



ÇAKÜ Araştırma Ormanı Karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli toprak üstü ağaç biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi

İlker Ercanlı ¹, Muammer Şenyurt ¹, Alkan Günlü ¹, Meriç Çakır ¹, Ferhat Bolat ¹, Sinan Bulut ¹

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, 18200, Çankırı

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 16/10/2023

Kabul Tarihi: 29/12/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1376635>

* Sorumlu yazar:

ilkerercanlı@karatekin.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, Çankırı Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanı içerisinde bulunan saf ve aynı yaşlı Anadolu Karaçamı meşcerelerinden seçilen 50 adet örnek ağaç kullanılarak tek ve çift girişli gövde, kabuk, ibre, dal ve toplam toprak üstü biyokütle denklemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu denklemlerden, tek girişli gövde biyokütle denkleminin belirleme katsayısı (R^2), toplam hata yüzdesi (THY), ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY) değerleri sırasıyla 0,911, -4,7763 ve 16,9823 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler çift girişli gövde biyokütle denklemi için sırasıyla 0,951, 0,0000 ve 12,2506 olarak bulunmuştur. Tek ve çift girişli kabuk biyokütle denklemlerinin R^2 , THY ve OMHY değerleri (devam eden cümlelerde köşeli parantez içerisinde verilen değerler çift girişli denklemlere ait, []) sırasıyla 0,885 [0,926], -4,2410 [0,0000] ve 20,3853 [17,6638]'tir. Tek ve çift girişli ibre biyokütle denklemi için benzer şekilde R^2 , THY ve OMHY değerleri sırasıyla 0,547 [0,637], ve 31,4892 [0,0000] ve 55,3247 [57,1074] olarak elde edilmiştir. Tek ve çift girişli dal biyokütle denklemlerinin R^2 , THY ve OMHY değerleri sırasıyla 0,781 [0,793], 0,5932 [6,2919] ve 33,5256 [34,7849] olarak hesaplanmıştır. Tek ve çift girişli toplam toprak üstü biyokütle denklemlerinin R^2 , THY ve OMHY değerleri ise sırasıyla 0,913 [0,954], 2,3304 [7,5169] ve 17,5011 [14,5473] olarak elde edilmiştir. Tüm bu denklemlere ilişkin bütün parametreler, istatistiksel olarak $p < 0,001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur.

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler: Biyokütle bileşenleri, regresyon, tahmin, Karaçam

Developing single- and double-entry above-ground tree biomass equations for Crimean Pine stands located in ÇAKÜ Research Forest

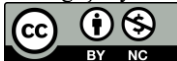
ABSTRACT

In this study, single and double entry stem, bark, leaf, branch, and total biomass equations were developed using a total of 50 trees measured in pure and even-aged Anatolian Crimean Pine stands located in Çankırı Karatekin University, Faculty of Forestry Research and Application Forests, Çankırı State Forest Planning Unit. Among the biomass equations developed, the coefficient of determination (R^2), the percent of total error (TE%), and the percent of mean absolute error (MAE%) were calculated as 0.911, -4.7763, and 16.9823 for single-entry stem biomass, respectively. Those for double-entry stem biomass were found as 0.951, 0.0000, and 12.2506 in the same order. R^2 , TE%, and MAE% (the values into square brackets in the following sentences are belong to double-entry equations, []) for single- and double-entry bark biomass equations were 0.885 [0.926], -4.2410 [0.0000] and 20.3853 [17.6638]. In the same way, R^2 , TE%, and MAE% for single- and double-entry leaf biomass equations were obtained as 0.547 [0.637], and 31.4892 [0.0000] and 55.3247 [57.1074]. R^2 , TE%, and MAE% for single- and double-entry branch biomass equations were calculated as 0.781 [0.793], 0.5932 [6.2919] and 33.5256 [34.7849]. R^2 , TE%, and MAE% for single- and double-entry total biomass equations were obtained as 0.913 [0.954], 2.3304 [7.5169] and 17.5011 [14.5473]. The estimated parameters in all the equations were found to be statistically significant at 0.001 significance level.

Key Words: Biomass, regression, prediction, Crimean Pine

Bu makaleye atf:

Ercanlı, İ., Şenyurt, M., Günlü, A., Çakır, M., Bolat, F., Bulut, S., 2023. ÇAKÜ Araştırma Ormanı Karaçam meşcereleri tek ve çift girişli toprak üstü ağaç biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(2), 126-134.



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

1. Giriş

Günümüzde yenilenebilir doğal kaynaklardan en önemlisi orman biyokütlesidir (Alemdağ, 1981). Biyokütle; bir ağaçtan elde edilebilecek gövde, dal, yaprak, kabuk ve köklerden oluşan ve bu ağaçların oluşturduğu meşcerenin toplam kütle (ağırlık) miktarı olarak ifade edilmektedir (Sun ve ark., 1980). Biyokütle, ekosistemlerdeki madde birikimi ve değişimini, ormanların karbon stokları ile yıllık karbon depolama güçlerini ve ormanların biyoenerji kapasitelerini oluşturur (Saraçoğlu, 1988). Son yıllarda, Dünya petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklı doğal kaynakların gün geçtikçe tükenmesi, petrol fiyatlarının artışı ve bu fosil kaynaklı yakıtların tüketilmesi ile atmosferde karbondioksit konsantrasyonunun artması, orman biyokütlesi gibi yenilenebilir kaynaklara olan ilgiyi artırmaktadır (Saraçoğlu, 1988). Bu bakımdan, başta Avrupa Birliği içindeki ülkeler olmak üzere dünyada birçok ülke politikalarında biyokütleden elde edilen enerji kullanımının artırılmasına yönelik bir eğilim göze çarpmaktadır (Saraçoğlu, 1988).

Biyokütle kavramı, 19. Yüzyılın başlarında Alman ormancı Hartig tarafından dendrometrik ölçümlerin kuru ağırlık olarak açıklanması gerektiği şeklinde dolaylı olarak ifade edilmiştir. 1930'lu yıllarda, 1932 yılında Boysen-Jensen ve Senda; 1950'li yıllarda ise, 1953 yılında Bürger ve 1957 yılında Ovington tarafından biyokütle konusundaki ilk çalışmalara gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda, 1964 yılında Borowski ve 1967 yılında Young, göğüs çapı, çap artımı ve boya dayalı şekilde ağaç kütle artımı tablolarını düzenlemişlerdir (Saraçoğlu, 1988). Orman ekosistemi içerisindeki ağaçların kütle olarak miktarı belirlenebilecek olan kısımları; gövde, dal odunu, kabuk, kökler, yapraklar ve meyve ya da kozalak şeklinde sınıflandırılabilir (Saraçoğlu, 1988).

Yakın gelecekte dünyamızda petrol ve doğalgaz konusunda kıtlık yaşanacağı, bilim insanlarının ortak görüşü olarak ortaya çıkmaktadır. Bu türden yenilenemeyen fosil yakıtların tükeniyor olması, yeni enerji kaynağı alternatifleri bulunmasını zorunlu kılmaktadır (Saraçoğlu, 1998). Bir kaynak alternatifi olarak, orman ekosistemini oluşturan ağaçların kütlelerini kapsayan "orman biyokütlesi" de değerlendirilmeye başlamıştır. Biyokütle, güneş enerjisinin bitkisel maddeler biçimine değişimi ile ortaya çıkmaktadır. Günümüzde orman biyokütlesi olarak, doğal ve yapay meşcereler, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak araştırılmaya başlanmıştır. Son yıllarda, enerji kıtlığının giderilmesine katkı sağlayabilmek amacıyla orman işletmeciliği ve orman biyokütle kaynaklarının çeşitli şekillerde kullanılmasına yönelik alternatif yöntemler geliştirilmektedir (Alemdağ, 1981; Saraçoğlu, 1998).

Odun, bugüne kadar özellikle hammadde olarak kullanılmış ve mekanik yöntemle değerlendirilmiş; bunun dışında kalan kısımların ise çok küçük bir bölümü kimyasal olarak kâğıt, besin (yem) maddesi, ilaç, kozmetik maddeler ve ikincil organik maddelerin elde edilmesinde kullanılmıştır. Hammadde kaynaklarından daha fazla yararlanmak için, alışımlı kullanım alanları ile yetinilmeyip, özellikle artıkların işlenmesine ve teknolojik kullanımına başlanmıştır. Günümüzde orman hasılatından değerlendirilebilen hammaddelerin elde edilmesi, arttırılması ve çok yönlü kullanılmasına ilişkin olanaklar büyük ilgi görmektedir (Saraçoğlu, 1998). Bu suretle ormanların sunduğu ürün ve hizmetleri tamamıyla saptamak ve bu şekilde

değerlendirmek ekonomik planlama açısından daha faydalı olacaktır.

Saraçoğlu, (1988)'e göre; değişik orman alanlarının, farklı ağaç türlerinin ve farklı bonitetlerin (yetişme ortamı verim gücünün) karşılaştırılmasında, sadece odun verileri üzerinden kıyaslama yetersiz kalmaktadır. Çünkü karşılaştırmada; odun haricindeki ağaç bileşenleri de (dallar, yapraklar / iğne yapraklar, gövde kabuğu) dikkate alınmalıdır. Zira sadece odun miktarı, tüm biyokütleyi ya da yetişme ortamının tüm verimini temsil edememektedir. Ayrıca yakın geçmişe kadar odun verimi bile, genellikle kabuksuz olarak kullanılmıştır. Oysa evrensel bir sorun olan hammadde kıtlığı, ormanların tüm bileşenlerinin kapsamlı şekilde belirlenmesini zorunlu kılmakta ve dolayısıyla da ormanların kapasiteli toplam biyokütle kaynağına olan ilgiyi giderek arttırmaktadır.

Ülkemizde de birçok araştırmacı tarafından, çeşitli ağaç türlerinin biyokütle miktarlarını tahmin etmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmış ve biyokütle tabloları düzenlenmiştir. Sun ve ark. (1976), stepe geçiş alanlarındaki Sarıçam meşcerelerinde gövde, dal, ibre ve tüm ağacın yaş ve fırın kurusu ağırlıklarını göğüs yüzeyi orta ağacının çapı ve boyuna bağlı olarak hesaplayan doğrusal ilişkiler geliştirmiş ve söz konusu bileşenlerin hektardaki yaş ve fırın kurusu ağırlıklarını belirlemişlerdir. Sun ve ark. (1980), Antalya Bük Araştırma Ormanı'nda Kızıldağda yaptıkları araştırmada orta ağaç yöntemi ile tek ağaç ve hektardaki bileşenlerin yaş ve fırın kurusu ağırlıklarını belirlemek için eşitlikler geliştirmişlerdir. Saraçoğlu (1988), Kızıldağ biyokütle tablolarını gövde odunu, gövde kabuğu, yaşayan dallar, dalcık ve yapraklar ile tüm ağaç için, regresyon modelleri yöntemiyle, ülkemizde ilk örnek çalışma olarak düzenlenmiştir. Saraçoğlu (1998), Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Doğu Kayını; Durkaya (1998), Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Meşe; İkinci (2000), Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Kestane; Ünsal (2007), Adana Orman Bölge Müdürlüğü Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki Kızıldağ; Atmaca (2008), Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Sarıçam; Çakıl (2008), Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Karaçam; Ülküdür (2010), Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Sedir, Karabürk (2011), Bartın ilindeki Göknar ve Yılmaz (2015)'da, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Kızıldağ meşcerelerinin tek ağaç ve hektardaki biyokütle miktarlarının tahmin edilmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Ayrıca, Ülker (2010), Amasya Orman Bölge Müdürlüğü içerisindeki Sarıçam meşcerelerinin; Mısır ve ark. (2010) Maçka Orman İşletme Müdürlüğü Eğitim ve Araştırma İşletme Şefliği Doğu Ladini meşcerelerinin; Aydın (2010), Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Borçka Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki Sarıçam meşcerelerinin tek ağaç biyokütle miktarlarının tahmin edilebilmesi amacıyla çalışma yapmışlardır. Ayrıca, Sönmez ve ark. (2010)'da, Artvin yöresindeki aynı yaşlı ve saf Doğu Ladini meşcereleri için ve Yavuz ve ark. (2010)'da Karadeniz Bölgesi saf ve karışık sarıçam meşcereleri için biyokütleyi ve karbon depolama kapasitesi belirlemişlerdir. Sağlam (2016), Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Taşköprü yöresi karaçam meşcereleri için biyokütle denklemlerinin geliştirmiştir. Sakıcı ve ark. (2016), Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Anadolu Karaçamı ağaçlarının toprak üstü biyokütle ve karbon depolama denklemleri geliştirmiştir.



Şekil 2. Yaş biyokütle ölçümlerine ilişkin görünüm

Fırın kurusu haline gelen örnek kesitlerin kabuklu ağırlıkları tartılıp kesit ölçülerinden de hacimleri bulunmuş, sonra kabuk soyularak aynı işlem tekrarlanmıştır. Bu aşamada, örnek gövde kesitinin ağacı en iyi şekilde temsil etmesi için alınan üç kesitin (dip, orta, uç) kuru ağırlıkları kullanılarak, arazide ölçülen çap ve boy değerleri ile örnek ağaca ait hesaplanmış gövdenin toplam hacmi ile kesitlerin hacminin oranı esas alınarak, bu oran ile örnek gövde kesitinin ortalama fırın kurusu ağırlığı ile çarpılarak örnek ağacın fırın kurusu gövde ağırlığı kg olarak hesaplanmıştır. Fırın kurusu hale getirildikten sonra gövde kesitlerinden soyulan kabuklar tartılarak kabuğa ilişkin kuru ağırlıklar belirlenmiştir. Örnek ağacın kabuklu ve kabuksuz gövde hacmi hesaplanmış ve aralarındaki fark belirlenerek örnek ağacın kabuk hacmi bulunmuştur. Aynı işlem örnek kabuklu gövde kesiti ve kabuksuz gövde kesiti için tekrarlanmış, örnek gövde kesitine ait kabuk hacmi bulunmuştur. Örnek ağaca ait toplam kabuk hacmi ile örnek kesit kabuk hacmi ilişkilendirilmiştir. Hesaplanan bu oran ile örnek kesite ait fırın kurusu kabuk ağırlığı çarpılarak, örnek ağacın kabuk kuru ağırlığı hesaplanmıştır.

Kuru dal ağırlığının hesaplanmasında, tüm dalları temsil eden 3 adet dalın kuru ağırlığı tartıldıktan sonra; bu örnek dalların hesaplanan hacimleri ile arazide örnek ağaçlar üzerinde ölçülen tüm dalların dip çapları ve uzunlukları kullanılarak örnek ağaçların hesaplanan tüm dal hacimleri oranlanmış, hesaplanan bu oran ile örnek dallara ilişkin fırın kurusu ağırlığı çarpılarak, örnek ağacın dal kuru ağırlığı elde edilmiştir. Kuru ibre ağırlıklarının hesaplanmasında, ibre örneklerinin alındığı 3 adet dalın toplam hacminin örnek ağacın toplam dal hacmine oranı kullanılarak, bu oran ile örnek dallara ilişkin ibre fırın kurusu ağırlığı çarpılarak, örnek ağacın ibre kuru ağırlığı elde

edilmiştir. Örnek ağaçlarda belirlenen gövde odunu, dal, ibre ve kabuğun fırın kurusu ağırlıklarının toplanmasıyla, toprak üstü toplam biyokütle değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3. Kurutma ve kuru örneklerin tartılmasına ilişkin görünüm

Biyokütle denklemlerinin geliştirilmesinde, literatürden elde edilen birçok farklı denklem yapısı denenmiş ve kullanılmıştır. Bu çalışmada çeşitli kaynaklardan (Saraçoğlu, 1998; Yavuz ve ark., 2010; Sakıcı ve ark., 2016) sağlanan biyokütle modellerinden tek girişli için 9, çift girişli için ise 8 farklı biyokütle denkleminin katsayıları Regresyon Analizi ile tahmin edilmiştir. Söz konusu biyokütle denklemlerinde, ağaçlara ilişkin biyokütle bileşenlerinin kuru değerleri bağımlı değişken iken; çap (tek girişli tahmin) ve çap ile birlikte boy değerleri (çift girişli tahminler) ise bağımsız değişken olarak alınmıştır.

Tek girişli modeller

$$w = b_0 + b_1 \cdot d$$

$$w = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2$$

$$w = b_0 + b_1 \cdot \ln d$$

$$w = b_0 \cdot b_1^d$$

$$w = e^{(b_0 + \frac{b_1}{d})}$$

$$w = b_0 \cdot d^{b_1}$$

$$w = b_0 + \left(\frac{b_1}{d}\right)$$

$$w = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot d}$$

$$w = e^{(b_0 + b_1 \cdot d)}$$

$$w = e^{(b_0 + b_1 \cdot d)}$$

Çift girişli modeller

$$W = b_0 + b_1 d^2 h$$

$$W = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h + b_3 d^2 h$$

$$W = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 h$$

$$W = b_0 + b_1 d + b_2 h + b_3 d^2 h$$

$$W = b_0 + b_1 h + b_2 d^2$$

$$W = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d h$$

$$W = b_0 + b_1 \frac{d}{h}$$

$$W = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h$$

No.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

$$R_{düz.}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \hat{w}_i) / (n-k)}{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w}) / (n-1)}$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i - \hat{w}_i) / (n-k)}$$

$$RMSE\% = \left(\left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i - \hat{w}_i)^2 / (n-k)} \right] / \bar{w}_i \right) \cdot 100$$

$$AIC = n \ln(RMSE) + 2k$$

$$BIC = n \ln(RMSE) + n \ln(k)$$

$$THY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \hat{w}_i - \sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$OMHY = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{w}_i - w_i|}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Burada, w_i : arazide ölçülen gözlem değerini, \hat{w} : biyokütle denklemi ile tahmin edilen değeri, \bar{w} : ortalama biyokütle değerini, n : veri sayısını (50) ve k : modellerdeki değişken sayısını göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, arazide kesilen örnek ağaçlarda alınan çeşitli biyokütle bileşenleri olan gövde odunu, kabuk, ibre ve dal ile toplam biyokütle değerlerine ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir.

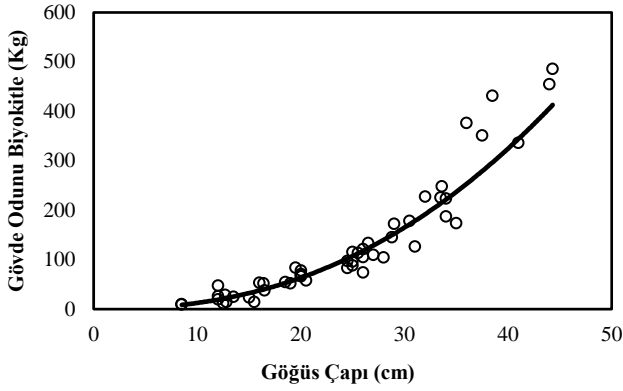
Bu çalışmada denenen farklı tek girişli biyokütle denklemlerinden, tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan ve çeşitli başarı ölçütlerine göre en başarılı olarak belirlenen tek girişli gövde odunu biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

$$w_{gövde} = 0,0547984 \cdot d^{2,3549391}$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,911, RMSE; 36,3015 kg, RMSE%: 28,0157, AIC; 181,5930, BIC; 179,5930, THY: -4,7763, OMHY: 16,9823'tür. Şekil 4'te, arazide ölçülen gövde çapına göre gövde odunu biyokütle değişimi ile geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile tahmin edilen değerlerin ilişkisi gösterilmiştir.

Çizelge 2. Biyokütle bileşenlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

	Göğüs Çapı (cm)	Boy (m)	Gövde Hacim (m ³)	Gövde Biyokütle (Kg)	Kabuk Biyokütle (Kg)	İbre Biyokütle (Kg)	Dal Biyokütle (Kg)	Toplam Biyokütle (Kg)
Minimum	8,5	4,9	0,024	9,197	1,095	0,049	0,479	12,024
Maksimum	44,3	17,3	1,257	485,406	99,873	101,034	113,899	850,895
Aritmetik Ortalama	24,3	10,91	0,347	129,576	23,157	22,803	27,121	197,442
Standart Sapma	9,4	2,86	0,303	121,492	20,934	36,920	29,554	194,152



Şekil 4. Göğüs çapına göre ölçülen gövde biyokütlesi arasındaki ilişki ve geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin değişimi

En başarılı olarak belirlenen ve tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan çift girişli gövde odunu biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

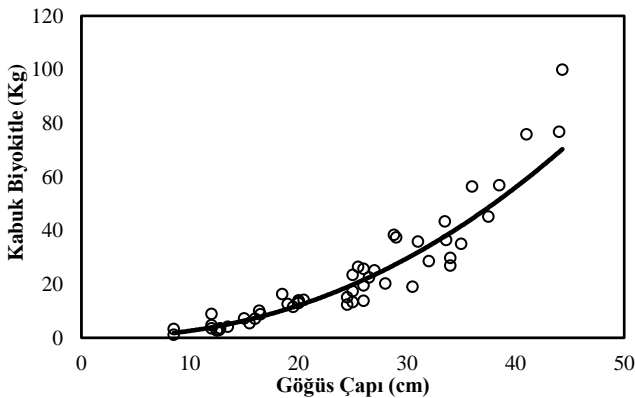
$$w_{\text{gövde}} = 57,191855 + 0,0285109 \cdot (d^2 \cdot h) - 0,0319288 \cdot (d \cdot h^2) - 23,4657269 \cdot \left(\frac{d}{h}\right)$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,951, RMSE; 27,1718 kg, RMSE%: 20,9698, AIC; 169,1090, BIC; 199,7664, THY: 0,0000, OMHY: 12,2506'dür.

Bu çalışmada denenen farklı tek girişli biyokütle denklemlerinden, tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan ve çeşitli başarı ölçütlerine göre en başarılı olarak belirlenen tek girişli kabuk biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

$$w_{\text{kabuk}} = 0,015910 \cdot d^{2,214176}$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,885, RMSE; 7,1029 kg, RMSE%: 30,6723, AIC; 100,0253, BIC; 98,0253, THY: -4,2410, OMHY: 20,3853'tür. Şekil 5'te, arazide ölçülen gövde çapına göre kabuk biyokütle değişimi ile geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile tahmin edilen değerlerin ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 5. Göğüs çapına göre ölçülen kabuk biyokütlesi arasındaki ilişki ve geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin değişimi

En başarılı olarak belirlenen ve tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan çift girişli kabuk biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

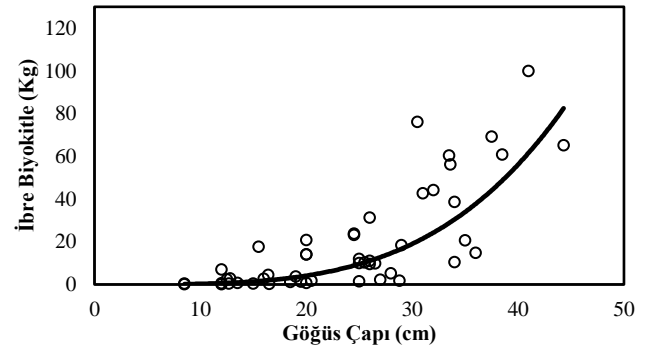
$$w_{\text{kabuk}} = 0,807878 + 0,004491 \cdot (d^2 \cdot h) - 0,0003302 \cdot (d \cdot h^3)$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,926, RMSE; 5,7739 kg, RMSE%: 24,9331, AIC; 91,6671, BIC; 122,3245, THY: 0,0000, OMHY: 17,6638'dir.

Bu çalışmada denenen farklı tek girişli biyokütle denklemlerinden, tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan ve çeşitli başarı ölçütlerine göre en başarılı olarak belirlenen tek girişli ibre biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

$$w_{\text{ibre}} = 0,0000517 \cdot d^{3,767077}$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,547, RMSE; 24,8625 kg, RMSE%: 109,0323, AIC; 162,6681, BIC; 160,6681, THY: -31,4892, OMHY: 55,3247'dür. Şekil 6'da, arazide ölçülen gövde çapına göre ibre biyokütle değişimi ile geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile tahmin edilen değerlerin ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 6. Göğüs çapına göre ölçülen ibre biyokütlesi arasındaki ilişki ve geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin değişimi

En başarılı olarak belirlenen ve tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan çift girişli ibre biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

$$w_{\text{ibre}} = 19,1082887 + 0,009807 \cdot (d^2 \cdot h) - 0,273299 \cdot (d \cdot h)$$

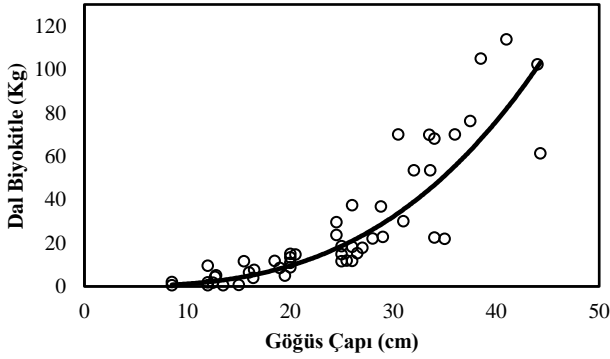
Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,637, RMSE; 22,4658 kg, RMSE%: 98,5218, AIC; 159,5998, BIC; 190,2571, THY: 0,0000, OMHY: 57,1074'tür.

Bu çalışmada denenen farklı tek girişli biyokütle denklemlerinden, tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan ve çeşitli başarı ölçütlerine göre en başarılı olarak belirlenen tek girişli dal biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

$$w_{\text{dal}} = 0,000906389 \cdot d^{3,075817}$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,781, RMSE; 13,5126 kg, RMSE%: 52,3108, AIC; 124,3701, BIC; 122,3701, THY: 0,5932, OMHY: 33,5256'dür. Şekil 7'de, arazide ölçülen gövde çapına göre dal biyokütle değişimi ile geliştirilen tek

girişli biyokütle denklemi ile tahmin edilen değerlerin ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 7. Göğüs çapına göre ölçülen dal biyokütlesi arasındaki ilişki ve geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin değişimi

En başarılı olarak belirlenen ve tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan çift girişli dal biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

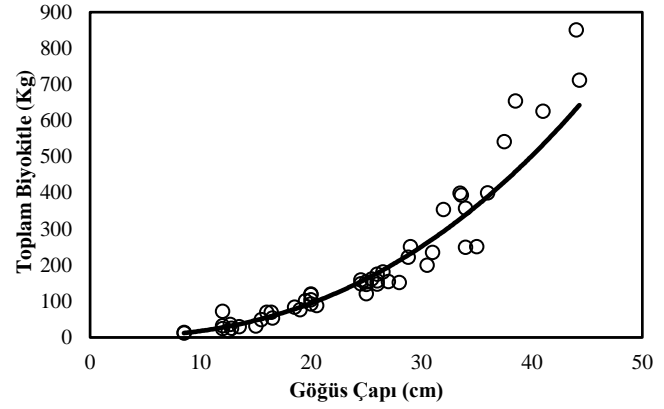
$$w_{dal} = -2,2129854 + 0,006160568 \cdot (d^2 \cdot h) - 0,00051189 \cdot (d \cdot h^3)$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,793, RMSE; 13,3068 kg, RMSE%: 51,5141, AIC; 125,6489, BIC; 154,2268, THY: 6,2919, OMHY: 34,7849'dür.

Bu çalışmada denenen farklı tek girişli biyokütle denklemlerinden, tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan ve çeşitli başarı ölçütlerine göre en başarılı olarak belirlenen tek girişli toprak üstü toplam biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

$$w_{toplam} = 0,06738533 \cdot d^{2,4200338}$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,913, RMSE; 57,8707 kg, RMSE%: 29,3725, AIC; 192,7359, BIC; 190,7359, THY: 2,3304, OMHY: 17,5011'dür. Şekil 8'de, arazide ölçülen gövde çapına göre toplam biyokütle değişimi ile geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile tahmin edilen değerlerin ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 8. Göğüs çapına göre ölçülen toplam biyokütlesi arasındaki ilişki ve geliştirilen tek girişli biyokütle denklemi ile elde edilen tahmin değerlerinin değişimi

En başarılı olarak belirlenen ve tüm parametre değerleri $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı olan çift girişli toprak üstü toplam biyokütle denklemi aşağıda verilmiştir.

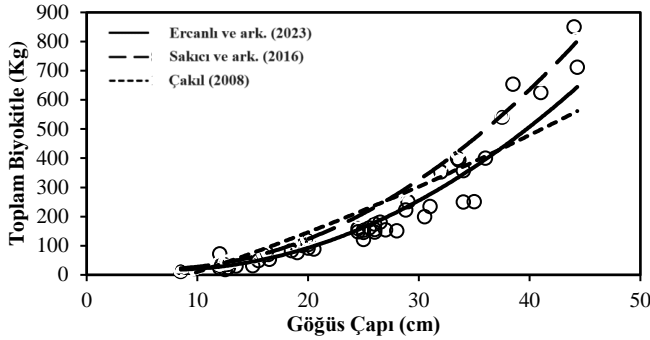
$$w_{toplam} = 92,536322 + 0,0523528 \cdot (d^2 \cdot h) - 0,003205899 \cdot (d \cdot h^3) - 7,53304602 \cdot d$$

Bu denklemin belirtme katsayısı (R^2); 0,954, RMSE; 42,4875 kg, RMSE%: 21,5647, AIC; 180,2129, BIC; 208,7908, THY: 7,5169, OMHY: 14,5473'tür.

Bu çalışmada seçilen ağaçlardan elde edilen toprak üstü toplam biyokütle hesapları ile daha önce karaçam ağaç türü için Çakıl (2008) ve Sakıcı ve ark. (2016) tarafından geliştirilmiş denklemler ile tahmin edilen biyokütle değerleri arasında farkları test etmek için yapılan Eşlendirilmiş t Testi sonuçları ise Çizelge 3'te verilmiştir. Bu test sonuçları incelendiğinde, Çakıl (2008) ve Sakıcı ve ark. (2016) tarafından geliştirilmiş tek ve çift girişli biyokütle denklemleri ile arazide seçilen örnek ağaçların biyokütle değerleri arasında önemli farklar belirlenmiştir ($p < 0,05$). Ayrıca bu çalışmada geliştirilen tek girişli toprak üstü toplam biyokütle denklemi ile Çakıl (2008) ve Sakıcı ve ark. (2016) tarafından geliştirilmiş denklemler ile elde edilen tahminlerin grafik olarak karşılaştırılması, Şekil 9'da verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, daha önce karaçam için geliştirilmiş Çakıl (2008) ve Sakıcı ve ark. (2016) denklemleri ile elde edilen tahminlerin, çalışma alanındaki gözlemlenen biyokütle değerleri ile önemli farklar gösterdiği görülmektedir. Bu sonuçların elde edilmesi, söz konusu çalışmalardan Çakıl (2008)'in Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğünden ve Sakıcı ve ark. (2016)'ın da Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğünden elde edilen verilerle biyokütle denklemlerinin geliştirildiği ve bu bakımdan yöresel farklılıkların biyokütle gelişiminde etkili olması ile açıklanabilir.

Çizelge 3. Eşlendirilmiş t Testi sonuçları

Denklem	Farkların Ortalaması	Farkların Standart Sapması	Farkların Standart hatası	t	p
Gözlem-Çakıl (2008) tek girişli	-44,67	52,45	7,42	-6,02	0,001
Gözlem-Çakıl (2008) çift girişli	32,08	74,67	10,56	3,04	0,004
Gözlem-Sakıcı ve ark. (2016) tek girişli	-21,54	81,04	11,46	-1,88	0,007
Gözlem-Sakıcı ve ark. (2016) çift girişli	-41,85	103,80	14,68	-2,85	0,006



Şekil 9. Bu çalışmada geliştirilen tek girişli toprak üstü toplam biyokütle denklemi ile Çakıl (2008) ve Sakıcı ve ark. (2016) tarafından geliştirilmiş denklemler ile elde edilen tahminlerin grafik olarak karşılaştırılması

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Ankara Orman Bölge Müdürlüğü, Çankırı Orman İşletme Müdürlüğü, Çankırı Orman İşletme Şefliği, Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanı içerisinde bulunan saf Anadolu Karaçam'ı meşcerelerinden Ercanlı ve ark. (2020) tarafından elde edilen 50 adet örnek ağaç verisi ile biyokütle örnekleri kullanılarak tek ve çift girişli gövde, kabuk, ibre, dal ve toplam toprak üstü biyokütle denklemleri geliştirilmiştir.

Geliştirilen bu denklemlerden, tek girişli gövde biyokütlesi denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,911, RMSE; 36,3015 kg, RMSE%: 28,0157, AIC; 181,5930, BIC; 179,5930, THY: -4,7763, OMHY: 16,9823; çift girişli denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,951, RMSE; 27,1718 kg, RMSE%: 20,9698, AIC; 169,1090, BIC; 199,7664, THY: 0,0000, OMHY: 12,2506 olarak elde edilmiştir. Tek girişli kabuk biyokütle denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,885, RMSE; 7,1029 kg, RMSE%: 30,6723, AIC; 100,0253, BIC; 98,0253, THY: -4,2410, OMHY: 20,3853; çift girişli denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,926, RMSE; 5,7739 kg, RMSE%: 24,9331, AIC; 91,6671, BIC; 122,3245, THY: 0,0000, OMHY: 17,6638 olarak elde edilmiştir. Tek girişli İbre biyokütle denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,547, RMSE; 24,8625 kg, RMSE%: 109,0323, AIC; 162,6681, BIC; 160,6681, THY: -31,4892, OMHY: 55,3247; çift girişli denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,637, RMSE; 22,4658 kg, RMSE%: 98,5218, AIC; 159,5998, BIC; 190,2571, THY: 0,0000, OMHY: 57,1074'tür. Tek girişli dal denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,781, RMSE; 13,5126 kg, RMSE%: 52,3108, AIC; 124,3701, BIC; 122,3701, THY: 0,5932, OMHY: 33,5256; çift girişli denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,793, RMSE; 13,3068 kg, RMSE%: 51,5141, AIC; 125,6489, BIC; 154,2268, THY: 6,2919, OMHY: 34,7849 olarak elde edilmiştir. Tek girişli toprak üstü toplam biyokütle denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,913, RMSE; 57,8707 kg,

RMSE%: 29,3725, AIC; 192,7359, BIC; 190,7359, THY: 2,3304, OMHY: 17,5011; çift girişli biyokütle denkleminin belirtme katsayısı (R^2); 0,954, RMSE; 42,4875 kg, RMSE%: 21,5647, AIC; 180,2129, BIC; 208,7908, THY: 7,5169, OMHY: 14,5473'tür. Tüm bu denklemlere ilişkin bütün parametreler, istatistiksel olarak $p < 0,001$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur.

Çalışma kapsamında geliştirilen biyokütle denklemlerinden, tek girişli gövde biyokütlesi denkleminin THY: -4,7763, OMHY: 16,9823; çift girişli denkleminin THY: 0,0000, OMHY: 12,2506; tek girişli kabuk biyokütle denkleminin THY: -4,2410, OMHY: 20,3853; çift girişli denkleminin THY: 0,0000, OMHY: 17,6638; Tek girişli İbre biyokütle denkleminin çift girişli denkleminin THY: 0,0000, OMHY: 57,1074; Tek girişli dal denkleminin THY: 0,5932, OMHY: 33,5256; çift girişli denkleminin THY: 6,2919, OMHY: 34,7849; Tek girişli toprak üstü toplam biyokütle denkleminin çift girişli biyokütle denkleminin THY: 7,5169, OMHY: 14,5473 olarak elde edilmiştir. Tek ve çift girişli biyokütle denklemlerine ilişkin tüm bu başarı ölçütleri değerlendirildiğinde, sadece ağaç çapını içeren tek girişli denklemlere göre çap ile boyu bağımsız değişken olarak daha başarılı çift girişli biyokütle denklemlerinin genel olarak daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu durum, ağaç çapı ile birlikte ağaç boyunun da ölçülmesinin, biyokütle denklemlerinin ağaçların biyokütle değişkenliğini daha iyi düzeyde tahmin etmesi ile açıklanabilir. Bu çalışmada olduğu gibi çift girişli tahminlerin tek girişli tahminlere göre daha başarılı sonuçlar vermesi beklenen bir durumdur. Çünkü göğüs çapları eşit olan ağaçlarda, boy ve gövde şekli farklılıkları biyokütle üzerinde önemli değişimlere neden olmaktadır. Çift girişli biyokütle denklemleri ile tek girişli denklemlere oranla daha başarılı sonuçların elde edilmesi, özellikle ağaçların biyokütle gelişimini açıklamada ve modellemekte ağaçların çapları yanında boylarının önemli derecede etkili olması ile açıklanabilmektedir. Böylece ağaç biyokütle denklemlerinde, ağaçların çapları yanında boylarının da bir bağımsız değişken olarak içermesi; regresyon modellerinin biyokütle tahminlerini açıklamada belirtme katsayısı ile hesaplanan tahmin güçlerinin daha da artmasına neden olmaktadır. Çift girişli ağaç biyokütle denklemleri ile daha başarılı biyokütle tahminleri ise, ortalama mutlak hata yüzdesinin daha düşük elde edilmesini sağlamaktadır. Tek ve çift girişli ağaç biyokütle fonksiyonlarına ilişkin toplam hata yüzdesinin sıfır olması, iki fonksiyonun hatasız olduğu anlamına gelmeyip; bu denklemin çok sayıda ağaca uygulanması durumunda ağaçların hesaplanan ve tahmin edilen biyokütle değerleri arasında bir farklılık bulunmadığı anlamını göstermektedir. Bu biyokütle fonksiyonunun toplam hata bakımından bir farklılık göstermemesi nedeniyle, pek çok ağaca ilişkin toplam biyokütle değerlerinin tahmin edilmesinde, özellikle de ağaç boyu ölçümü uygulamalarının mümkün olmadığı ormancılık uygulamalarında, tek girişli biyokütle fonksiyonlarının daha pratik olmalarıyla çift girişli biyokütle

denklemlerine göre tercih edilebilirler (Yavuz ve Saraçoğlu, 1999).

Tek ağaç biyokütle denklemleri, ağaçların biyokütle değerlerini tahmin etmede de oldukça başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Başta orman amenajman planları olmak üzere birçok ormancılık uygulamasında, ağaçlara ilişkin biyokütle tahminlerinin elde edilmesine imkan sağlayabileceklerdir. Ülkemiz ormancılığında, iklim değişikliğinin ve küresel ısınmanın önem kazanması ile biyokütle tahminlerine olan gereksinim artmakta; bu bakımdan da biyokütle denklemlerinin kullanımı daha da önem kazanmaktadır. Başta asli ağaç türlerimiz olmak üzere faklı ağaç türlerimizin değişik yetiştirme ortamları ve meşcere kuruluşları için biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi büyük bir öncelik arz etmektedir. Bu bakımdan, ülkemiz ormancılarının temel görevlerinde birisi de, bu biyokütle tahmin sistemlerinin geliştirilmesine ilişkin çalışmalar ağırlıklı verilmelidir.

Teşekkür.

Çalışmanın yürütülmesine maddi destek sağlayan Çankırı Karatekin Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (ÇAKÜ, BAP Projeleri, OF200217B30 nolu BAP projesi) birimine ayrıca teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Alemdağ, İ.Ş., 1981. Aboveground-mass equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa, Canadian Forestry Service, Information Report, PI-X-6, p. 9, Canada.
- Atmaca, S., 2008. Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s.
- Aydın, C., 2010. Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Borçka Orman İşletme Müdürlüğü Sarıçam Biyokütle Tabloları, (Yüksek Lisans Tezi), K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çakıl, E. (2008). Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Karaçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Zonguldak.
- Durkaya, B., 1998. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Meşe Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110s, Zonguldak.
- Ercanlı, İ., Şenyurt, M., Günlü, A., Çakır, M. 2020. ÇAKÜ Araştırma Ormanı Karaçam Meşcereleri Tek ve Çift Girişli Toprak Üstü Ağaç Biyokütle Denklemlerinin Geliştirilmesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi OF200217B30 nolu Bilimsel Araştırma Projesi, Yürütülen Kuruluş: Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği, 33 s.
- İkinci, O., 2000. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Kestane Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Zonguldak.
- Karabürk, T., 2011. Bartın İli Gökmar Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 173s, Bartın.
- Mısır, M., Köse, S., Yavuz, H., Mısır, N., Altun, L., Sakıcı, O.E. ve Karahalil, U., 2010. K.T.Ü Orman Fakültesi, Eğitim Araştırma Ormanının Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi ve Orman Amenajman Planına Aktarılması, K.T.Ü Bilimsel Araştırma Projesi, No: 2007.113.001.13 Sonuç Raporu.
- Sağlam, F. 2016. Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold) meşcereleri için topraküstü biyokütle tablolarının düzenlenmesi ve uyumlu biyokütle-hacim denklemlerinin geliştirilmesi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans, 126 s.
- Sakıcı, O. E., Akyıldız, M. H., Sağlam, F., Seki, M., Kırkçesmeli, Ç. 2016. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Saf Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) Meşcereleri İçin Topraküstü Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi, Uyumlu Hacim ve Biyokütle Denklemlerinin Geliştirilmesi ve Hacim Yoğunluk Değeri-Biyokütle İlişkilerinin, Tubitak 214O217 nolu Proje, 180 s.
- Saraçoğlu, N., 1988. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn. ssp. barbata (CA Mey.) Yalt.) Gövde Hacim ve Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 105s, Trabzon.
- Saraçoğlu, N., 1998. Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) Biyokütle Tabloları. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22, 93-100.
- SPSS (2014) Institute Inc. *SPSS Base 20.0 User's Guide*.
- Sönmez, T., Yılmaz, M., Günlü, A., Karahalil, U., Aktürk, G. M., 2010. Aynıyaşlı ve Saf Doğu Ladini Meşcereleri İçin Büyüme Modeli Geliştirilmesi, (TÜBİTAK-TOVAG, proje no: 106O603), Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi, Artvin.
- Sun, O., Uğurlu, S ve Araslı, B., 1976. Stepe Geçiş Yörelerindeki Sarıçam Meşcerelerinde Biyolojik Kütle Miktarlarının Saptanması. OEA Yayınları, Teknik Bülten Serisi, No.80, Ankara, 48s.
- Sun, O., Uğurlu, S., Özer, E., 1980. Kızılağaç Türüne Ait Biyolojik Kütle Miktarlarının Saptanması, OAE Teknik Bülten, No:104, Ankara.
- Ülker, C., 2010. Amasya Orman Bölgemüdürlüğü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi (Kunduz Örneği). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Trabzon.
- Ülküdür, M., 2010. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Sedir Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147s, Bartın.
- Yavuz, H., Saraçoğlu, N. 1999. "Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri", Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, Ek Sayı 5, 1275-1282.
- Yavuz, H., Mısır, N., Mısır, M., Tüfekçioğlu, A., Karahalil, U., Küçük, M., 2010. Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri için Mekanistik Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi. TÜBİTAK TOVAG, Proje No: 106O274.
- Yılmaz, S., 2015. Antalya Yöresi Aynı Yaşlı Saf Kızılağaç Meşcerelerinde Toprak Üstü Biyokütlenin Belirlenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Artvin.