

Dikili ağaçların hacim tahmini için bazı metotların karşılaştırılması

Ramazan Özçelik^{a,*} , Hasan Alkan^a, Onur Alkan^a 

Özet: Hacim tahmini, büyüme ve hasılat modellerinin en önemli parçalarından birisidir. Bu nedenle, ağaç hacimlerinin gereceğe yakın bir şekilde tahmini için güvenilir metotlara ihtiyaç vardır. Ancak halen kullanılmakta olan ağaç hacim tabloları ve gövde çapı modelleri gibi tahmin yöntemlerinin herhangi bir alanda kullanılmadan önce uygunluğunun test edilmesi gerekmektedir. Bu, masraflı ve zaman gerektiren bir işlemdir. Bu çalışmanın amacı; ağaç hacim tablosu ve gövde çapı modeli ile elde edilen hacimleri, daha genel metotlar olan Centroid, Paracone ve Hossfeld yöntemleri ile elde edilen hacimlerle karşılaştırmak ve hangi metodun daha doğru sonuçlar verdiğini ortaya koymaktır. Bu amaçla, 292 adet kızılçam ağacı kesilmiş, bu ağaçlar üzerinde 1 m aralıkla çaplar ölçülmüş ve bu çaplar yardımıyla örnek ağaçların gerçek hacmi olarak kabul edilecek değerler hesaplanmıştır. İkinci aşamada, ağaç hacim tablosu, gövde çapı modeli, Centroid, Paracone ve Hossfeld yöntemleri ile ağaçların hacmi tahmin edilmiş ve gerçek hacim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Paracone, Centroid ve Hossfeld metotlarının yanlı sonuçlar üretmesine karşın, daha düşük tolerans aralığı (TA) ve hata kareler ortalaması (MSE) değerleri ortaya koyması nedeniyle hacim tablosu ve gövde çapı modeline tercih edilebileceği görülmüştür. Ancak, envanterin önemi ve maliyeti gibi kriterler dikkate alındığında, ağaç hacim tahminleri için hangi metodun kullanılacağına karar verecek olan uygulayıcıdır.

Anahtar kelimeler: Hacim tahmini, Centroid, Paracone, Hossfeld, Hacim denklemi

Comparison of some methods for estimating volume of standing trees

Abstract: Volume estimation is one of the most important components of growth and yield models. There is a need to reliable and accurate methods to accurately determine the volume of trees. Current methods include the use of volume tables or taper models which should be tested for applicability before use in a stand. This can be costly and time consuming. The purpose of this paper was to compare the estimates made using accepted volume table and taper model and the more generic methods as Centroid, Paracone, and Hossfeld and determine which gives the best results. For this aim, 292 Brutian pine trees were harvested, diameter measurements were taken every 1 m and then these measurements were used to calculate the observed volumes of each sample tree. In the second step, the tree volume table and taper model for Brutian pine trees, Centroid, Paracone, and Hossfeld methods were used to estimate the tree volumes and these estimates were compared with observed volumes. Overall, the Paracone, Centroid, and Hossfeld methods performed well in comparison with the other techniques but results generally were significantly biased, although these biases were small. Precision was better for the Paracone and Centroid methods than the other methods. In determining the method to apply for estimating the volume of the trees in field, the forester will have to decide which method to use.

Keywords: Volume estimation, Centroid, Paracone, Hossfeld, Volume equation

1. Giriş

Büyüme ve hasılat modellerinin en önemli parçalarından birisi ağaçlara ilişkin hacim tahminleridir. Hacim tahminleri, farklı ticari boylardaki hacmin tahmininde (Dieguez-Aranda vd., 2006; Crecente-Campo vd., 2009), ormanların sürdürülebilir yönetim planlarının yapımı ve uygulanmasında (de-Miguel vd., 2012; Rodríguez vd., 2014), orman ürünleri endüstrisinin geleceğe yönelik planlaması ve projeksiyonlarının belirlenmesinde (Fang vd., 2000; de-Miguel vd., 2012), orman sağlığının, verimliliğinin, biyokütle ve karbon stoklarının tahmininde (Castedo-Dorado vd., 2012; Gomez-Garcia vd., 2015) kullanılan önemli bir araçtır.

Bu nedenle de, odun kaynaklarının etkili yönetimi için doğru ve çok yönlü hacim tahmin tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla da genel olarak her ağaç türü için ayrı ayrı geliştirilen ağaç hacim denklemleri ya da ağaç hacim tabloları kullanılmaktadır. Ancak bu hacim

tablolarının değişen ticari standartları karşılaması mümkün değildir. Diğer yandan ülkemizde, yetişme ortamı şartlarının çok değişken olması ve ağaç türlerinin oldukça geniş bir coğrafik alan üzerinde yayılış göstermeleri yöresel düzeyde ağaç hacim tablolarının ya da denklemlerinin yapılmasını gerekli kılmaktadır. Ancak, asli ağaç türlerimiz başta olmak üzere pek çok ağaç türü için yöresel düzeyde düzenlenmiş ağaç hacim tabloları ya da gövde çapı modelleri mevcut değildir. Ducey ve Williams (2011) ve Wiant vd. (1992a), bir hacim tablosunun ya da hacim denkleminin uygunluğu kontrol edilmeden kullanılması durumunda, ortaya çıkacak hacim tahmin hatasının %30'dan daha fazla olabileceğini ifade etmiştir. Pillsbury vd. (1995) ise; aynı hacim tablosunun farklı yetişme ortamı özelliklerine sahip yörelerde kullanılması ile ortaya çıkacak hacim hatasının %40'a kadar yükselebileceğini belirtmiştir. Bu nedenle; eldeki olanaklar izin verdiği müddetçe yöresel farklılıkları dikkate alan ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Brooks ve Wiant, 2008).

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): ramazanozcelik@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 23.11.2018, **Accepted** (Kabul tarihi): 17.12.2018



Citation (Atf): Özçelik, R., Alkan, H., Alkan, O., 2018. Dikili ağaçların hacim tahmini için bazı metotların karşılaştırılması. Turkish Journal of Forestry, 19(4): 380-385.
DOI: [10.18182/tjf.486980](https://doi.org/10.18182/tjf.486980)

Özellikle ülkemiz gibi topoğrafik şartların ve buna bağlı olarak yetiştirme ortamı şartlarının fazla değişken olduğu, bu nedenle de yöreselliğin mutlaka dikkate alınması gereken ülkelerde; en az sayıda çap ölçümü gerektiren, basit ve kolay uygulanabilen tomruk ve ağaç hacim tahmin metodlarına ihtiyaç vardır.

Centroid method (Wood ve Wiant, 1990) türe özel hacim ve gövde çapı modeli kullanmayı gerektirmeyen ve yöresel hacim tahminleri yapılmasına imkân veren alternatif bir yöntem olarak önerilmiştir. Bu yöntem Gregoire vd., (1986) tarafından geliştirilen önem örneklemesinden (Importance Sampling) ortaya çıkarılmış bir metottur. Bu yöntem ağaç ya da tomruk hacmini tahmin etmek için tomruk ve ağacın boyuna ilaveten sadece bir extra çap ölçümü değeri kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılarak farklı ağaç türleri için oldukça küçük hata miktarı ile oldukça yüksek doğruluk düzeyinde hacim tahminleri yapılabildiğine ilişkin pek çok örnek çalışma mevcuttur (Wood ve Wiant, 1990; Wood vd., 1990, Wood and Wiant, 1992; Wiant vd., 1991, 1992a, 1992b, 1996 ve 2002; Patterson vd., 1993; Yavuz, 1999; Coble ve Lee, 2003; Özçelik vd., 2006, 2008; Özçelik, 2008).

Forslund (1982), "Paracone" isimli bir ağaç gövdesi modeli geliştirmiş ve bu gövde modelini paraboloid ve koni arasındaki bir geometrik şekle benzetmiştir. Model, dallar olmaksızın ağaç gövdesine ilişkin yerçekimi merkezinin ağaç boyunun dipten itibaren ağaç boyunun 3/10'una denk geldiğini ve bu noktadaki çap yardımı ile ağaç hacminin tahmin edilebileceği temeline dayanmaktadır. Bu yöntem yardımı ile de ağaç hacim tahminlerinin oldukça yüksek doğrulukla yapılabildiği çeşitli çalışmalarda ifade edilmiştir (Wiant vd., 1991; Özçelik vd., 2008; Özçelik, 2008).

Diğer yandan Huber, Smalian, Newton-Riecke ve Hossfeld metodları gibi geçmişten beri tomruk ve ağaç hacim tahminleri için kullanılmakta olan bazı temel yöntemler de bulunmaktadır. Bu geleneksel yöntemlerden Hossfeld yöntemi Türkiye'de ormancılık çalışmalarında tomruk ve ağaç hacim tahminleri amacıyla kullanılmamıştır.

Bu çalışmada, kızılçam ağaç türü için ağaç hacim tahminlerinin yüksek doğrulukta ve düşük envanter maliyetleri (az sayıda değişken ölçümü) ile elde edilebilmesi imkanları araştırılmıştır. Bu amaçla Ducey ve Williams (2011)'de verilen cebirsel ve pratik tanımlamalar dikkate alınarak yeniden düzenlenen Centroid, Paracone ve Hossfeld yöntemleriyle elde edilen sonuçlar, gövde çapı modeli (Max ve Burkhart, 1976) ve çift girişli ağaç denklemi (Alemdağ, 1962) ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Örnek ağaç verileri, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Bucak Orman İşletme Müdürlüğü, Uğurlu Orman İşletme Şefliği'ndeki doğal kızılçam meşcerelerinden toplanmıştır. Bu amaçla toplam 292 adet örnek ağaç ölçülmüştür. Örnek ağaçların seçiminde, ağaçların meşcere kuruluşlarını ve dolayısıyla farklı çap ve boy sınıflarını en iyi şekilde temsil etmesini sağlamak amacıyla, tüm çap ve boy sınıflarına olabildiğince eşit dağılımın sağlanmasına dikkat edilmiştir. Örnek ağaçlar hem galip hem de müşterek galip ağaçlar arasından seçilmiştir. Örnek ağaçların seçiminde gövdelerin çatallı ve eğri, tepelerin kırık olmamasına ve yöresel

koşulları en iyi biçimde yansıtmasına özen gösterilmiştir. Örnek ağaçların göğüs çapları (D , cm) ve gövde üzerindeki diğer çaplar (d , cm), ağaçlar kesilmeden önce, elektronik çap ölçer yardımı ile 0.1 cm, boyu (H) ise ağaçlar kesildikten sonra, şerit metre yardımı ile 0.05 m hassasiyetle ölçülmüştür. Bu standart ölçümlere ilaveten Centroid, Paracone ve Hossfeld metodları için aşağıda detayları belirtilen noktalarda ekstra çap ölçümleri de yapılmıştır. Ağaç hacimlerinin belirlenmesi amacıyla Bailey (1995) tarafından önerilen üst üste eklemeli seksiyon metodu (*the overlapping bolt method*) kullanılmıştır.

Örnek ağaçların çap, boy ve hacim değerlerine ilişkin nitelendirici istatistikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

2.2. Yöntem

Önem örnekleme (Importance Sampling) bir Monte Carlo birleştirme tekniğidir ve bu yöntem Gregoire vd. (1986) tarafından bir gövde profili modeli olarak geliştirilmiştir. Önem örnekleme ilk yıllarında toprak üstü ağaç biyo-kütlesinin ve hacminin tahmininde kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise tomruk hacimlerinin (Furnival vd., 1986) ve gövde hacim artımının (Gregoire vd., 1987) tahmininde sıkça kullanılmıştır. Bu uygulamalarda, gövde üzerinde bir nokta tesadüfi yöntemle seçilmekte ve bu noktanın dipten olan yüksekliği ve bu noktadaki göğüs yüzeyi kullanılarak işlemler yapılmaktadır. Tek bir nokta tesadüfi olarak seçilebileceği gibi birden fazla nokta da seçilebilir (Furnival vd., 1986). Wood vd. (1990), önem örneklemesinin değişkenliğinin gövde üzerinde tek bir çap ölçümü yapıldığında tahmin edilen hacmin yarısının bu noktanın altında diğer yarısının ise bu noktanın üzerinde olduğu zaman en az olduğunu ifade etmiştir. Wood vd. (1990b) bu noktayı Centroid (ağırlık merkezi) noktası olarak ifade etmiş ve bu noktadaki çap değerini kullanarak hacmi tahmin etmek amacıyla Centroid Sampling (Ağırlık merkezi örnekleme) tekniğini geliştirmiştir. Yöntemin ağaç ve tomruk hacimlerinin tahmini amacıyla kullanımına ilişkin detaylı bilgiler Wiant vd. (1992a)'de bulunabilir. Bu yöntem ile dikili bir ağacın hacmini tahmin etmek istediğimizde, ağacın en tepe noktadaki çap değerinin sıfır kabul edilerek, denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V = A_c L / \sqrt{2} \approx 0.7 A_c L \quad (1)$$

Burada, V hacim (m^3), L tomruk ya da ağaç boyu (m) ve A_c centroid boyunda ölçülen göğüs yüzeyi (m^2)'dir. Centroid boyu tomruğun ya da ağacın kalın ucundan yaklaşık $(1 - 1/\sqrt{2})L \approx 0.293L$ kadar uzakta yer almaktadır. Forslund (1982) bir ağacın ağırlık merkezi (centroid) yerine yerçekimi merkezindeki (Center of gravity) çap ölçümünü temel alan Paracone Metodu geliştirmiştir. Model aşağıdaki gibi basitleştirilebilmektedir (Wiant vd., 1991).

Çizelge 1. Örnek ağaçlara ilişkin nitelendirici istatistikler

Değişkenler	$n = 292$			
	Ortalama	Min.	Max.	Std. sapma
D (cm)	19.8	6.0	58.0	11.1
H (m)	13.40	4.80	26.50	5.20
V (m^3)	0.3142	0.0083	2.6827	0.4564
CBC (cm)	15.22	5.5	43.0	8.4
HBC (cm)	14.60	5.00	42.00	8.20

D : göğüs çapı; H : Toplam ağaç boyu; V : hacim; CBC : Centroid boydaki çap; HBC : Hossfeld boydaki çap

$$V = 0.693A_{0.3L}L \quad (2)$$

Wiant vd. (1991) çalışmada kullanılan ağaç türü için Paracone metot ile tahmin edilen hacimlerin Centroid metot ile tahmin edilenlerden daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Özçelik (2008) ve Özçelik vd. (2008) tarafından yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar ortaya konmuştur.

Ducey ve Williams (2011) tarafından belirtildiği gibi, Johann Hossfeld 19. yüzyılda yaşamış bir Alman ormancıdır. Dendrometri konularında çalışmalar yapmıştır. Hossfeld tarafından bir tomruğun hacmini tahmin etmek amacıyla geliştirilen metot Graves (1906) tarafından tanıtılmıştır.

Hossfeld metodu aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$V = \frac{3A_{1/3L} + A_L}{4} L \quad (3)$$

Bu formülde yer alan V ve L daha önce tanımlanmıştır. $A_{1/3L}$ ve A_L sırasıyla tomruğun ya da ağacın kalın ucundan $1/3L$ ve L uzaklıkta ölçülen göğüs yüzeyi değerleridir. A_L , tomruğun ince ya da ağacın uç kısmındaki göğüs yüzeyidir. Bu formülde A_L sıfıra eşit olduğunda yukarıdaki Hossfeld formülü aşağıdaki forma dönüştürülebilir (Ducey ve Williams, 2011).

$$V = 0.75A_{1/3L}L \quad (4)$$

Yukarıda verilen Centroid (1), Paracone (2) ve Hossfeld (3) formülleri karşılaştırıldığında formüller arasında çok küçük farklıklar (Katsayılar arasında 0.693-0.750 ve göğüs yüzeyi ölçüm noktaları gibi) görülmektedir.

Diğer yandan ağaç hacim tahminleri için kullanılabilir önemli bir alternatif de Gövde Çapı ve Gövde Hacim modelleridir. 100 yılı aşkın süredir değişik ağaç türleri için farklı formlarda ve çok fazla sayıda gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu modeller içerisinde en başarılı olan gövde çapı model formları; Parçalı (Segmented) gövde çapı ve değişken Şekil (Exponential) gövde çapı modelleridir. Ancak, Parçalı gövde çapı modellerinin integralinin alınması suretiyle kolayca hacim denklemlerine dönüştürülebilir olmaları nedeniyle diğer gövde çapı model formlarına tercih edilmektedir (Fang vd., 2000, Dieguez-Aranda vd., 2006). Bu çalışmada Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli kullanılmıştır. Özçelik vd. (2012) tarafından ilgili yöredeki kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve hacim modeli geliştirilmiştir. Örnek ağaç verilerinin hacim tahminleri için ilgili çalışmadaki katsayılar kullanılmıştır. Max ve Burkhart (1976) parçalı gövde çapı modeli (5) ve uyumlu ağaç hacim denklemi (6) aşağıda verilmiştir.

$$\frac{d^2}{D^2} = b_1(Z-I) + b_2(Z^2-I) + b_3(a_1-Z)^2 I_1 + b_4(a_2-Z)^2 I_2 \quad (5)$$

Max and Burkhart (1976) gövde çapı modelinin herhangi iki boy değeri için integralinin alınması ile elde edilen hacim denklemi ise aşağıdaki gibidir.

$$V = KD^2H \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_2}{3}(Z_u^3 - Z_l^3) + \frac{b_1}{2}(Z_u^2 - Z_l^2) - (b_1 + b_2)(Z_u - Z_l) \\ - \frac{b_3}{3}[(a_1 - Z_u)^3 J_1 - (a_1 - Z_l)^3 K_1] \\ - \frac{b_4}{3}[(a_2 - Z_u)^3 J_2 - (a_2 - Z_l)^3 K_2] \end{array} \right\} \quad (6)$$

Denklem (5) ve (6)'daki tüm değişkenler için Özçelik vd. (2012)'ye bakabilirsiniz.

Çalışmada alternatif bir ağaç hacmi tahmin yöntemi olarak Alemdağ (1962) tarafından doğal kızılçam meşcereleri için geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi de test edilmiştir. Bu denklem, ağacın göğüs çapı ve boyunun bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$V = 0.0428753 * D^{2.054628} * H^{0.843735} \quad (7)$$

Burada, V ağacın hacmini (m^3), D ilgili ağacın göğüs çapını (cm) ve H ilgili ağacın toplam boyunu (m) ifade etmektedir. Alemdağ (1962) tarafından düzenlenen ağaç hacim tablosu için gerekli örnek ağaç verileri, Ege ve Akdeniz Bölgelerinde oldukça geniş bir alan üzerinden toplanmıştır.

Hangi yöntemin daha başarılı olduğunun kararlaştırılmasında, metotların hata ve verimlilikleri (hassaslık (*precision*) ve doğruluk (*accuracy*)) değerlendirilmiştir. Bu yöntemde ölçüt değerleri olarak, Ortalama hata (*bias*: tekrarlanan ölçümlerde elde edilen değerler ile gerçek değerlerin ortalamaları arasındaki fark), hataların standart sapması (*precision*: tekrarlanan ölçümlerdeki varyasyon) ve doğruluk (*accuracy*: gözlemlenen ölçümlerin gerçek değerlere yakınlığı) değerleri kullanılmıştır (van Laar ve Akça, 1997; West, 2004). Hata (*Bias*); gerçek hacmin yüzdesi olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$Bias = 100 \left(\frac{\hat{Y}_i - Y}{Y} \right) \quad (8)$$

Burada \hat{Y}_i tahmin edilen hacim; Y gerçek hacim değerini ifade etmektedir.

Test edilen metotlar yardımıyla tahmin edilen hacim değerleri ile gerçek hacim değerleri arasında önemli fark olup olmadığı, Reynolds (1984) tarafından önerilen, ortalama hata (*bias*) ve doğruluk (*precision*) ölçütlerini temel alan yöntem ve Rauscher (1986) tarafından geliştirilen ATEST programı ile değerlendirilmiştir. Bu program daha sonra Gribko ve Wiant (1992) tarafından modifiye edilerek DOSATEST adını almıştır. Bu test hata düzeyinin önemli olup olmadığına karar vermektedir. Yine ATEST modeller için bir tolerans aralığı (%TA) gösterir. %TA değeri, %95 olasılıkla gelecekteki tahminlerin %95'nin ortalamadan artı ya da eksi yönde ne kadarlık bir aralıkta gerçekleşeceğini göstermektedir. Hata kareler ortalaması (*MSE*) ise, verimliliğin bir ölçüsü olarak yararlıdır. Çünkü küçük varyansa sahip ortalama hatası yüksek (Biased- eğilimli) bir tahmin, daha büyük varyansa sahip ancak ortalama hatası düşük (*Unbiased-eğilimsiz*) bir tahmine tercih edilebilir (Devore, 1982; van Laar ve Akça, 1997; Wiant vd., 1996).

Sonuçların değerlendirilmesinde; ortalama hata (*Bias*), Tolerans Aralığı (%TA) ve Hata Kareler Ortalaması (*MSE*) bakımından eğilimsiz, %TA ve *MSE* değerleri bakımından küçük değere sahip olanlar başarılı olarak kabul edilmiştir.

Herhangi bir yöntem için sadece ortalama hatanın düşük olması (unbiased) kriteri tek başına değerlendirmede etkili olarak alınmamıştır (Wiant vd., 1996). West (2004) ve Avery ve Burkhart (2002) ortalama hatası yüksek, ancak sonuçların birbirine yakın olduğu durumun; ortalama hatası düşük ancak, sonuçların birbirinden ilgisiz olduğu duruma göre daha iyi olduğunu belirtmektedirler. van Laar ve Akça (1997), bir metodun yüksek doğruluk gösterdiğini söyleyebilmek için hem ortalama hatasının sıfırdan farksız ya da yansız (unbiased) bir tahmine ve düşük bir hata varyansına yani yüksek bir hassasiyete (precision) sahip olması gerektiğini ifade etmektedir.

3. Bulgular

Ağaç hacim tahmini için beş farklı metod ile elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Bu tablonun incelenmesinden de görüleceği gibi Özçelik vd. (2012) tarafından Bucak Yöresi kızılçam meşcereleri için Max ve Burkhart (1976) gövde çapı modeli kullanılarak geliştirilen uyumlu hacim denklemi eğilimsiz tahminler üretmiştir. Bu yöntem ile elde edilen ortalama hata değeri sıfırdan farksız ve eğilimsiz sonuçlar ortaya koymuştur. Centroid, Paracone ve Hossfeld yöntemleri negatif yönlü ve eğilimli sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Alemdağ (1962) çift girişli hacim tablosu ise pozitif yönlü ve eğilimli sonuçlar üretmiştir. Centroid, Paracone ve Hossfeld yöntemleri; ağaç hacimlerini gerçek

değerden daha düşük, gövde çapı modeli ve çift girişli hacim tablosu ise daha yüksek tahmin etmiştir. Tolerans aralığı ve MSE değerleri bakımından en küçük değerler sırasıyla Paracone, Centroid ve Hossfeld Metotları ile elde edilmiştir. Bu iki ölçüt değeri bakımından en başarısız sonuç, Alemdağ (1962)’in çift girişli hacim tablosu ile elde edilmiştir.

Şekil 1’de de görüldüğü gibi gövde çapı modeli ve hacim tablosu özellikle orta ve kalın çaplı ağaçlar için ($D \geq 35$ cm) oldukça yüksek hacim hatası ortaya koymaktadır. Bu hatalar her iki yöntemde de pozitif yönlü olup gerçek hacim değerlerine göre daha yüksektir. Bu durum Paracone, Centroid ve Hossfeld yöntemlerinde daha düşüktür.

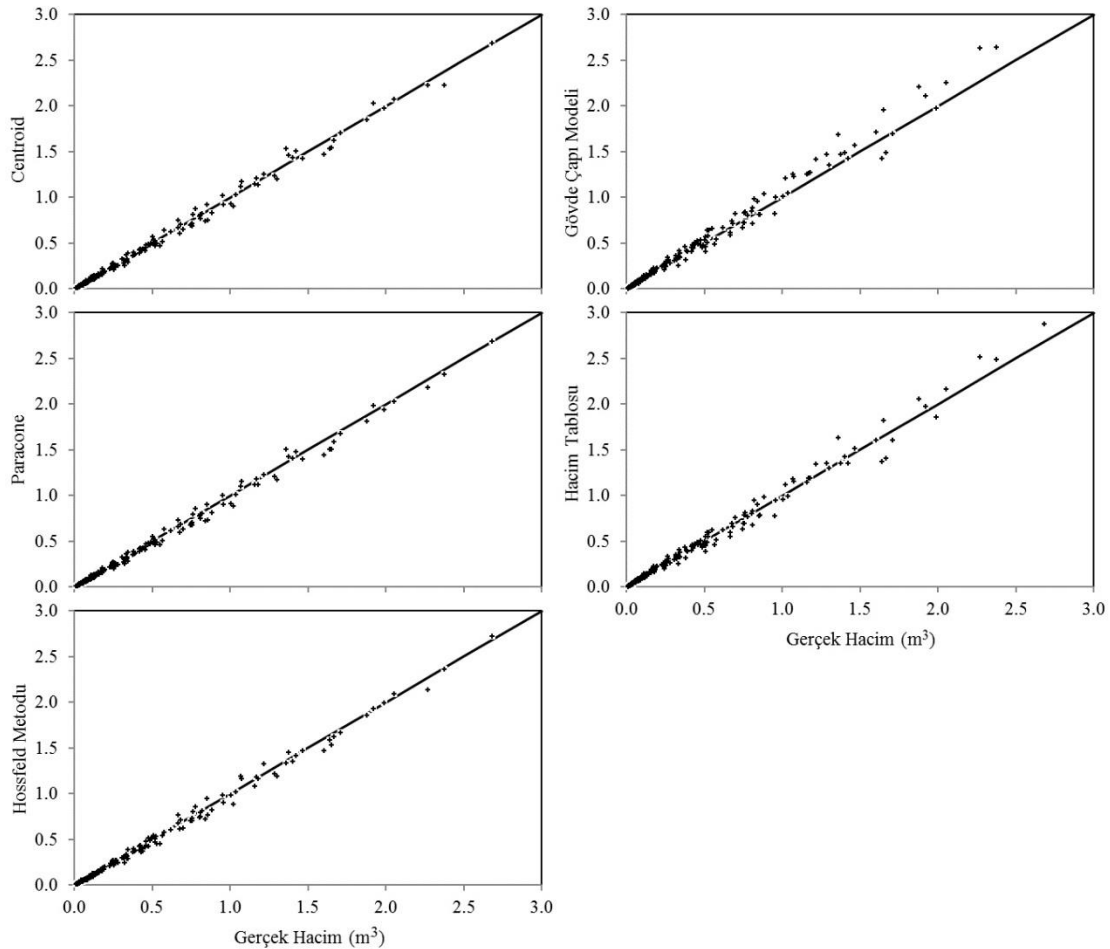
Çizelge 2. Ağaç gövde hacim tahminleri için hata ve tolerans aralıkları^a

Metot	Ortalama hacim (m ³)	Bias (%)	Tolerans aralığı (%)	MSE ^b
Gerçek ^a	0.2930			
Paracone	0.2844	-3.54*	12.03	99.60
Centroid	0.2892	-5.37*	12.18	113.88
Hossfeld	0.2849	-6.28*	12.75	130.90
Gövde çapı modeli	0.3102	0.21	15.06	133.20
Hacim tablosu	0.2963	1.57*	16.64	165.10

^aGerçek hacim değerleri, Bailey (1995) tarafından geliştirilen yöntemle bulunmuştur.

^bMSE= bias²+varyans

*sıfırdan önemli ($P < 0.05$) fark göstermektedir.



Şekil 1. Test edilen modeller ile elde edilen hacim değerlerinin gerçek hacim değerleri ile karşılaştırılması için 1:1 grafiği

Wiant vd. (1996) tarafından da belirtildiği gibi; küçük varyansa sahip ama ortalama hatası nispeten daha yüksek olan bir model, ortalama hatası düşük ama daha yüksek bir hata varyansına sahip modele tercih edilebilmektedir. Benzer bir yaklaşım van Laar ve Akça (1997) tarafından da ifade edilmiştir. Bu nedenle, Centroid, Paracone ve Hossfeld yöntemleri eğilimli sonuçlar üretmiş olsa da daha küçük tolerans aralığı (%TA) ve hata kareler ortalaması (MSE) değerlerine sahip olduğu için gövde çapı modeline tercih edilebilir.

Patterson vd. (1993) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları da bizim çalışmamızın sonuçlarına oldukça benzerdir. İlgili çalışmada ağaç hacim tahminleri için Centroid metot ile seçilen bir gövde çapı modeli karşılaştırılmış ve Centroid metodun daha başarılı olduğu görülmüştür. Yine aynı yazarlar gövde çapı modellerinin geliştirilmesi için yüksek maliyetlere (işgücü, para ve zaman) katlanması gerekirken, Centroid metodun kullanılması ile bunlardan önemli ölçüde tasarruf edilebileceğini de ifade etmişlerdir.

Diğer yandan çalışmada en başarısız sonuçlar, Alemdağ (1962) tarafından geliştirilen ağaç hacim denklemi ile elde edilmiştir. Bu ağaç hacim denkleminin geliştirilmesi için gerekli örnek ağaç verileri çok geniş bir coğrafik alan üzerinden ve yöresel yetişme ortamı şartlarını dikkate almaksızın toplandığı için belirli bir yöreden alınan ve bu çalışmada kullanılan örnek ağaçların genel özelliklerini tam olarak yansıtamamıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, diğer modellere göre daha başarısız olmuştur.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, Wiant vd. (1991), Özçelik vd. (2008), Özçelik (2008) ve Ducey ve Williams (2011)'in çalışmalarının sonuçları ile de uyumludur. Bu çalışmada da diğerlerinde olduğu gibi en başarılı sonuçlar Paracone metot ile elde edilmiş ve bu metodu Centroid metot izlemiştir. Ancak, Ducey ve Williams (2011) tarafından yapılan çalışmada Hossfeld metodu Centroid metoda göre nispeten daha başarılı olarak bulunmuştur.

4. Sonuç ve öneriler

Son yıllarda ormancılık sektöründeki gelişmelere paralel olarak planlama çalışmaları ve ağaç serveti miktarının daha doğru belirlenmesine yönelik çalışmalar da artmıştır. Özellikle çeşitlenen ve artan orman ürünleri endüstrisinin ihtiyaçlarını sürekli karşılayabilmek ve bu kuruluşların geleceğe dönük projeksiyonları için doğru ve güvenilir hacim tahminlerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu amaçla en doğru ağaç hacmi ve tomruk hacmi tahmin yöntemlerinin araştırılması ve ormancılık çalışmalarında bu yöntemlerden yararlanılması ile hem orman teşkilatının hem de bu ürünleri almak isteyen kurum ve kuruluşların maddi kayba uğramaları engellenebilecektir.

Bu çalışma sonucunda ülkemizde uzun yıllardır dikili ağaç hacmi tahmini amacıyla kullanılan Yöresel Hacim Tablolarına yeni ve modern alternatifler ortaya konmuştur. Centroid, Paracone ve Hossfeld yöntemleri gövde çapı modelleri ya da ağaç hacim denklemleri gibi kullanılmadan önce ilgili yöreye uygun olup olmadığının test edilmesine ya da öncelikle model geliştirilmesine ihtiyaç duymamaktadır. Bu yöntemlerin kullanılabilmesi için sadece ağacın Centroid, Paracone ya da Hossfeld boyundaki göğüs yüzeyi değerine ve ağaç boyuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu göğüs yüzeyi değerleri; yukarıda da belirtildiği gibi, ağacın dipten

itibaren ağaç boyunun yaklaşık %30'undaki (0.29-0.33) değere karşılık gelmektedir. Üstelik bu modeller, türe, yöreye ya da yetişme ortamına özel model katsayılarının geliştirilmesine ihtiyaç göstermemektedir. Bu modeller için en önemli kısıtlayıcı faktör olarak Centroid, Paracone ya da Hossfeld boyundaki çap değeri ve buna bağlı olarak göğüs yüzeyinin belirlenmesi gibi gözükmese de günümüzde dikili ağaçlar üzerindeki değişik noktadaki çap değerlerinin ölçümü için geliştirilen dendrometrik laser teknoloji aletler sayesinde bu sorun da ortadan kalkmıştır (Cao ve Wang, 2011; Rodríguez vd., 2014).

Sonuç olarak Paracone ve Centroid yöntemleri başta olmak üzere Hossfeld yöntemi de ülkemiz için dikili ağaç hacim tahminleri amacıyla halen kullanılmakta olan hacim tahmin yöntemlerine önemli bir alternatiftir. Ducey ve Williams (2011) tarafından belirtildiği gibi, bu yöntem de, Paracone ve Centroid yöntemleri gibi arazide uygulaması ve veri toplanması oldukça kolay yöntemlerdir. Bu yöntemlerle, daha güvenilir ve doğru hacim tahminleri yapılabilir ve yöresel hacim tablolarının farklı alanlarda kullanılması ile ortaya çıkan hataların önlenmesi mümkün olabilir.

Kaynaklar

- Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye'deki Kızılcım Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No:11, Ankara.
- Avery, T.E., Burkhart, H.E., 2002. Forest Measurements. 5th Ed. McGraw-Hill, New York.
- Bailey, R.L., 1995. Upper stem volumes from stem analysis data: An overlapping bolts method. Canadian Journal of Forest Research, 25:170-173.
- Brooks, J.R., Wiant, H.V., 2008. Ecoregion based local volume equations for appalachian hardwoods. Northern Journal of Applied Forestry, 25(2): 87-92.
- Castedo-Dorado, F., Gomez-Garcia, E., Dieguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., 2012. Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in northwest Spain. Annals of Forest Science, 69:735-746.
- Cao, Q.V., Wang, J., 2011. Calibrating fixed-and mixed-effects taper equations. Forest Ecology and Management, 262:671-673.
- Coble, D.W., Lee, Y.J., 2003. Use of the centroid method to estimate volumes of Japanese red cedar trees in Southern Korea. The Korean Journal of Ecology, 26:123-127.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A.R., Diéguez-Aranda, U., 2009. A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. Annals of Forest Science, 66:1-12.
- Devore, J.L., 1982. Probability and Statistics for Engineering and the Sciences. Brooks/Cole Pub., Monterey, CA.
- de-Miguel, S., Mehtatalo, L., Shater, Z., Kraid, B., Pukkala, T., 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. Canadian Journal of Forest Research, 42:1383-1394.

- Dieguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Alvarez-Gonzalez, J.G., Rojo, A., 2006. Compatible taper function for scots pine plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest*, 36(5):1190-1205.
- Ducey, M.J., Williams, M.S., 2011. Comparison of Hossfeld's method and two modern methods for volume estimation of standing trees. *Western Journal of Applied Forestry*, 26:19-23.
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L., 2000. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46:1-12.
- Forslund, R.R., 1982. A geometrical tree volume model based on the location of the centre of gravity of the bole. *Canadian Journal of Forest Research*, 12:215-221.
- Furnival, G.M., Valentine, H.T., Gregoire, T.G., 1986. Estimation of log volume by importance sampling. *Forest Science*, 32:1073-1078.
- Gomez-Garcia, E., Crecente-Campo, F., Barrio-Anta, M., Dieguez-Aranda, U., 2015. A disaggregated dynamic model for predicting volume, biomass and carbon stocks in even-aged pedunculate oak stands in Galicia (North-West Spain). *European Journal of Forest Research*, 134:569-583.
- Graves, H.S., 1906. *Forest Mensuration*. John Wiley and Sons.
- Gregoire, T.G., Valentine, H.T., Furnival, G.M., 1986. Estimation of bole volume by importance sampling. *Canadian Journal of Forest Research*, 16:554-557.
- Gregoire, T.G., Valentine, H.T., Furnival, G.M., 1987. Sampling methods for estimating stem volume and volume increment. *Forest Ecology and Management*, 21:311-323.
- Gribko, L.S., Wiant, Jr., H.V., 1992. A SAS template program for the accuracy test. *The Compiler*, 10:48-51.
- Max, T.A., Burkhart, H.E., 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, 22:283-289.
- Özçelik, R., Wiant, H.V., Jr., Brooks, J.R., 2006. Estimating log volumes of three species in Turkey by six formulae. *Forest Products Journal*, 56:84-86.
- Özçelik, R., 2008. Comparison of formulae for estimating tree bole volumes of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23:412-418.
- Özçelik, R., Wiant, H.V., Jr., Brooks, J.R., 2008. Accuracy using xylometry of log volume estimates for two tree species in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23:272-277.
- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Kırış, R., 2012. Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 13:85-91.
- Patterson, D.W., Wiant, H.V. Jr, Wood, G.B., 1993. Comparison of the centroid method and taper systems for estimating tree volumes. *Northern Journal of Applied Forestry*, 10(1):8-9.
- Pillsbury, N.H., McDonald, P.M., Simon, V., 1995. Reliability of Tanoak volume equations when applied to different areas. *Western Journal of Applied Forestry*, 10(2):72-78.
- Rauscher, H.M., 1986. Testing prediction accuracy. *USDA Forest Service General Technical Report*, NC-107.
- Reynolds, M.R., 1984. Estimating the error in model prediction. *Forest Science*, 30:454-469.
- Rodríguez, F., Lizarralde, I., Fernandez-Landa, A., Condes, S., 2014. Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian Range. *European Journal of Forest Research*, 133:213-223.
- Van Laar, A., Akça, A., 1997. *Forest Mensuration*. Cuvilier Verlag, Göttingen.
- West, P.W., 2004. *Tree and Forest Measurement*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. ISBN:3-540-40390-6.
- Wiant, H.V. Jr., Wood, G.B., Forslund, R.R., 1991. Comparison of centroid and paracone estimates of tree volume. *Canadian Journal of Forest Research*, 21:714-717.
- Wiant, H.V. Jr., Wood, G.B., Gregoire, T.G., 1992a. Practical guide for estimating the volume of a standing sample tree using either importance or centroid sampling. *Forest Ecology and Management*, 49:333-339.
- Wiant, H.V. Jr., Wood, G.B., Furnival, G.M., 1992b. Estimating log volume using the centroid position. *Forest Science*, 38(1):187-191.
- Wiant, H.V. Jr., Wood, G.B., Williams, M., 1996. Comparison of three modern methods for estimating volume of sample trees using one or two diameter measurements. *Forest Ecology and Management*, 83:13-16.
- Wiant, H.V. Jr., Spangler, M.L., Baumgras, J.E., 2002. Comparison of estimates of hardwood bole volume using importance sampling, the centroid method, and some taper equations. *Northern Journal of Applied Forestry*, 19(3):141-142.
- Wood, G.B., Wiant Jr., H.V., 1990. Estimating the volume of Australian hardwoods using centroid sampling. *Australian Journal of Forestry*, 53:271-274.
- Wood, G.B., Wiant Jr., H.V., Roy, R.J., Miles, J.A., 1990. Centroid sampling: A variant of importance sampling for estimating the volume of sample trees of Radiata pine. *Forest Ecology and Management*, 36:233-243.
- Wood, G.B., Wiant, H.V. Jr., 1992. Test of application of centroid and importance sampling in a point -3P forest inventory. *Forest Ecology and Management*, 53:107-115.
- Yavuz, H., 1999. Comparison of the centroid method and four standard formulas for estimating log volumes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23:597-602.