 (1,27)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	13,77 (1,10)	15,06 (1,10)	6,92 (3,43)	12,58
2		0,855 (2,10)	20,76 (2,13)	20,06 (2,02)	21,95 (2,02)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	16,89 (3,85)	18,48 (3,85)	9,00 (6,86)	24,82	
3		0,827 (3,16)	22,67 (3,02)	21,90 (2,90)	23,95 (2,90)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	18,15 (4,96)	19,86 (4,96)	9,09 (7,00)	30,90	
4		0,877 (1,26)	19,13 (1,37)	18,26 (1,15)	19,98 (1,15)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	14,65 (1,88)	16,03 (1,88)	10,90 (10,0)	20,69	
5		0,884 (1,00)	18,35 (1,00)	17,94 (1,00)	19,62 (1,00)	-0,55 (1,46)	-0,60 (1,46)	13,67 (1,02)	14,96 (1,02)	6,89 (3,38)	12,34	
6		0,882 (1,04)	19,03 (1,32)	18,38 (1,21)	20,11 (1,21)	-0,63 (1,53)	-0,69 (1,53)	13,98 (1,28)	15,29 (1,28)	8,91 (6,72)	17,14	
7		0,884 (1,00)	18,54 (1,09)	18,13 (1,09)	19,83 (1,09)	2,34 (2,96)	2,56 (2,96)	13,65 (1,00)	14,94 (1,00)	6,90 (3,40)	15,59	
8		0,648 (10,0)	31,60 (7,20)	31,24 (7,37)	34,18 (7,37)	10,74 (10,0)	11,75 (10,0)	22,66 (8,93)	24,79 (8,93)	5,44 (1,00)	70,81	
9		0,755 (5,92)	37,58 (10,0)	36,73 (10,0)	40,18 (10,0)	-0,09 (1,08)	-0,10 (1,08)	23,87 (10,0)	26,12 (10,0)	7,60 (4,56)	62,64	
10		0,881 (1,11)	18,38 (1,01)	18,17 (1,11)	19,88 (1,11)	-0,21 (1,18)	-0,23 (1,18)	14,06 (1,35)	15,38 (1,35)	8,90 (6,70)	16,11	

* DN: Denklem Numarası; R²_{Düz.}: Düzeltilmiş R²; SEE: Tahminlerin standart hatası (SEE); HOKK: Hataların ortalama karekökü (RMSE); Ortalama hata (OH) (ME ya da MB); OMH: Ortalama mutlak hata (MAE); Akaike bilgi kriteri (AIC)
Parantez içindeki değerler başarı ölçütlerinin sahip oldukları nispi sıralama puanlarını göstermektedir.

Tablo 4c. Tek ağaç bazında denetlenen regresyon denklemlerinin başarı ölçütleri ve sıralama puanları (karar matrisi)
Table 4c. Performance criteria and ranking scores of regression equations generated on single-tree level (decision matrix)

	DN*	R ² _{Düz.}	SEE (S _{y,x})	HOKK	HOKK (%)	OH	OH (%)	OMH	OMH (%)	AIC	Σ Puan
Bağımsız Değişken(ler) $d_{1,3} - h$	1	0,923 (1,64)	15,16 (1,11)	14,82 (1,11)	16,22 (1,11)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	11,35 (1,46)	12,42 (1,46)	6,70 (3,33)	13,21
	2	0,889 (3,16)	18,16 (2,23)	17,55 (2,15)	19,20 (2,15)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	13,52 (2,99)	14,79 (2,99)	8,86 (6,92)	24,60
	3	0,891 (3,08)	18,03 (2,18)	17,41 (2,10)	19,05 (2,10)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	13,05 (2,66)	14,28 (2,66)	8,86 (6,91)	23,69
	4	0,915 (1,99)	15,92 (1,39)	15,19 (1,25)	16,62 (1,25)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	12,05 (1,95)	13,18 (1,95)	10,72 (10,0)	21,79
	5	0,921 (1,69)	14,86 (1,00)	14,53 (1,00)	15,89 (1,00)	-0,48 (1,47)	-0,53 (1,47)	10,71 (1,00)	11,72 (1,00)	6,68 (3,29)	12,92
	6	0,937 (1,00)	15,29 (1,16)	14,77 (1,09)	16,16 (1,09)	-0,54 (1,53)	-0,59 (1,53)	11,06 (1,25)	12,10 (1,25)	8,69 (6,64)	16,53
	7	0,921 (1,69)	14,98 (1,05)	14,65 (1,05)	16,02 (1,05)	1,48 (2,44)	1,62 (2,44)	10,74 (1,02)	11,75 (1,02)	6,68 (3,31)	15,05
	8	0,738 (10,0)	27,26 (5,61)	26,96 (5,73)	29,49 (5,73)	9,24 (10,0)	10,11 (10,0)	19,27 (7,07)	21,08 (7,07)	5,29 (1,00)	62,21
	9	0,785 (7,88)	39,05 (10,0)	38,18 (10,0)	41,77 (10,0)	-1,04 (2,01)	-1,14 (2,01)	23,41 (10,0)	25,61 (10,0)	7,64 (4,89)	66,80
	10	0,919 (1,79)	15,13 (1,10)	14,97 (1,17)	16,37 (1,17)	-0,21 (1,21)	-0,23 (1,21)	11,67 (1,68)	12,77 (1,68)	8,71 (6,66)	17,66

* DN: Denklem Numarası; R²_{Düz.}: Düzeltilmiş R²; SEE: Tahminlerin standart hatası (SEE); HOKK: Hataların ortalama karekökü (RMSE); Ortalama hata (OH) (ME ya da MB); OMH: Ortalama mutlak hata (MAE); Akaike bilgi kriteri (AIC)
Parantez içindeki değerler başarı ölçütlerinin sahip oldukları nispi sıralama puanlarını göstermektedir.

3.2. Meşcere düzeyinde yaş ticari kök kütlesi

Meşcere düzeyinde yaş ticari kök kütlesini tahmin edebilmek için kabuklu gövde odunu hacminin (V_{KGO}) (m³/ha) bağımsız değişken olduğu tek girişli regresyon denklemleri geliştirilmiştir. Bu denklemlerin bağımlı değişkenini temsil eden meşcere yaş ticari kök kütlesinin (t/ha) hesaplayabilmek amacıyla Bölüm 3.1’de ayrıntılı sonuçları verilen göğüs çapı ($d_{1,3}$) ve boya bağlı (h) çift girişli regresyon denkleminin yararlanılmıştır. Bu denklemin bağımsız değişkenleri ise göğüs çapı ($d_{1,3}$) ve ağaç boyudur (h) (Tablo 3). Örnek alanların hacimlerinin hesaplanmasında ise Tolunay ve ark. (2017) tarafından geliştirilen regresyon denkleminin (Eşitlik 3) yararlanılmıştır.

Buna göre sahil çamı ağaçlandırmalarından alınan 45 adet örnek alanda en düşük yaş ticari kök miktarı 22,90 t/ha iken, en yüksek yaş ticari kök miktarı ise 150,02 t/ha olarak hesaplanmıştır. Bu örnek alanlarda kabuklu gövde hacmi ise 75,53 (m³/ha)

ile 874,94 (m³/ha) arasında değişmektedir. Sahil çamı örnek alanlarında yaş ticari kök kütlesinin ortalama ve standart hata değerleri Çmb3, Çmc3 ve Çmcd3 meşcere tiplerine göre, sırasıyla, 47,45±4,01 t/ha; 74,07±3,25 t/ha ve 102,65±6,72 t/ha olarak hesaplanmıştır.

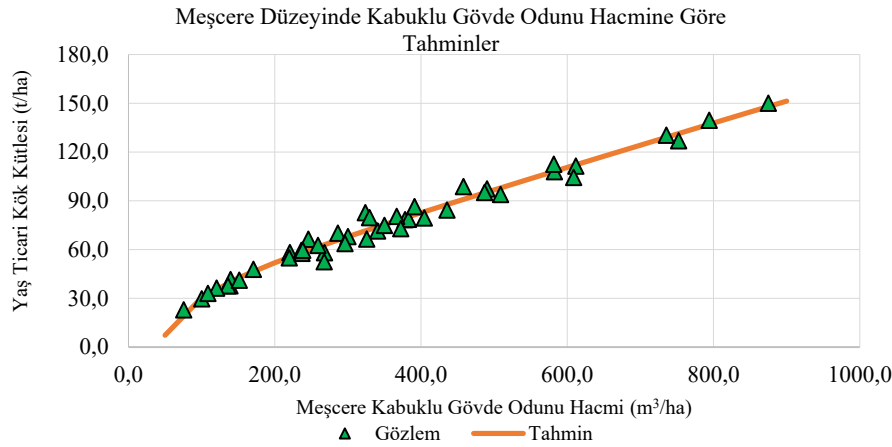
Meşcere hacminden yararlanılarak meşcere yaş ticari kök kütlesini tahmin etmek amacıyla Tablo 2’de genel yapıları verilen 10 ayrı regresyon denkleminin katsayıları hesaplanmıştır. Ancak bu denklemlerden 6 no’lu denklemin β_1 ve β_2 katsayıları hesaplanamamıştır. Daha açık bir ifade ile 6 no’lu denklem yardımıyla meşcere hacmi ile meşcere yaş ticari kök kütlesi arasında herhangi bir regresyon ilişkisi kurabilmek söz konusu değildir (Tablo 5). Ancak geriye kalan 9 adet regresyon denkleminin %95 güvenle bir çözüme ulaşabildiği görülmüştür. Bu denklemlerin katsayıları ile bunlara ilişkin çeşitli istatistik bilgiler Tablo 5’te verilmiştir.

Söz konusu 9 adet denkleme ilişkin başarı ölçütleri de hesaplanmıştır. Buna göre en yüksek R²_{düz}

Tablo 5. Meşcere bazıdan denetlenen regresyon denklemlerinin katsayıları ve çeşitli istatistik bilgileri¹
Table 5. Coefficients and various statistical information of regression equations generated on stand level¹

Denklem No	Regresyon Katsayıları				F _{Hesap}	f
	β_0	β_1	β_2	B_3		
1	20,9621 ***	0,1502 ***	-	-	1575,46 ***	-
2	14,1642 ***	0,1904 ***	-28,1197 **	-	946,53 ***	-
3	33,5690 ***	0,1329 ***	-1646,12 ***	-	1086,57 ***	-
4	35,7555 ***	0,1254 ***	0,00001 ns	-1804,01 *	708,30 ***	-
5	0,0521 ns	0,7180 ***	-	-	2128,10 ***	1,0018
6	Bu veri grubu için çözüme ulaşılamamıştır.					
7	1,1274 ns	0,7180 ***	-	-	2128,10 ***	-
8	-	0,7388 ***	-	-	218317,36 ***	-
9	3,5061 ***	0,0020 ***	-	-	285,88 ***	-
10	182,3000 ***	2,1270 ***	0,0025 ***	-	524,83 ***	-

¹ $R^2_{Düz.}$ ve SEE değerleri tekrar olmaması için karar matrisinin bulunduğu Tablo 4'te verilmiştir.
***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$; ns: Non-significant ($p > 0,05$)



Şekil 5. Meşcere düzeyinde yaş ticari kök kütlelerinin tek girişli denkleme (V_{KGO}) (Denk. 3) göre tahmini.
Figure 5. Estimation of fresh merchantable root biomass at stand level according to single-entry equation (V_{KGO}) (Eq. 3).

değeri 0,980 (3, 4, 5 ve 7 no'lu denklemler) olarak hesaplanmıştır. En düşük $R^2_{düz.}$ değeri ise 0,866 ile 9 no'lu regresyon denklemi için hesaplanmıştır. SEE değeri en düşük olan denklem 3 no'lu denklem ($SEE = 4,197$) olurken, en yüksek ise yine 9 no'lu denklemdir ($SEE = 12,146$). Tüm denklemlerin HOKK, OH, OMH, vb. diğer başarı ölçütlerinin hesaplanması sonucunda yapılan nispi sıralama puanlaması sonucunda en düşük sıralama puanını (14,37) alarak en başarılı olan denklem ise 3 no'lu denklemdir. Bu denklemin HOKK, OH ve OMH

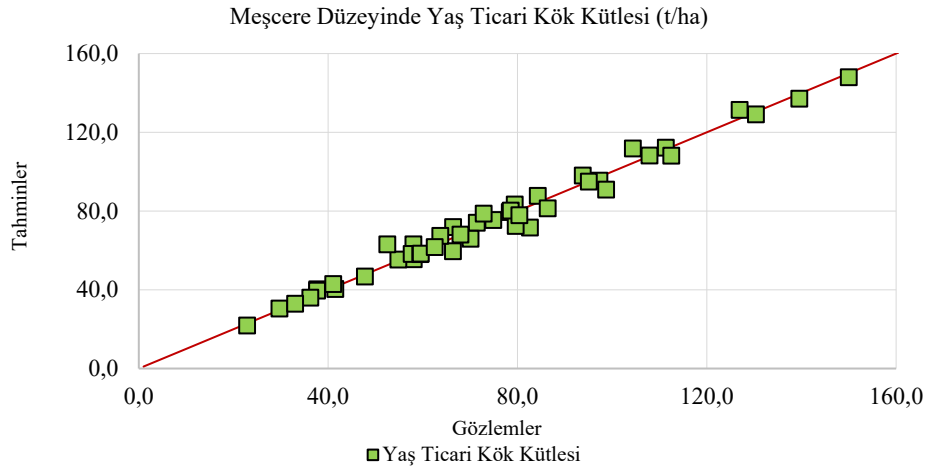
değerleri, sırasıyla, 4,06, 0,00 ve 3,02 biçiminde hesaplanmıştır (Tablo 6). Meşcere bazında denetlenen ve çözüme ulaşılan tüm regresyon denklemlerinin başarı ölçütleri ve nispi sıralama puanları Tablo 6'da bulunmaktadır.

Denklem 3'e göre meşcere hacmi ile yaş ticari kök kütleleri arasında parabolik bir ilişki mevcuttur (Şekil 5). Bu denklemden elde edilen tahminler ile denklemin bağımlı değişkenini oluşturan yaş ticari kök kütleleri arasındaki ilişki de Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Meşcere bazında denetlenen regresyon denklemlerinin başarı ölçütleri ve sıralama puanları (karar matrisi)
Table 6. Performance criteria and ranking scores of regression equations controlled on a stand basis (decision matrix)

DN*	R ² _{adj}	SEE (S _{y.x})	HOKK	HOKK (%)	OH	OH (%)	OMH	OMH (%)	AIC	Σ Puan
1	0,973 (1,51)	4,911 (1,72)	4,80 (1,77)	6,42 (1,77)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	3,75 (2,09)	5,02 (2,09)	5,57 (3,84)	16,77
2	0,977 (1,20)	4,491 (1,30)	4,34 (1,29)	5,81 (1,29)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	3,47 (1,68)	4,65 (1,68)	7,47 (6,40)	16,85
3	0,980 (1,00)	4,197 (1,00)	4,06 (1,00)	5,43 (1,00)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	3,02 (1,03)	4,04 (1,03)	7,40 (6,31)	14,37
4	0,980 (1,03)	4,245 (1,05)	4,05 (1,00)	5,42 (1,00)	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	2,99 (1,00)	4,01 (1,00)	9,40 (9,00)	17,08
5	0,980 (1,03)	4,275 (1,08)	4,18 (1,13)	5,59 (1,13)	0,07 (4,18)	0,10 (4,18)	3,27 (1,39)	4,37 (1,39)	5,43 (3,65)	19,16
7	0,980 (1,03)	4,275 (1,08)	4,18 (1,13)	5,59 (1,13)	0,07 (4,18)	0,10 (4,18)	3,27 (1,39)	4,37 (1,39)	5,43 (3,65)	19,16
8	0,978 (1,15)	4,369 (1,17)	4,32 (1,27)	5,78 (1,27)	-0,18 (9,00)	-0,25 (9,00)	3,33 (1,48)	4,45 (1,48)	3,46 (1,00)	26,83
9	0,866 (9,00)	12,15 (9,00)	11,87 (9,00)	15,89 (9,00)	-0,16 (7,88)	-0,21 (7,88)	8,56 (9,00)	11,46 (9,00)	6,47 (5,06)	74,83
10	0,972 (1,57)	4,919 (1,73)	4,75 (1,72)	6,36 (1,72)	-0,06 (3,54)	-0,08 (3,54)	3,88 (2,28)	5,20 (2,28)	7,56 (6,52)	24,88

* DN: Denklem Numarası; R²_{Düz.}: Düzeltilmiş R²; SEE: Tahminlerin standart hatası (SEE); HOKK: Hataların ortalama karekökü (RMSE); Ortalama hata (OH) (ME); OMH: Ortalama mutlak hata (MAE); Akaike bilgi kriteri (AIC)
Parantez içindeki değerler başarı ölçütlerinin sahip oldukları nisni sıralama puanlarını göstermektedir.



Şekil 6. Meşcere düzeyinde gözlenen ve tahmin edilen yaş ticari kök kütleleri arasındaki ilişki
Figure 6. The relationship between the observed and estimated fresh merchantable root biomass on stand level

4. Tartışma ve Sonuç

Türkiye’de sahil çamı türü toplam 55.926 ha alanda yayılış göstermektedir (OGM, 2022b). Doğal türümüz olmasa da hızlı gelişen bir tür olan sahil çamı, ülkemiz ağaçlandırma çalışmalarında 50 yılı aşan bir süredir kullanılmaktadır. Son yıllarda idare süresini dolduran sahil çamı ağaçlandırmalarının tıraşlanarak kesilmesi ve arazinin yeniden ağaçlandırılması çalışmalarına başlanmıştır. Kesilen bu ağaçların kökleri ise çeşitli sektörlerle satılmaktadır. Ancak dikili damga usulüyle satılan bu ağaçlandırmalarda kök kütlesi miktarını satış öncesi

belirlemede bilimsel araştırma eksikliği nedeniyle çeşitli zorluklarla karşılaşabilmektedir. Bu çalışma ile İstanbul’da bulunan Durusu Kumulundaki sahil çamı ağaçlandırmalarında yaş ticari kök bitkisel kütle tahmin edebilmek için literatürde sıklıkla rastlanan çeşitli denklemlerin parametreleri hesaplanmıştır.

Kullanılan denklemler arasından nispi sıralama puanlaması yardımı ile en uygun denklem seçilmiştir. Yaş ticari kök kütle tahmin edebilmek için hem tek ağaç düzeyinde tek ve çift girişli regresyon denklemleri hem de meşcere düzeyinde tek

girişli regresyon denklemi geliştirilmiştir.

Bitkisel kütleli belirlemede kullanılan yöntemler tek ağaç ve meşcere düzeyinde uygulanabilmekte, her iki düzeyde de kökler de dâhil çeşitli ağaç bileşenlerinin kütlelerini tahmin edecek regresyon denklemleri geliştirilmektedir. Ancak toprakaltı kütle (kök) tahmin çalışmaları, köklerin çıkartılmasındaki zorluklar nedeniyle daha azdır. Yaklaşık 750 araştırmada yer verilen 6000 kadar denklemi değerlendiren Luo ve ark. (2019), bu çalışmalarda toprak altı kısmın yalnızca %23'lük bir oran ile incelendiğini, denklemlerde ise bu oranın %18'e düştüğünü vurgulamışlardır.

Bitkisel kütle tahmin çalışmalarında çoğunlukla çeşitli bağımsız değişkenlerin kullanıldığı denklemler geliştirilerek elde edilen tahminler ölçüm verileri ile karşılaştırılmaktadır. Bu denklem türlerinden üssel denklemlerin ($y=a(X_0)^b$) kullanıldığı çalışmaların bitkisel kütle tahminlerinde istatistiki olarak daha etkin olduğu düşünülmektedir (Pilli ve ark., 2006; Muukkonen, 2007; Zianis, 2008). Nitekim çeşitli araştırmalarda üssel (Peichl ve Arain, 2007; Mendoza-Ponce ve Galicia, 2010; Luo ve ark., 2020) denklemlerin kullanıldığı, bağımsız değişken olarak ise göğüs yüzeyi çapının kabul edildiği (Mugasha ve ark., 2013; Nath ve ark., 2019; Delcourt ve Ververbeke, 2022) görülmektedir. Bunlar haricinde doğrusal ($y=a+bX_0$) denklemlerin (Kurz ve ark., 1996), bağımsız değişken olarak dip çapın (Ritson ve Sochacki, 2003; Lopes ve ark., 2005), kabuklu gövde odunu hacminin (Tolunay, 2012) ya da göğüs yüzeyinin (Ledig, 1972) kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Araştırmamızda yer verilen denklemlerden başka denklem yapılarının tercih edildiği birçok çalışma bulunmaktadır (Djomo ve Chimé, 2017; Sakici ve ark., 2018; Oberleitner ve ark., 2021).

Augusto ve ark. (2015), Fransa'da aynı yaşlı sahil çamlarında yaptıkları çalışmada $d_{1,3}$ ve kök bitkisel kütlesi arasında oldukça anlamlı ilişkiler olduğunu ve bu ilişkilerin en başarılı şekilde üssel denklemler kullanılarak temsil edilebileceğini bildirmiştir. Lopes ve ark. (2005) ise Portekiz'deki bazı sahil çamı ağaç bileşenlerini $d_{1,3}$, d_0 , ağaç boyu ve tepe çapı kullanarak hesaplamıştır. Önceki çalışmadan farklı olarak, araştırmacılar tek ağaçta toprak üstü bitkisel kütle tahminlerinde $d_{1,3}$ değişkenini en tutarlı bağımsız değişken olarak bildirmiş; fakat bu denklemlerin belirtme katsayısı (R^2) yüksek olsa dahi bu değişkeni kök bitkisel kütlesi için yeterli bir tahmin aracı olarak görmemişlerdir. Bu sebeple bu çalışmada tek ağaç bazında yaş ticari kök kütlesini hem tek başına göğüs çapına bağlı olarak hem de göğüs çapı ve ağaç boyunun bir fonksiyonu olan $(d_{1,3})^2h$ türetilmiş değişkenine bağlı olarak tahmin

etmede kullanılacak regresyon denklemleri geliştirilmiştir. Bu çalışma ile tek ağaç (Eşitlik 13 – 17) ve meşcere bazında (Eşitlik 18) geliştirilen regresyon denklemleri aşağıdaki eşitliklerde görülmektedir.

$$B_{YTK} = 14,7303 + (186,4657 \times V_{KGO}) \quad (\text{Eşitlik 13})$$

$$\log B_{YTK} = -1,7018 + (2,4076 \times \log d_0) \quad (\text{Eşitlik 14})$$

$$\log B_{YTK} = -1,2491 + (2,2781 \times \log d_{1,3}) \quad (\text{Eşitlik 15})$$

$$\log B_{YTK} = -1,3719 + (0,7870 \times \log((d_0^2)h)) \quad (\text{Eşitlik 16})$$

$$\log B_{YTK} = -1,0705 + (0,7558 \times \log((d_{1,3}^2)h)) \quad (\text{Eşitlik 17})$$

$$B_{YTK} = 33,5690 + (0,1329 \times V_{KGO}) - (1646,1176/V_{KGO}) \quad (\text{Eşitlik 18})$$

Logaritmik regresyon denklemlerinin tahminlerinde sistematik hatalar söz konusudur (Pehlivan, 2010). Bu hatayı gidermek için tek ağaç düzeyinde geliştirilen regresyon denklemleri için bir düzeltme faktörü hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen logaritmik denklemler ile elde edilen tahmini yaş ticari kök kütlelerinin ilgili düzeltme faktörü ile çarpılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Yukarıdaki eşitliklerden logaritmik yapıda olanlara (Eşitlik 14-17) ilişkin düzeltme faktörleri, sırasıyla, 1,0348; 1,0171; 1,0324 ve 1,0218 biçimindedir.

Denetlenen regresyon denklemlerinin tahmin başarısı denklem yapısı ve örneklenen ağaç sayısı kadar örneklemin bağımsız değişkenlerine ait alt ve üst sınırlarına da bağlıdır. Bu çalışmada tek ağaçlara ait çeşitli bağımsız değişkenlerin sınır değerleri Tablo 1'de yer almaktadır. Buna göre tek ağaç düzeyindeki denklemler bağımsız değişken olarak; a) dip çapın 14-45 cm, b) göğüs çapının 11-36 cm, c) ağaç boyunun 6-23 m ve d) Kabuklu gövde odunu hacminin ise 0,3-1,1 m³/ağaç arasında istatistik olarak anlamlı sonuçlar vereceği unutulmamalıdır. Meşcere düzeyi için geliştirilen denklemde ise bağımsız değişken olarak meşcere hacmi kullanılmıştır. Durusu Kumulu sahil çamı ağaçlandırmalarında meşcere hacminin 75,5-874,9 (m³/ha) arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Luo ve ark. (2019), Çin'deki bitkisel kütle tahmin çalışmalarının derlendiği araştırmalarında yedi çam (*Pinus*) türüne ait kalın kök ve kök kütüğü

bileşenlerinin modellenmesi amacıyla göğüs yüksekliğindeki çap ve ağaç boyunun bağımsız değişken olarak kullanıldığı 10 farklı denklem saptanmıştır. Çeşitli varyasyonları ile araştırmacıların belirlediği bu denklemler, sahil çamının modellediği bu çalışmada kullanılan 1, 6 ve 7 numaralı denklemler ile benzerlik gösterdiği, ancak derlemede belirlenen örnek sayısı ile çap ve ağaç boyu aralıklarının bu çalışmadan daha düşük değerlerle sınırlandırıldığı görülmektedir.

Kök kütlesi de dâhil tüm bitkisel kütle çalışmalarında miktarlar çoğunlukla kuru ağırlık olarak ele alınmaktadır. Yaş ağırlıkların kullanıldığı bitkisel kütle çalışmaları oldukça sınırlıdır. Bunlardan Türkiye'deki doğal sarıçam (*Pinus sylvestris*) ormanları ve ağaçlandırmalarında yapılan bir çalışmada göğüs çapları 10-35 cm arasında ağaçların tüm kök yaş ağırlıkları 11,9-232,3 kg/ağaç, ağaçlandırmalarda ise 6,7-223,9 kg/ağaç arasında bulunmuştur (Say, 2016). Çalışmamızda belirlediğimiz yaş ticari kök miktarları bu çalışmayla paralellik göstermektedir.

Ülkemizde yapılan diğer kök kütlesi çalışmalarında sonuçlar kuru ağırlık üzerinden verilmiştir. Örneğin çapları 7-63 cm arasında değişen doğal sarıçam ağaçlarındaki kök kütlesi 7,9-578,7 kg/ağaç arasında bulunmuştur (Çömez, 2010). Toros sediri (*Cedrus libani*) ağaçlandırmalarında çapları 9,5-35,5 cm arasındaki ağaçların kuru kök kütlesi 4,7-95,7 kg/ağaç (Karataş ve ark. (2017); karaçam (*Pinus nigra*) ağaçlandırmalarında ise çap aralığı 10,2-34,9 cm olan ağaçların kuru kök miktarları 4,2-79,8 kg/ağaç olarak saptanmıştır (Güner ve Çömez, 2014). Ritson ve Sochacki (2003), güney batı Avustralya'nın kıyı kesiminde çeşitli çap ve sıklık kademelerinde 148 adet sahil çamında tek ağaç düzeyinde bitkisel kütle tahminleri sonucunda d_0 'ın 40 cm civarında olduğu sık aralıklı ağaçların kök kütlesini 100 kg/ağaç civarında hesaplamışlardır. Meşcere sıklığının azalması ve çapların artması ile bu miktarın yaklaşık olarak 500 kg/ağaç miktarına yükselbileceğini göstermişlerdir.

Cairns ve ark. (1997)'nin dünya çapında birçok ekosistemden elde ettikleri kuru kök kütlesi tahminleri %95 güven aralığının alt ve üst sınırlarıyla sırasıyla 24-87 t/ha ve 45-165 t/ha arasında değiştiği; Amerikan alçak zon ibrelili ormanlarında bu miktarın 99 t/ha'a çıktığını bildirmişlerdir. Araştırmamızda ise yaş ticari kök miktarları 22,9-150,0 t/ha arasında değişmektedir. Bitkisel kütle nem içeriğinin %50 civarında olduğu düşünüldüğünde (Özdemir ve Makineci, 2019) çalışmamızdaki verilerin bu bulgularla tutarlı olduğu değerlendirilmektedir.

Türkiye'deki birim alandaki kuru kök kütlesinin tahmin edildiği çalışmalarda çalışmamıza benzer yöntemler kullanılmıştır. Bunlardan Çömez (2010) doğal sarıçam ormanlarında kuru kök kütlesini 5,4-91,5 ton/ha, Güner ve Çömez (2014) karaçam ağaçlandırmalarında 3,8-29,6 t/ha olarak hesaplamışlardır. Aydın (2016), Toros sediri ormanlarında kalın kök ve toplam kök miktarlarını ayrı olarak belirlemiş olup, sırasıyla 53,43 t/ha ve 69,23 t/ha olarak tahmin etmiştir.

Yukarıdaki bulgulardan görülebileceği üzere ağaç köklerinin kütleleri oldukça değişkendir. Correia ve ark. (2010), bitkisel kütle denklemlerinin türe ve coğrafi alanlara özgü olmasını tavsiye etmişler, bunun mümkün olmadığı alanlarda ise kullanılacak denklemlerin doğrulanabilir ve çalışma alanına göre düzenlenebilir olması gerektiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, ormanın yapısındaki kalıcı bölgesel farklılıkları, karbon depolamasını ve akışlarını daha doğru bir şekilde hesaplamak için yerel bitkisel kütle denklemlerinin gerekli olduğunu bildiren Banin ve ark. (2012), özellikle toprak üstü kısımlardaki her ağaç bileşeni için farklı modellemelerin yapılmasının bölgesel çeşitliliğin anlaşılması için gerekli olduğunu savunmaktadırlar. Nitekim daha önce de değinildiği üzere bitkisel kütle ile tek ağaçların çeşitli değişkenleri arasında genellikle üssel formda ilişkiler tespit edilmişken, bu araştırmada tek ağaçlar için hacim hariç diğer ağaç boyutları ile yaş ticari kök kütlesi arasında logaritmik yapıdaki denklemler daha başarılı tahminler vermiştir. Bu hususta temsil kabiliyeti kadar uygulayıcıların takip ettiği mesleki standartlar ve bileşenlerin varyasyon genişliği de (en düşük ve yüksek yaş, çap ya da hacim miktarları) öne çıkmaktadır. Ledig (1972), örneklenen birey ve bileşenlerin amaçlanan çıktı için gerekenden daha yaşlı, büyük ya da fazla olmaması gerektiğini ifade etmektedir.

Meşcere yaş ticari kök kütlesinin meşcere hacmine bağlı olarak tahmin edilmesi Orman Genel Müdürlüğü ile uygulama anlamında paralellik sağlamaktadır. Uygulamada kesilen ağaçların kökleri yaş olarak satılmaktadır. Her ne kadar gerek tek ağaçların gerekse meşcerenin hacmini doğrudan ölçmenin çeşitli zorlukları olsa da, ormancılıkta odun üretimi miktarının hacim olarak hesaplandığı düşünüldüğünde meşcere hacminin bilinmesi durumunda yaş ticari kök kütlesinin de tespit edilebilmesi mümkün olacaktır. Bu amaçla herhangi bir meşcerenin sahip olduğu yaş ticari kök kütlesinin tespiti için orman amenajman planlarındaki 13 no'lu tabloda yer alan ağaç serveti verisinden yararlanılabilir. Böylelikle üretime alınacak bir meşcere elde edilebilecek ticari kök miktarı da uygu-

lamacı tarafından Eşitlik 18'de verilen denklemler tahmin edilebilecektir. Ancak amejman planlarında Tablo 13'deki meşcere tiplerine ilişkin servetin ortalama değerler olduğu ve belirli hata miktarları ile verildiği, farklı bonitet sınıfları, çap dağılımı özellikleri ve ağaç sayısı gibi meşcere parametreleri ile hata varyansının genişleyebileceği uygulamacı tarafından dikkate alınmalıdır.

Önemli bir karbon ve besin maddesi olan kök kütükleri ve diğer köklerin sökülmesi teknik olarak mümkün ve ekonomik olarak kârlı olsa da toprak verimliliği açısından gelecekteki orman üretimini düşürebileceği ve bu yüzden kök hasadının sürdürülebilir bir strateji olmadığı da belirtilmektedir (Augusto ve ark., 2015). Kısa ve uzun vadede çeşitli kök bileşenlerinin ölçmeleri sonucunda ayrı ayrı toprağa geçen bitki besin maddelerinin toprağı zenginleştirilmesi söz konusudur. Besin döngüsüne bitkisel olarak katkı sağlayan bu olgu aynı zamanda toprağın çeşitli fiziksel özelliklerine (toprakların boşluklu kısımlarının yenilenmesi ile drenaj ve solunumun dengelenmesi) ve hayvan topluluklarına da fayda sağlayabilmektedir. Kökler aynı zamanda orman ekosistemlerinde karbon havuzudur ve köklerin sökülmesiyle ormanlardaki karbon stokları azalmaktadır.

Uygulamada göz önüne alınması gereken bir diğer husus da köklerin sökülmesinde kullanılacak yöntemlerdir. Kök hasadı esnasında bozulacak toprak yalnızca kök kütüğü çevresi ile sınırlı kalmayacaktır. Söküm işlemi sırasında yan köklerin de hareketi ile kök sistemi bir bütün olarak hareket edecek ve toprak sisteminde değişiklikler meydana gelecektir. Örneğin toprağın mimarisi (Kantarçı, 2000) bozulabilecektir. Ağaç köklerinin eğimli alanlarda stabilizasyon özelliği de bulunmaktadır. Bu nedenlerle her ne kadar kökler satılarak gelir elde edilse de kesilmiş ağaçların köklerinin ekosistemde kalmasının ekolojik etkilerinin olduğu da değerlendirilmeli ve hatta kök sökülmesinin geçmişten bu yana Türk ormancılığında onaylanmayan bir uygulama olduğu unutulmamalıdır (Irmak, 1940).

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK-TOVAG tarafından 1140797 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

Augusto, L., Achat, D.L., Bakker, M.R., Bernier, F., Bert, D., Danjon, F., Khelifa, R., Meredieu, C., Trichet, P., 2015. Biomass and nutrients in tree root systems sustainable harvesting of an intensively managed *Pinus pinaster* (Ait.) planted forest. *GCB Bioenergy* 7(2): 231-243. doi.org/10.1111/gcbb.12127

Aydın, A.C., 2016. Toros Sediri (*Cedrus libani* A. Rich.)'nde Biyokütle Araştırmaları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.

Banin, L., Feldpausch, T.R., Phillips, O.L., Baker, T.R., Lloyd, J., Affum-Baffoe, K., Arets, E.J.M.M., Berry, N.J., Bradford, M., Brienen, R.J.W., Davies, S., Drescher, M., Higuchi, N., Hilbert, D.W., Hladik, A., Iida, Y., Salim, K.A., Kassim, A.R., King, D.A., Lopez-Gonzalez, G., Metcalfe, D., Nilus, R., Peh, K.S.-H., Reitsma, J.M., Sonké, B., Taedoumg, H., Tan, S., White, L., Wöll, H., Lewis, S.L., 2012. What controls tropical forest architecture? Testing environmental, structural and floristic drivers. *Global Ecology and Biogeography* 21(12): 1179-1190. doi.org/10.1111/j.1466-8238.2012.00778.x

Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the World's upland forests. *Oecologia* 111: 1-11.

Çelen, F., 2022. Çankırı-Kenbağ Orman Fidanlığında Üretimi Yapılan Bazı Türlerin Vejetasyon Süresince Periyodik Morfolojik ve Fizyolojik Fidan Karakterleri Değişimi. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu.

Correia, A.C., Tomé, M., Pacheco, C.A., Faias, S., Dias, A.C., Freire, J., Carvalho, P.O., Pereira, J.S., 2010. Biomass allometry and carbon factors for a Mediterranean pine (*Pinus pinaster* L.) in Portugal. *Forest Systems* 19 (3): 418-433. doi.org/10.5424/fs/2010193-9082

Çömez, A., 2010. Sündiken Dağlarında Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Delcourt, C.J.F., Veraverbeke, S., 2022. Allometric equations and wood density parameters for estimating aboveground and woody debris biomass in Cajander larch (*Larix cajanderi*) forests of northeast Siberia. *Biogeosciences* 19(18): 4499-4520. doi.org/10.5194/bg-19-4499-2022

Djomo, A.N., Chimi, C.D., 2017. Tree allometric equations for estimation of above, below and total biomass in a tropical moist forest: Case study with application to remote sensing. *Forest Ecology and Management* 391: 184-193. doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.022

Doğan, N., 2010. Düzce Yöresinde Yetişen Uludağ Gökarnı'nın (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. ssp. *bormulleriana* (Mattf.) Code et Cullen) Çapa Bağlı Biyokütle Denklemi ile Diri-Odun Yaprak Yüzey Alanı İlişkisi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Düzce.

Ercanlı, İ., 2020. Innovative deep learning artificial intelligence applications for predicting relationships between individual tree height and diameter at breast height. *Forest Ecosystems* 7(12): 1-18.

Ercanlı, İ., Günlü, A., Şenyurt, M., Çakır, M., Şatır, O.,

- Bulut, S., Bolat, F., Atar, D., Satılmış, E.N., Demirel, T., Şen, K.E., 2023. Batı Karadeniz Bölgesinde Doğal Yayılış Gösteren Saf Doğu Kayını Meşcerelerinin Artım ve Büyümesinin Derin Öğrenme Algoritmaları ile Modellemesi. TÜBİTAK-TOVAG, Proje No: 119O556.
- Fayolle, A., Doucet, J-L., Gillet, J-F., Bourland, N., Lejeune, P., 2013. Tree allometry in Central Africa: testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *Forest Ecology and Management* 305: 29-37. doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.036
- Fonseca, T.F., Gonçaves, A.C., Lousada, J., 2022. Maritime pine, its biological and silvicultural traits for the basis of natural resources: An overview. In: *Conifers - Recent Advances*. C. Gonçaves, A., Fonseca, T. (Eds.), ISBN: 978-1-83969-777-7, IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.102860
- 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.
- Guner, S.T., Comez, A., 2017: Biomass equations and changes in carbon stock in afforested black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) stands in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin* 26(3), 2368-2379.
- Güner, S., Tüfekçioğlu, A., Duman, A., Küçük, M., 2010. Murgul Yalancı Akasya Ağaçlandırmalarının ve Bitişigindeki Otlak Alanların Toprak Üstü Biyokütle, Kök Kütle, Kök Üretimi Ve Karbon Depolama Yönelimlerinden Karşılaştırılması. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Artvin, Cilt: III: 1045-1055.
- Irmak, A., 1940. Orman toprağının fizikî vasıflarına müessir olan silvikültür tedbirleri ve amelîyeleri. *Orman ve Av* 9: 264-268.
- İBB, 2009. İstanbul Büyükşehir Belediyesi. 1/100.000 Ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Plan Raporu. İstanbul.
- Kantarıcı, M.D., 1983. Kerpe Tur-71/521 Ağaçlandırma alanında uygulanan arazi hazırlığı ve toprak işleme yöntemlerinin toprak özellikleri ile sahil çamı fidanlarının gelişimi üzerindeki etkileri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 33 (2): 104-140.
- Kantarıcı, M.D., 2000. Toprak İlmi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. İstanbul.
- Karabürk, T., 2011. Bartın İli Gökna Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Hazırlanması. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bartın.
- Karataş, R., Çömez, A., Güner, Ş., 2017. Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) ağaçlandırma alanlarında karbon stoklarının belirlenmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi* 4 (2): 107-120. doi.org/10.17568/ogmoad.338029
- Kocamanoğlu, Y.O., 2022. Karadağ Kütleli Doğu Ladinini (*Picea orientalis* (L.) Link) Ağaçlandırmalarında Kök, Toprak ve Ölü Örtüdeki Karbon ve Azot Birikimi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Kurz, W.A., Beukema, S.J., Apps, M.J., 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector. *Canadian Journal of Forest Research* 26(11): 1973-1979. doi.org/10.1139/x26-223
- Ledig, F.T., 1972. The Application Of Mass Selection In Tree Improvement, 20th Northeastern Forest Tree Improvement Conference, University of New Hampshire, July 31 - August 2, 1972, Durham, New Hampshire.
- Lopes, D., Almeida, L.R., Castro, J.P., Aranha, J., 2005. The Adjustment Of Global And Partial Dry Biomass Models For *Pinus pinaster* In The North-East Of Portugal. 5º Congresso Florestal Nacional, 16-19 Maio 2005, Viseu, República Portuguesa.
- Luo, Y., Wang, X., Ouyang, Z., Lu, F., Feng, L., Tao, J., 2019. ChinAllomeTree 1.0: China's normalized tree biomass equation dataset. *Earth System Science Data Discussions*. doi.org/10.5194/essd-2019-1
- Luo, Y., Wang, X., Ouyang, Z., Lu, F., Feng, L., Tao, J., 2020. A review of biomass equations for China's tree species. *Earth System Science Data* 12(1): 21-40. doi.org/10.5194/essd-12-21-2020
- Makineci, E., Akburak, S., Özturba, A.G., Tolunay, D., 2017. Carbon stocks of fine woody debris in coppice oak forests at different development stages. *Forests* 8 (6): 199. doi.org/10.3390/f8060199
- MathWorks, 2017. Matlab R2017b, Ver. 9.3.0.713579. Natick, Massachusetts. The MathWorks Inc.
- Mendoza-Ponce, A., Galicia, L., 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry* 83 (5): 497-506. doi.org/10.1093/forestry/cpq032
- Meşe, Ö., 2022. Geçiş İklim Zonunda Farklı Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Populasyonlarının Tohum/Fidan Morfolojik ve Biyokimyasal Özellikleri ile Ekolojik Faktörlerin İlişkilendirilmesi. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Çankırı.
- Meyer, H.A., 1938. The standart error of estimate of tree volume from logarithmic volume equation. *Journal of Forestry* 36(3), 340-342.
- Mısır, N., Mısır M., 2012. Root biomass and carbon storage in *Abies nordmanniana* S. subsp. *bornmülleriana* (Mattf.) stands (Western Black Sea Region). *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Özel Sayı: 225-227.
- Mugasha, W.A., Eid, T., Bollandsås, O.M., Malimbwi,

- R.E., Chamshama, S.A.O., Zahabu, E., Katani, J.Z., 2013. Allometric models for prediction of above- and belowground biomass of trees in the Miombo Woodlands of Tanzania. *Forest Ecology and Management* 310: 87-101. dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.003
- Muukkonen, P., 2007. Generalized allometric volume and biomass equations for some European tree species in Europe. *European Journal of Forest Research* 126: 157-166.
- Nath, A.J., Tiwari, B.K., Sileshi, G.W., Sahoo, U.K., Brahma, B., Deb, S., Devi, N.B., Das, A.K., Reang, D., Chaturvedi, S.S., Tripathi, O.P., Das, D.J., Gupta, A., 2019. Allometric models for estimation of forest biomass in North East India. *Forests* 10(2): 103. doi.org/10.3390/f10020103
- Ngomanda, A., Obiang, N.L.E., Lebamba, J., Mavouroulou, Q.M., Gomat, H., Mankou, G.S., Loumeto, J., Iponga, D.M., Ditsouga, F.K., Koumba, R.Z., Bobé, K.H.B., Okoyi, C.M., Nyangadouma, R., Lépengué, N., Mbatchi, B., Picard, N., 2014. Site-specific versus pan-tropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist Central African forest?. *Forest Ecology and Management* 312: 1-9. doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.029
- Oberleitner, F., Egger, C., Oberdorfer, S., Dullinger, S., Wanek, W., Hietz, P., 2021. Recovery of aboveground biomass, species richness and composition in tropical secondary forests in SW Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 479: 118580. doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118580
- OGM, 2013. Orman Genel Müdürlüğü. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü. Çatalca Orman İşletme Müdürlüğü. Durusu Orman İşletme Şefliği. Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2013-2022), İstanbul.
- OGM, 2022a. Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Satış Usul ve Esasları Hakkında 312 Sayılı Tebliğ. ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/mevzuat/tebligler (Ziyaret Tarihi: 02/05/2023).
- OGM, 2022b. Orman Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikleri, Ormanlık İstatistikleri 2021. https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler (Ziyaret Tarihi: 15/06/2023)
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M.J., Brooks, J.R. and Wiant Jr., H.V., 2009. Estimating Tree Bole Volume Using Artificial Neural Network models for Four Species in Turkey. *Journal of Environmental Management* 91: 742-753.
- Özdemir, E., Makineci, E., Yilmaz, E., Kumbasli, M., Caliskan, S., Beskardes, V., Ketten, A., Zengin, H., Yilmaz, H., 2019. Biomass estimation of individual trees for coppice-originated oak forests. *European Journal of Forestry Research* 138: 623-637. doi.org/10.1007/s10342-019-01194-2
- Özdemir, E., Makineci, E., 2019. Baltalık meşe meşcerelerinde ağaç biyokütle bileşenlerinin nem oranları. *Türkiye Ormanlık Dergisi* 20(2), 116-122. doi.org/10.18182/tjf.530457
- Peichl, M., Arain, M.A., 2007. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Forest Ecology and Management* 253(1-3): 68-80. doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.003
- Pehlivan, S., 2010. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Pilli, R., Anfodillo, T., Carrer, M., 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management* 237(1-3): 583-593. doi.org/10.1016/j.foreco.2006.10.004
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of Methods to Predict Weibull Parameters for Characterizing Diameter Distributions. *Forest Science* 59(2): 243-252.
- Ritson, P., Sochacki, S., 2003. Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus pinaster* trees in farm forestry plantations, South-Western Australia. *Forest Ecology and Management* 175(1-3): 103-117. doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00121-4
- Saatçioğlu, F., Atay, İ., Açıkbaz, M. R., Özman, N., 1978. Terkos Gölünü Tehdit Eden Büyük Kumulun Tespit ve İslahına Matuf Ağaçlandırmaların Emniyeti ve Geliştirilmesi Üzerine Araştırmalar. TÜBİTAK Yayınları, Ankara.
- Sakici, O.E., Seki, M., Sağlam, F., 2018. Above-ground biomass and carbon stock equations for Crimean pine stands in Kastamonu Region of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin* 27(10): 7079-7089.
- Saldarriaga, J.G., West, D.C., Tharp, M.L., Uhl, C., 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76(4): 938-958.
- Saraçoğlu, Ö., 1986. Karadeniz Yöresi Gökknar Meşçerelerinde Artım ve Büyüme. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Saraçoğlu, Ö., Bozkuş, F. 1996. Terkos Kumulunun fıstık ve sahil çamlarıyla yapılan ağaçlandırmasında kumul tespit yöntemlerinin başarısı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi A 46 (2): 59-70.
- Saranay, S., 2017. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Genç Doğal Karaçam (*Pinus nigra*) Meşçerelerinde Bitkisel Kütle Miktarlarının Belirlenmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Sargıncı, M., 2014. Batı Karadeniz Orman Ekosistemlerinde Ölü Örtü Dinamiği, Düzce Üniversitesi, Fen Bi-

limleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Düzce.

Sarıyıldız, T., Tanı, M., 2022. Root biomass and root carbon and nitrogen stocks of ash, alder, and oak stands in Karacabey Floodplain Forest. *Forestist* 73(1): 97-107. DOI: 10.5152/forestist.2022.22021

Sarıyıldız, T., 2015. Effects of tree species and topography on fine and small root decomposition rates of three common tree species (*Alnus glutinosa*, *Picea orientalis* and *Pinus sylvestris*) in Turkey. *Forest Ecology and Management* 335: 71-86. doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.030

Say, Ş., 2016. Çerkeş Orman İşletme Şefliği Doğal ve Plantasyon Genç Sarıçam Bireylerinin Toprak Üstü ve Toprak Altı Biyokütle Miktarları. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bartın.

Solla-Gullón, F., Álvarez, P., Balboa, M.A., Rodríguez Soalleiro, R.J., Merino, A., 2005. Growing stock-based assessment of the carbon stock in a pilot zone of northern Spain: Comparison of biomass equations and biomass expansion factors. *Annals of Forest Science* 62(8). <https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/2005/08/F5085.pdf>

Sun, O., Uğurlu, S., Araslı, B. 1976. Stepe geçiş yörelerindeki sarıçam meşcerelerinde biyolojik kütlelerin Saptanması, Ormancılık Araştırma Enstitüsü. Teknik Bülten No: 80, Ankara.

Tolunay, D. 2012. Bolu-Aladağ'daki genç sarıçam meşcereleri için oluşturulan bitkisel kütle denklemleri ve katsayıları. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University* 62(2): 97-111.

Tolunay, D., Makineci, E., Şahin, A., Özturna, A.G., Pehlivan, S. Abdelkaim, M.M.A., 2017. İstanbul-Durusu Kumul Alanlarındaki Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait.) Ve Fıstık Çamı (*Pinus pinea* L.) Ağaçlandırmalarında Karbon Birikimi. TÜBİTAK-TOVAG, Proje No: 114O797.

Tüfekçioğlu, A., Güner, S., 2008. Artvin-Murgul Yalancı Akasya Ağaçlandırmalarının Odun Üretimi, Biyokütle, Karbon Depolama, Toprak Islahı ve Erozyonu Önleme Yönlerinden Araştırılması. TÜBİTAK-TOVAG,

Proje No: 106O418.

Tüfekçioğlu, A., Küçük, M., 2010. Saf Sarıçam Meşcerelerinde Kök Kütle, Kök Üretimi ve Kök Karbon Depolama Miktarlarının Yaş Sınıflarına Göre Değişimi. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Artvin, Cilt: III: 1030-1037.

Tüfekçioğlu, A., Güner, S., Tilki, F., 2005a. Thinning effects on production, root biomass and soil properties in a young oriental beech stand in Artvin, Turkey. *Journal of Environmental Biology* 26(1): 91-95.

Tüfekçioğlu, A., Sarıyıldız, T., Güner, S., Küçük, M., 2005b. Artvin Genya Dağı Yöresi Doğu Ladini Meşcerelerinde Kök Kütle, Yıllık İbre Dökümü ve Toprak Solunumu Miktarlarının Değişimleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi Ladin Sempozyumu, 20-22 Ekim 2005, Trabzon, Cilt I: 123-129.

Tüfekçioğlu, A., Küçük, M., Kırış, K., Zengin, O., 2010. Saf Ve Karışık Sarıçam Meşcerelerinde Kalın Kök Kütle Miktarı Ve Bunu Etkileyen Etmenler. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Artvin, Cilt: III: 1038-1044.

Ülküdür, M., 2010. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Sedir Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bartın.

Yağcı, V., 2010. Hopa Cankurtaran Mevkiindeki Sık Ve Seyrek Yetiştirilen Ve İlk Aralama Çağına Gelen Doğru Kayını Meşcerelerinin Biyokütle Özelliklerinin Belirlenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Artvin.

Yavuz, H., Mısır, N., Mısır, M., Tüfekçioğlu, A., Karahalil, U., Küçük, M., 2010. Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam (*Pinus slyvestris* L.) Meşcereleri İçin Mekanistik Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi. TÜBİTAK-TOVAG, Proje No: 106O274.

Zianis D., 2008. Predicting mean aboveground forest biomass and its associated variance. *Forest Ecology and Management* 256(6): 1400-1407.