

Kastamonu yöresi karaçam meşcerelerinde şekil katsayılarının çeşitli tek ağaç ve meşcere özelliklerine göre değişimi

Elif Şeyda Kesik^a, Oytun Emre Sakıcı^{a,*}

Özet: Bu çalışmada, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki eşit yaşlı, saf ve doğal karaçam meşcerelerindeki (*Pinus nigra* J.F.Arnold) ağaçlara ilişkin şekil katsayılarının incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma materyali olarak farklı bonitet sınıfı, kapalılık, gelişim çağı, ekorejyon, sıklık ve yaştaki meşcerelerden alınan 120 örnek alandan ve her bir örnek alanda meşcere orta çapına yakın çapa sahip en az 1 örnek ağaç olmak üzere toplam 145 örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılmıştır. Örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümlerden yararlanılarak göğüs boyu şekil katsayısı ($f_{1.3}$), mutlak şekil katsayısı (f_0), doğal şekil katsayısı ($f_{0.1}$) ve yapay şekil katsayısı ($f_{0.5}$) hesaplanmış ve bunlara ilişkin ortalama değerler sırasıyla 0,489, 0,317, 0,504 ve 0,481 olarak belirlenmiştir. Şekil katsayılarının çeşitli tek ağaç, meşcere ve yetişme ortamı özellikleri ile olan ilişkileri istatistiksel analizlerle irdelenmiştir. Sonuçlar, Kastamonu yöresinde yetişen karaçamlara ilişkin şekil katsayılarının gerek tek ağaç özelliklerine ve gerekse meşcere ve yetişme ortamı özelliklerine göre değişim gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlara göre; göğüs boyu şekil katsayısının tüm tek ağaç özellikleri ve meşcere sıklığı dışındaki meşcere özellikleri ile korelasyon gösterdiği ve bonitet sınıfları ile gelişim çağları bakımından farklara sahip olduğu, mutlak şekil katsayısının tepe uzunluğu ve ağaç yaşı ile korelasyon gösterdiği ve bonitet sınıfları ile ekorejyonlar bakımından farklara sahip olduğu, doğal şekil katsayısının tepe uzunluğu dışındaki tüm tek ağaç özellikleri ve tüm meşcere özellikleri ile korelasyon gösterdiği ve gelişim çağları bakımından farklara sahip olduğu ve yapay şekil katsayısının da yalnızca meşcere yaşı ile korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, şekil katsayılarının hacim hesaplamalarındaki başarıları da değerlendirilmeye çalışılmış ve en başarılı tahminlerin mutlak şekil katsayısıyla yapılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Gövde formu, Şekil katsayısı, Ağaç hacmi, *Pinus nigra*

Variation of form factors in black pine stands of Kastamonu region according to various single tree and stand characteristics

Abstract: The aim of this study was to examine the form factors of black pine (*Pinus nigra* J.F.Arnold) trees in even-aged, pure and natural stands of Kastamonu region. Data obtained from 120 sample plots taken from different site classes, canopy, development stage, ecoregion, density and age, and a total of 145 sample trees, including at least 1 sample tree with the diameter closest to the mean diameter in each sample plot, were used, and the breast height form factor ($f_{1.3}$), absolute form factor (f_0), natural form factor ($f_{0.1}$) and artificial form factor ($f_{0.5}$) were calculated with averages of 0.489, 0.317, 0.504 and 0.481, respectively. The relationships of form factors with various tree and stand characteristics were determined by statistical analysis. The results revealed that the form factors vary according to both tree and stand characteristics. The breast height form factor is correlated with all tree and stand characteristics except stand density and has differences in terms of site classes and development stages. The absolute form factor correlates with crown length and tree age and has differences in terms of site classes and ecoregions. The natural form factor correlates with all tree and stand characteristics except crown length and has differences in terms of development stages. The artificial form factor is only correlated with stand age. The success of form factors in volume calculations was also evaluated, and it has been determined that the most successful volume estimations can be achieved with the absolute form factor.

Keywords: Stem form, Form factor, Tree volume, *Pinus nigra*

1. Giriş

Bir ağacın hacmi (v) teorik olarak o ağacın çapının, boyunun ve gövde şeklinin bir fonksiyonudur ve çap değerinden elde edilen göğüs yüzeyinin (g), ağaç boyunun (h) ve şekil katsayısının (f) birbirleri ile çarpılmasıyla elde edilen $v=g.h.f$ denklemi yardımıyla hesaplanabilir (Kalıpsız, 1984; Eler, 2003; Carus ve Çatal, 2012; Baytaş ve Seki, 2023). Bu denklemde anlaşılacağı üzere çap ve boyları eşit olmasına karşın gövde şekilleri farklı olan ağaçların hacimleri de birbirinden farklı olacaktır. Bu nedenle, dikili halde bulunan ağaçların hacimlerinin güvenilir şekilde tahmin

edilebilmesinde gövde şekli büyük öneme sahiptir (Da Silva vd., 1994; Van Laar ve Akça, 2007; West, 2009). Ağaç çaplarının (d) kolay ölçülebilir olması nedeniyle denklemde yer alan göğüs yüzeyini ($g=(\pi/4)d^2$) elde etmek de oldukça kolaydır. Denklemde bir diğer bileşeni olan ağaç boyu da boyölçerler yardımıyla doğru şekilde ölçülebilmektedir. Ancak, şekil katsayısının canlı (dikili) bir ağaç üzerinde doğrudan ölçülmesi oldukça zordur.

Bir ağacın gövde şekli o ağacın türü, yaşı, boyu, gövde profili ve tepe boyutları gibi özelliklerinin yanında, içinde bulunduğu meşcerenin sıklık, bonitet ve silvikültürel müdahale durumu gibi özellikleri ve yetişme ortamının

✉ ^a Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Kastamonu

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): oesakici@kastamonu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 13.02.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 23.02.2024



Citation (Atıf): Kesik, E.Ş., Sakıcı, O.E., 2024. Kastamonu yöresi karaçam meşcerelerinde şekil katsayılarının çeşitli tek ağaç ve meşcere özelliklerine göre değişimi. Turkish Journal of Forestry, 25(1): 21-31.
DOI: [10.18182/tjf.1436354](https://doi.org/10.18182/tjf.1436354)

klimatik, edafik ve fizyografik özelliklerin de etkisi altında olduğundan şekil katsayısı da bu özelliklere bağlı olarak değişim göstermektedir (Larson, 1963; Kalıpsız, 1984; Muhairwe, 1994). Bu nedenlere bağlı olarak meşceredeki ağaçların her birinin gövde formu birbirinden farklı olabileceğinden, bir ağaca ilişkin gerçek şekil katsayısının belirlenebilmesi için o ağacın öncelikle kesilmesi ve ardından hacminin belirlenmesi gerekmektedir (Kalıpsız, 1984; Carus ve Çatal, 2012). Şekil katsayısı belirlenmek istenen her ağacın kesilerek hacimlendirilmesi ise pratik açıdan zor olduğu gibi ağaç hayatiyetini kaybedeceğinden envanter amaçları ile de örtüşmemektedir. Dolayısıyla, yukarıda açıklanan teorik hacim denkleminin meşcereyi oluşturan ağaçların her birinin kendine özgü şekil katsayıları kullanılarak uygulanması mümkün değildir. Bunun yerine, varsa ilgili ağaç türü için geçerli ortalama şekil katsayısından yararlanılması yoluna gidilmekte, ancak bu durumda da meşceredeki tüm ağaçların gövde formlarının benzer olduğu varsayıldığından hacim hesaplamalarında bazen önemli hatalara neden olunabilmektedir (Kalıpsız, 1984).

Şekil katsayısının ağaç hacminin silindirik hacmine oranlanması ile hesaplandığı düşünülürse, sözü edilen silindirik hacmindeki çap ve boy değerlerinin neler olacağı sorusu ile karşı karşıya kalınmaktadır. Silindirin boyunun ağaç boyu ile aynı olacağı açıktır. Ancak, silindirik hacminin hesaplanmasında farklı çap değerleri dikkate alınabilmekte ve şekil katsayıları da kullanılan çap değerine bağlı olarak farklı isimler almaktadır. Örneğin; mutlak şekil katsayısının (f_0) hesaplanmasında silindirik çapı ağacın taban çapına (d_0) eşit alınırken, göğüs boyu şekil katsayısında ($f_{1.3}$) göğüs yüksekliği çapı ($d_{1.3}$) ve doğal şekil katsayısında ($f_{0.1}$) ağaç boyunun %10'u kadar yükseklikteki gövde çapı ($d_{0.1}$) değerleri dikkate alınmaktadır. Literatürde, söz konusu şekil katsayılarından hangisinin gerçek şekil katsayısı olarak kabul edilebileceği ile ilgili net bir kabul bulunmamakla birlikte genellikle göğüs boyu şekil katsayısı gerçek şekil katsayısı olarak dikkate alınmaktadır (Ahmadi vd., 2008; Fadaei vd., 2008; Gürocak, 2011; Carus ve Çatal, 2012; Sarıkaya, 2012; Adekunle vd., 2013; Petrin ve Bogdanov, 2017; Subedi vd., 2021). Göğüs boyu şekil katsayısını gerçek şekil katsayısı olarak kabul eden bu araştırmaların aksine, gövdenin farklı yüksekliklerine ilişkin çap değerleri kullanılarak elde edilen silindirik hacimlerine göre hesaplanan şekil katsayılarının gerçek şekil katsayısı olarak kabul edildiği çalışmalar da mevcuttur (Socha ve Kulej, 2005; Socha ve Kulej, 2007; Inoue vd., 2011; Suga vd., 2011; Inoue vd., 2012). Son yıllarda da gövde yüzey alanına ve gövde profiline dayalı şekil katsayıları gibi yeni katsayıların geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Inoue, 2006; Inoue, 2012; Inoue vd., 2021).

Ülkemizde şekil katsayıları konusunda yapılan güncel çalışmalar Doğu kayını (Gürocak, 2011; Carus ve Çatal, 2012) ve kızılçam meşcereleri (Sarıkaya, 2012) ile sınırlıdır ve bu çalışmalar arasında karaçamaya yönelik bir araştırmanın bulunmadığı söylenebilir. Karaçam, 2,8 milyon ha normal kapalı ve 1,3 milyon ha boşluklu kapalı olmak üzere toplam 4,1 milyon ha'lık yayılış alanı ile ülkemizin en geniş yayılış alanına sahip ağaç türlerinden biri olup, ülkemiz toplam orman varlığının (23,2 milyon ha) yaklaşık %18'ini oluşturmaktadır ve iğne yapraklı türler arasında da orman varlığı bakımından kızılçamın ardından ikinci sırada yer almaktadır (OGM, 2023). Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'nün toplam orman alanı yaklaşık 876 bin ha olup, %79'u (695 bin ha) normal kapalı ve %21'i (180 bin ha) boşluklu kapalı ormanlardan oluşmaktadır (OGM, 2023).

Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki orman işletme şefliklerinin amenajman planlarından elde edilen verilere göre de normal kapalı ormanların yaklaşık %28'i (197 bin ha) saf karaçam meşcerelerinden oluşmakta ve bu yayılış alanı ile karaçam Kastamonu Bölge Müdürlüğü'nün en geniş yayılış alanına sahip ağaç türü olmaktadır. Karaçamın gerek ülke genelinde gerekse Kastamonu yöresindeki geniş yayılış dikkate alındığında, bu türe özgü şekil katsayılarının araştırılmasına yönelik çalışmaların gerekliliği anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, karaçam türünün Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren eşit yaşlı, saf ve doğal meşcerelerine ilişkin şekil katsayıları ortaya konulmaya ve değerlendirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, çalışma alanında alınan örnek ağaçlara ilişkin gerçek hacim değerlerinden yararlanılarak mutlak, göğüs boyu, doğal ve yapay şekil katsayıları belirlenmiş ve söz konusu şekil katsayılarının ağaçların çap, boy, yaş, tepe başlangıç yüksekliği ve tepe uzunluğu gibi özellikleri ile olan ilişkileri incelenmiştir. Ayrıca, örnek ağaçları içerecek şekilde alınan örnek alanlarda yapılan ölçüm ve değerlendirmeler sonucu elde edilen bonitet sınıfı, kapalılık sınıfı, gelişim çağı, ekorejyon, meşcere yaşı, meşcere orta çapı, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere hacmi ve meşcere sıklığı ile şekil katsayıları arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Bunlara ek olarak, çalışma sonucunda elde edilen şekil katsayılarının hacim tahminlerindeki başarı düzeyleri de incelenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yaklaşık 197 500 ha saf karaçam meşceresi bulunmakta olup, karaçam Kastamonu Bölge Müdürlüğü'nün en geniş yayılış alanına sahip ağaç türüdür. Çalışma, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren eşit yaşlı, saf ve doğal karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold) meşcerelerinden alınan örnek alan ve örnek ağaçlardan elde edilen verilerle yürütülmüştür. Bu amaçla; farklı meşcere ve yetişme ortamı özelliklerini yansıtacak şekilde 120 adet örnek alan alınmış ve her bir örnek alanda da meşcere orta çapına en yakın çapa sahip en az 1 örnek ağaç seçilerek toplam 145 örnek ağaç kesilmiştir. Örnek ağaçların kesimi sırasında örnek alanların yer aldığı Orman İşletme Şeflikleri ile iletişime geçilip üretim ve silvikültür programları öğrenilerek arazi çalışmaları bu programlara göre düzenlenmeye çalışılmış ve böylelikle kesilen örnek ağaçların halihazırda işletmenin keseceği ağaçlar arasından seçilmesine özen gösterilmiştir.

Örnek alanlar daire şeklinde tesis edilmiş ve örnek alan büyüklükleri de meşcere kapalılığı dikkate alınarak kapalılığı %11-40 arası olan meşcerelerde 800 m², %41-70 arası olan meşcerelerde 600 m² ve %70'ten yüksek olan meşcerelerde de 400 m² olacak şekilde uygulanmıştır. Örnek alanlarda aşağıda açıklanan ölçüm ve hesaplamalar yapılmıştır:

- Örnek alanların konumsal koordinatları GPS yardımıyla belirlenmiştir.
- Örnek alan içerisinde kalan ve göğüs çapı 8 cm veya daha fazla ($d_{1.30} \geq 8$ cm) olan tüm ağaçların göğüs çapları ($d_{1.30}$, cm) çapölçer yardımıyla 0,1 cm hassasiyetinde ölçülmüştür.

- Meşcere orta çapı, göğüs yüzeyi orta ağacının çapı (d_g , cm) olarak belirlenmiştir. Örnek alanın bulunduğu meşcerenin gelişim çağı da orta çapa göre kararlaştırılmıştır.
- Örnek alan içerisindeki ağaçların göğüs yüzeyleri (g , m²) toplanıp hektara çevrilerek meşcere göğüs yüzeyi (G , m²/ha) belirlenmiştir.
- Örnek alan içerisindeki ağaçların ölçülen ağaçlara ilişkin boy (h , m) değerleri Seki ve Sakıcı (2022a) tarafından Kastamonu yöresi karaçam meşcereleri için geliştirilmiş olan çap-boy denklemleri yardımıyla belirlenmiştir.
- Örnek alanlardaki ağaçların hacimleri (v , m³), Sakıcı vd. (2018) tarafından Kastamonu yöresi karaçam meşcereleri için geliştirilmiş olan çift girişli ağaç hacim denklemi ($v=0,000037d_{1,30}^2h$) yardımıyla tahmin edilmiş ve elde edilen hacim değerleri toplanıp hektara çevrilerek meşcere hacmi (V , m³/ha) hesaplanmıştır.
- Örnek alanlara ilişkin bonitet endekslerinin belirlenebilmesi amacıyla hektarda 100 ağaç hesabına göre örnek alana düşen sayıda (örneğin, 600 m² büyüklüğündeki örnek alanda 6 adet) en uzun boylu ağaçların boyları ölçülmüş ve bu boyların ortalaması alınarak meşcere üstboyu (h_{100}) hesaplanmıştır. Örnek alanların bulunduğu meşcerelerin bonitet sınıflarının belirlenmesinde Kalıpsız (1963) tarafından geliştirilen karaçam bonitet endeks tablosundan yararlanılmış ve örnek alanlar için hesaplanan bonitet endeksi (BE) değerleri yardımıyla bonitet sınıfları belirlenmiştir.
- Örnek alan içerisinde meşcere yaşını belirlemek amacıyla meşcereyi temsil eden 5-6 ağacın yaşı (t) ölçülmüştür. Yaşlar, artım burgusu yardımıyla ağaçların göğüs yüksekliğinden (1,30 m) ve kabuk ile öz arasındaki tüm yıllık halkaları içerecek şekilde alınan artım kalemleri üzerinde ölçülen yıllık halka sayısına ağacın göğüs yüksekliğine ulaşma yaşı eklenerek hesaplanmıştır. Göğüs yüksekliğine ulaşma yaşı ise örnek alan içerisinde veya yakın çevresinde bulunan 1,30 m boyundaki 4-5 fidanın yaşlarının ortalamasının alınması suretiyle elde edilmiştir. Her bir örnek alanda yaş tayini yapılan ağaçların yaş ortalamaları alınarak meşcere yaşı (T) hesaplanmıştır.
- Örnek alanların bulunduğu meşcerelerin kapallıkları amenajman planlarından alınmış ve meşcerelerin aktüel durumlarına uygunlukları arazi çalışmaları sırasında kontrol edilmiştir. Örnek alanlar için uygun bulunmayan kapallık sınıfları uygun değerlerle revize edilmiştir.
- Sıklık ölçütü olarak Curtis vd. (1982) tarafından geliştirilen rölafit sıklık (RD) eşitliğinden ($RD=G/d_g^{0,5}$) yararlanılmış ve her bir örnek alanın sıklık değeri hesaplanmıştır.
- Örnek alanların konumsal koordinatları dikkate alınarak Atalay (2014)'a ait ekolojik bölge sınıflandırmasına göre her bir örnek alanın dahil olduğu ekorejyon belirlenmiştir. Her bir örnek alanda orta çapa en yakın 1 ya da 2 örnek ağaç dip kütük yüksekliğinden (0,30 m) kesilerek örnek ağaçlar üzerinde aşağıda açıklanan ölçüm ve hesaplamalar yapılmıştır:
 - Örnek ağaçların boyları (h , m) şerit metre yardımıyla 0,01 m hassasiyetinde ölçülmüştür.
 - Tepe boyutlarını belirlemek amacıyla canlı dalların başladığı gövde yüksekliği ölçülerek tepe başlangıç yüksekliği (Ch , m) belirlenmiş ve toplam ağaç boyundan tepe başlangıç yüksekliğinin çıkarılmasıyla da tepe uzunluğu (Cl , m) hesaplanmıştır.
 - Örnek ağaçların göğüs çapları ($d_{1,30}$, cm), dip kütük çapları ($d_{0,30}$, cm), taban çapları (d_0 , cm), ağaç boyu 10 eşit parçaya bölünerek ilgili yüksekliklerdeki gövde çapları ($d_{0,1}$, $d_{0,2}$,

..., $d_{0,9}$, cm) ve ayrıca hacim hesaplamalarında kullanılmak üzere 1,30 m yükseklikten başlamak üzere ağacın tepe ucuna kadar 1 m aralıklarla gövde çapları ($d_{2,30}$, $d_{3,30}$, ..., d_i , cm) çapölçer yardımıyla 0,1 cm hassasiyetinde ölçülmüştür.

- Örnek ağaçların hacimleri bölümlenme yöntemine göre hesaplanmıştır. Bu yöntemde göre ağaçlar dip kütük, seksiyonlar ve uç parça olmak üzere üç bölüme ayrılarak hacimlendirilmiş ve bu bölümlere ilişkin hacimlerin toplanması ile de toplam gövde hacmi (v , m³) elde edilmiştir. Hacim hesaplarında seksiyonların hacimleri ise Smalian hacim denkleminde göre belirlenmiş, dip kütüğün silindir ve uç parçanın ise koni biçiminde olduğu varsayılmıştır.
- Örnek ağaçların yaşı (t) ölçülmüştür. Yaş, ağacın dip kütük yüksekliğinden (0,30 m) kesilmesi sonucu görünür hale gelen yıllık halkaların sayılması ile belirlenen dip kütük yaşına ağacın dip kütük yüksekliğine ulaşma yaşı eklenerek hesaplanmıştır. Dip kütük yüksekliğine ulaşma yaşı ise yakın çevrede bulunan 0,30 m boyundaki 4-5 fidanın yaşlarının ortalamasının alınması suretiyle elde edilmiştir.

2.2. Yöntem

Örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümlerden yararlanılarak her bir örnek ağaç için aşağıdaki eşitlikler (1-4) yardımıyla 4 farklı şekil katsayısı (göğüs boyu şekil katsayısı ($f_{1,3}$), mutlak şekil katsayısı (f_0), doğal şekil katsayısı ($f_{0,1}$) ve yapay şekil katsayısı ($f_{0,5}$)) hesaplanmış ve aralarındaki benzerlikler Eşleştirilmiş t Testi yardımıyla incelenmiştir.

Göğüs Boyu Şekil Katsayısı ($f_{1,3}$):

$$f_{1,3} = \frac{v}{v_s} = \frac{v}{\frac{\pi}{4}d_{1,30}^2h} \quad (1)$$

Mutlak Şekil Katsayısı (f_0):

$$f_0 = \frac{v}{v_s} = \frac{v}{\frac{\pi}{4}d_0^2h} \quad (2)$$

Doğal Şekil Katsayısı ($f_{0,1}$):

$$f_{0,1} = \frac{v}{v_s} = \frac{v}{\frac{\pi}{4}d_{0,1}^2h} \quad (3)$$

Yapay Şekil Katsayısı ($f_{0,5}$):

$$f_{0,5} = \frac{d_{0,5}^2}{d_{1,30}^2} \quad (4)$$

Bu eşitliklerde; v : örnek ağaçların gerçek hacmini, v_s : silindir hacmini, $d_{1,30}$: göğüs yüksekliği çapını, d_0 : toprak seviyesindeki çapı, $d_{0,1}$: ağaç boyunun %10'u yüksekliğindeki çapı, $d_{0,5}$: ağaç boyunun yarısındaki çapı, h : ağaç boyunu ifade etmektedir.

Örnek ağaçlar için hesaplanan şekil katsayılarının bu ağaçlara ilişkin çeşitli özellikler (çap, boy, yaş, tepe başlangıç yüksekliği ve tepe uzunluğu) ile olan ilişkileri Korelasyon Analizi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, öncelikle şekil katsayılarının ve tek ağaç özelliklerinin normal dağılım gösterip göstermedikleri Kolmogorov-Smirnov Testi ile ortaya konulmuş ve sonrasında normal dağılım gösteren şekil katsayıları ve tek ağaç özellikleri arasındaki ilişkiler Pearson Korelasyon Analizi ile, normal dağılım göstermeyen şekil katsayıları ve tek ağaç özellikleri arasındaki ilişkiler de Spearman Korelasyon Analizi ile belirlenmiştir.

Şekil katsayılarının bonitet sınıfı, kapalılık sınıfı, gelişim çağı ve ekorejyonlar bakımından farklılıklarının ortaya konulması amacıyla normal dağılım gösteren şekil katsayıları için Basit Varyans Analizi ve normal dağılım göstermeyen şekil katsayıları için ise Kruskal-Wallis Testi'nden yararlanılmıştır. Gruplar arası farklılıkların belirlenmesinde ise Basit Varyans Analizi uygulanan karşılaştırmalar için Duncan Testi ve Kruskal-Wallis Testi uygulanan karşılaştırmalar için de Mann-Whitney U Testi kullanılmıştır. Şekil katsayılarının meşcere yaşı, meşcere orta çapı, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere hacmi ve meşcere sıklığı ile ilişkileri ise Korelasyon Analizi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Normal dağılım gösteren şekil katsayıları ve meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler için Pearson Korelasyon Analizi ve normal dağılım göstermeyen şekil katsayıları ve meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler için Spearman Korelasyon Analizi uygulanmıştır.

Şekil katsayılarının hacim hesaplamalarındaki başarı düzeyleri de çalışma kapsamında ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, şekil katsayıları teorik hacim denkleminde ($v=g.h.f$) yerine konularak örnek ağaçların hacimleri tahmin edilmiştir. Söz konusu hesaplamalarda şekil katsayıları olarak her bir şekil katsayısına ilişkin olarak bu çalışma kapsamında elde edilen ortalama değerler ve yüzey alanı (g) için de ilgili şekil katsayısına ilişkin gövde çapları ($f_{1.30}$ için $d_{1.30}$, f_0 için d_0 , $f_{0.1}$ için $d_{0.1}$ ve $f_{0.5}$ için $d_{0.5}$) dikkate alınmıştır. Elde edilen hacim değerleri Eşleştirilmiş t Testi yardımıyla gerçek hacim değerleri ile karşılaştırılarak şekil katsayıları yardımıyla elde edilen hacim değerlerinin gerçek hacim değerlerine benzerlikleri belirlenmiştir. Ayrıca, şekil katsayıları yardımıyla hesaplanan hacim değerlerine ilişkin ortalama hata (OH), ortalama mutlak hata (OMH) ve hata kareler ortalamasının karekökü ($HKOK$) hesaplanmıştır.

Ortalama Hata:

$$OH = \frac{\sum(v_f - v)}{n} \quad (5)$$

Ortalama Mutlak Hata:

$$OMH = \frac{\sum|v_f - v|}{n} \quad (6)$$

Hata Kareler Ortalamasının Karekökü:

$$HKOK = \sqrt{\frac{\sum(v_f - v)^2}{n}} \quad (7)$$

Bu eşitliklerde; v_f : şekil katsayıları yardımıyla hesaplanan hacim değerlerini, v : gerçek hacim değerlerini, n : örnek ağaç sayısını ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında uygulanan tüm istatistik analizler IBM SPSS 23 paket programı yardımıyla ve %5 önem düzeyi ile gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Alınan örnek ağaçlara ($n=145$) ilişkin ölçüm ve hesaplamalar ile elde edilen değerler Çizelge 1'de ve örnek alanlara ilişkin istatistiksel değerler de Çizelge 2'de verilmiştir. Bu değerlere göre örnek ağaçların göğüs yüksekliği çapları 11,1-58,5 cm, boyları 6,4-32,9 m, hacimleri 0,051-4,339 m³ ve yaşları da 20-180 arasında değerlere sahiptir. Örnek alanlara ($n=120$) ilişkin değerler ise orta çap için 11,1-53,7 cm, ağaç sayısı için 88-3750 adet/ha, meşcere göğüs yüzeyi için 3,592-125,893 m²/ha, meşcere hacmi için 10,715-1563,070 m³/ha, rölatif sıklık için 1,00-18,92 ve meşcere yaşı için de 20-184 arasındadır.

Örnek ağaçlar için hesaplanan şekil katsayılarına ilişkin çeşitli istatistiksel değerler Çizelge 3'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Kastamonu yöresi karaçam meşcereleri için ortalama göğüs boyu şekil katsayısı ($f_{1.3}$) 0,489, ortalama mutlak şekil katsayısı (f_0) 0,317, ortalama doğal şekil katsayısı ($f_{0.1}$) 0,504 ve ortalama yapay şekil katsayısı ($f_{0.5}$) 0,481 olarak belirlenmiştir. Göğüs boyu şekil katsayısı ile diğer şekil katsayıları arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla yapılan Eşleştirilmiş t Testi sonuçlarına göre göğüs boyu şekil katsayısı ile mutlak ve doğal şekil katsayıları arasında anlamlı farklılık bulunurken ($p<0,05$), yapay şekil katsayısı ile istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Çizelge 1. Örnek ağaçlara ilişkin açıklayıcı istatistikler

	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
Göğüs yüksekliği çapı ($d_{1.30}$, cm)	29,6	11,1	11,1	58,5
Taban çapı (d_0 , cm)	36,6	13,2	14,9	71,9
Ağaç boyunun %10'undaki çap ($d_{0.1}$, cm)	28,8	9,9	12,1	54,2
Ağaç boyunun yarısındaki çap ($d_{0.5}$, cm)	20,5	7,9	8,0	47,0
Ağaç boyu (h)	16,6	4,9	6,4	32,9
Tepe başlangıç yüksekliği (Ch , m)	9,2	4,4	0,9	25,3
Tepe uzunluğu (Cl , m)	7,3	2,1	2,1	14,7
Gövde hacmi (v , m ³)	0,714	0,689	0,051	4,339
Yaş (t)	80,7	31,1	20	180

Çizelge 2. Örnek alanlara ilişkin açıklayıcı istatistikler

	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
Meşcere orta çapı (d_g , cm)	29,5	11,5	11,1	53,7
Ağaç sayısı (N , adet/ha)	612,3	520,9	88	3750
Meşcere göğüs yüzeyi (G , m ² /ha)	33,043	20,019	3,592	125,893
Meşcere hacmi (V , m ³ /ha)	302,615	265,335	10,715	1 563,070
Meşcere sıklığı (RD)	6,08	3,17	1,00	18,92
Meşcere yaşı (T)	79,6	30,8	20	184

Çizelge 3. Şekil katsayılarına ilişkin açıklayıcı istatistikler

Şekil Katsayıları	n	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	p^a
Göğüs boyu şekil katsayısı ($f_{1,3}$)	145	0,489	0,066	0,349	0,892	
Mutlak şekil katsayısı (f_0)	145	0,317	0,051	0,189	0,554	<0,001*
Doğal şekil katsayısı ($f_{0,1}$)	145	0,504	0,066	0,366	0,926	0,005*
Yapay şekil katsayısı ($f_{0,5}$)	145	0,481	0,080	0,321	0,905	0,226 ^{ns}

^a: $f_{1,3}$ ile olan farklılıklar için yapılan Eşleştirilmiş t Testi sonuçları, *: $p<0,05$, ^{ns}: $p>0,05$

Ülkemizde şekil katsayıları ile ilgili diğer güncel araştırmalar incelendiğinde; Gürocak (2011), Batı ve Orta Karadeniz Bölgesi *Fagus orientalis* meşcereleri için göğüs boyu, mutlak, doğal ve yapay şekil katsayısı ortalamalarını sırasıyla 0,449, 0,305, 0,479 ve 0,353 olarak belirlemiş ve göğüs boyu şekil katsayısı ile diğer şekil katsayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farkların bulunduğunu ($p<0,05$) ifade etmiştir. Carus ve Çatal (2012) tarafından yine *Fagus orientalis* meşcereleri için yapılan bir başka araştırmada göğüs boyu, mutlak, doğal ve yapay şekil katsayısı değerleri sırasıyla 0,462, 0,312, 0,423 ve 0,404 olarak verilmiş ve göğüs boyu şekil katsayısı ile diğer şekil katsayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu ($p<0,05$) belirtilmiştir. Sarıkaya (2012) tarafından Muğla yöresi *Pinus brutia* meşcereleri için yapılan bir çalışmada ise göğüs boyu, mutlak, doğal ve yapay şekil katsayısı ortalamaları sırasıyla 0,474, 0,319, 0,439 ve 0,409 olarak belirlenmiş ve bu çalışmada da göğüs boyu şekil katsayısının diğer şekil katsayılarından anlamlı farklılık gösterdiği ($p<0,05$) ifade edilmiştir. Uluslararası çalışmalarda ise; ortalama göğüs boyu şekil katsayısının Polonya'daki *Abies grandis* ve *Larix decidua* meşcereleri için sırasıyla 0,502 (Socha ve Kulej, 2005) ve 0,460 (Socha ve Kulej, 2007), Hindistan'daki 25 doğal ağaç türü için 0,520 (Adekanle vd., 2013) ve Nepal'deki *Shorea robusta* meşcereleri için de 0,430 (Subedi vd., 2021) olduğu belirlenmiştir. İran'da yapılan araştırmalarda ise ortalama göğüs boyu, doğal ve yapay şekil katsayılarının *Cupressus sempervirens* meşcereleri için sırasıyla 0,453, 0,457 ve 0,505 (Ahmadi vd., 2008) ve *Pinus taeda* ağaçlandırmaları için 0,472, 0,500 ve 0,462 (Fadaei vd., 2008) olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmaların ilkinde (Ahmadi vd., 2008) göğüs boyu ve yapay şekil katsayıları arasında ve ikincisinde (Fadaei vd., 2008) ise göğüs boyu ve doğal şekil katsayıları arasında anlamlı farklılık olduğu ($p<0,05$) belirtilmiştir.

Şekil katsayılarının ağaçların çap, boy, tepe başlangıç yüksekliği, tepe uzunluğu ve yaş gibi özellikleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle şekil katsayılarının ve söz konusu tek ağaç özelliklerinin normal dağılım gösterip göstermedikleri test edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; göğüs boyu, mutlak ve doğal şekil katsayılarının normal dağılım göstermediği ($p<0,05$), yapay şekil katsayısının ise normal dağılım gösterdiği ($p>0,05$) belirlenmiştir. Diğer taraftan, ağaçlara ilişkin boy ve yaş değişkenleri normal dağılım gösterirken ($p>0,05$), çap, tepe başlangıç yüksekliği ve tepe uzunluğu normal dağılım göstermemiştir ($p<0,05$). Bu sonuçlara göre; yapay şekil katsayısı ile boy ve yaş değişkenleri arasındaki ilişkiler Pearson Korelasyon Analizi yardımıyla ve çap, tepe başlangıç yüksekliği ve tepe uzunluğu değişkenleri arasındaki ilişkiler de Spearman Korelasyon Analizi ile belirlenmiştir. Diğer tüm şekil katsayıları (göğüs boyu, mutlak ve doğal) ile tüm tek ağaç özellikleri arasındaki ilişkiler için de Spearman Korelasyon Analizi uygulanmıştır. Korelasyon analizlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar; göğüs boyu şekil katsayısı

ile tüm tek ağaç özellikleri arasında, mutlak şekil katsayısı ile tepe uzunluğu ve yaş arasında ve doğal şekil katsayısı ile tepe uzunluğu dışındaki tüm tek ağaç özellikleri arasında anlamlı korelasyon bulunduğunu göstermiştir ($p<0,05$). Yapay şekil katsayısı ile tek ağaç özellikleri arasında ise anlamlı korelasyon bulunmamıştır ($p>0,05$). Bu sonuçlara göre; göğüs boyu şekil katsayısı ile çap, boy ve tepe başlangıç yüksekliği arasında negatif yönlü ve orta düzeyli bir ilişki mevcutken, tepe uzunluğu ve yaş arasında negatif yönlü ve zayıf bir ilişki bulunmaktadır. Mutlak şekil katsayısının tepe uzunluğu ile ilişkisi negatif yönlü ve zayıf, yaş ile olan ilişkisi ise pozitif yönlü ve zayıftır. Diğer şekil katsayılarının aksine doğal şekil katsayısının çap, boy, tepe başlangıç yüksekliği ve yaş ile ilişkileri pozitif yönlü olup, söz konusu ilişkiler boy, tepe başlangıç yüksekliği ve yaş için orta ve çap için de zayıf seviyededir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer olarak ülkemizde yürütülen bazı araştırmalarda da şekil katsayıları ile göğüs çapı ve boy arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur (Gürocak, 2011; Sarıkaya, 2012). Suga vd. (2011) tarafından Japonya'daki *Phyllostachys pubescens* meşcereleri için yürütülen çalışmada ise doğal şekil katsayısı ile çap ve boy arasında anlamlı ilişki gözlemlenmezken ($p>0,05$), yapay şekil katsayısı ile çap ve boy arasındaki ilişki anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur. Japonya'daki *Phyllostachys nigra* meşcereleri için yapılan bir diğer araştırmada ise tam tersi bir durum söz konusudur (Inoue vd., 2012).

Şekil katsayılarının bonitet sınıfı, kapalılık sınıfı ve gelişim çağı gibi meşcere özellikleri ve ekorejyonlar bakımından farklılıklarının belirlenmesi amacıyla yapay şekil katsayısı için Basit Varyans Analizi ve göğüs boyu şekil katsayısı, mutlak şekil katsayısı ve doğal şekil katsayısı için de Kruskal-Wallis Testinden yararlanılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.

Örnek alanların yer aldığı meşcerelerin bonitet sınıfları Kalıpsız (1963) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre (I. Bonitet: $BE \geq 29,5$ m, II. Bonitet: $BE = 24,5-29,4$ m, III. Bonitet: $BE = 19,5-24,4$ m, IV. Bonitet: $BE = 14,5-19,4$ m, V. Bonitet: $BE < 14,5$ m) belirlenmiş olup, şekil katsayılarının bonitet sınıfları bakımından karşılaştırılmasıyla elde edilen sonuçlara göre; göğüs boyu ve mutlak şekil katsayıları bakımından anlamlı farklılık bulunurken ($p<0,05$), yapay ve doğal şekil katsayıları bakımından anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($p>0,05$). Göğüs boyu şekil katsayısı I. bonitet sınıfında en düşük değere sahipken ($\bar{f}_{1,3(V)} = 0,462$), V. bonitet sınıfında en yüksek değeri almıştır ($\bar{f}_{1,3(V)} = 0,507$). Mutlak şekil katsayısı ise I. bonitet sınıfında diğer bonitet sınıflarına göre daha düşük değerler alırken ($\bar{f}_{0(I)} = 0,277$), II, III, IV ve V. bonitet sınıfları için benzer değerlere ($\bar{f}_{0(II)} = 0,324$; $\bar{f}_{0(III)} = 0,318$, $\bar{f}_{0(IV)} = 0,326$; $\bar{f}_{0(V)} = 0,336$) sahip olmuştur (Çizelge 5; Şekil 1).

Kapalılık sınıfları (I kapalı: %11-40, 2 kapalı: %41-70, 3 kapalı: >%70) için elde edilen sonuçlara göre; kapalılık sınıfları arasında tüm şekil katsayıları bakımından anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($p>0,05$) (Çizelge 5; Şekil 2).

Gelişim çağıları (b : $d_g=8-19,9$ cm, c : $d_g=20-35,9$ cm, d : $d_g \geq 36$ cm) bakımından yapılan karşılaştırmada göğüs boyu ve doğal şekil katsayılarının gelişim çağıları bakımından anlamlı farklılıklar gösterdiği ($p < 0,05$), mutlak ve yapay şekil katsayılarının ise anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir ($p > 0,05$). Elde edilen sonuçlara göre; göğüs boyu şekil katsayısı için en yüksek değer “ b ” gelişim çağında

elde edilirken ($\bar{f}_{1,3(b)}=0,536$), aynı gelişim çağında doğal şekil katsayısı en düşük değeri ($\bar{f}_{0,1(b)}=0,489$) almıştır. Bunun aksine, göğüs boyu şekil katsayısının en düşük olduğu ($\bar{f}_{1,3(d)}=0,462$) “ d ” gelişim çağında doğal şekil katsayısı en yüksek değere ($\bar{f}_{0,1(d)}=0,521$) sahiptir (Çizelge 5; Şekil 3).

Çizelge 4. Şekil katsayıları ile tek ağaç özellikleri arasındaki ilişkiler

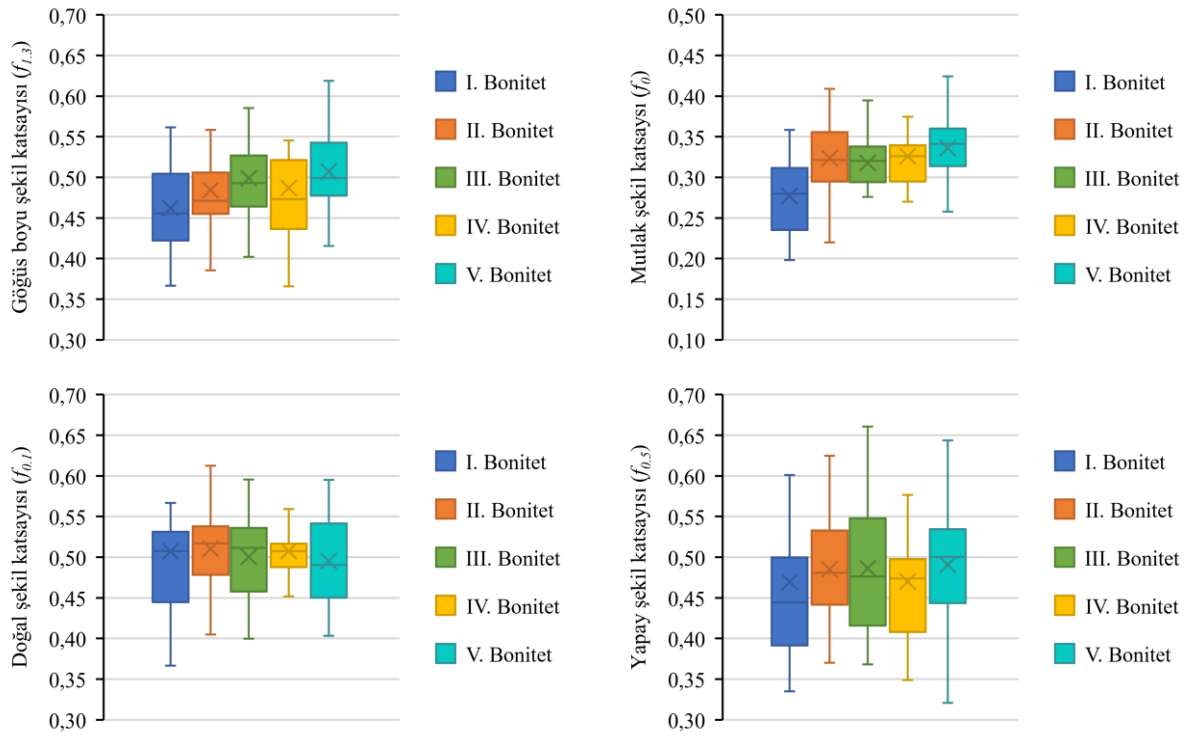
Şekil katsayıları		Çap (cm)	Boy (m)	Tepe başlangıç yüksekliği (m)	Tepe uzunluğu (m)	Yaş
Göğüs boyu şekil katsayısı ($f_{1,3}$)	r	-0,405	-0,419	-0,348	-0,283	-0,170
	p	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	0,041*
Mutlak şekil katsayısı (f_0)	r	-0,034	-0,082	-0,016	-0,178	0,168
	p	0,684 ^{ns}	0,325 ^{ns}	0,851 ^{ns}	0,032*	0,044*
Doğal şekil katsayısı ($f_{0,1}$)	r	0,266	0,396	0,391	0,121	0,333
	p	0,001*	<0,001*	<0,001*	0,148 ^{ns}	<0,001*
Yapay şekil katsayısı ($f_{0,5}$)	r	-0,087	-0,021	-0,029	-0,116	0,156
	p	0,296 ^{ns}	0,802 ^{ns}	0,727 ^{ns}	0,165 ^{ns}	0,061 ^{ns}

*: $p < 0,05$, ^{ns}: $p > 0,05$

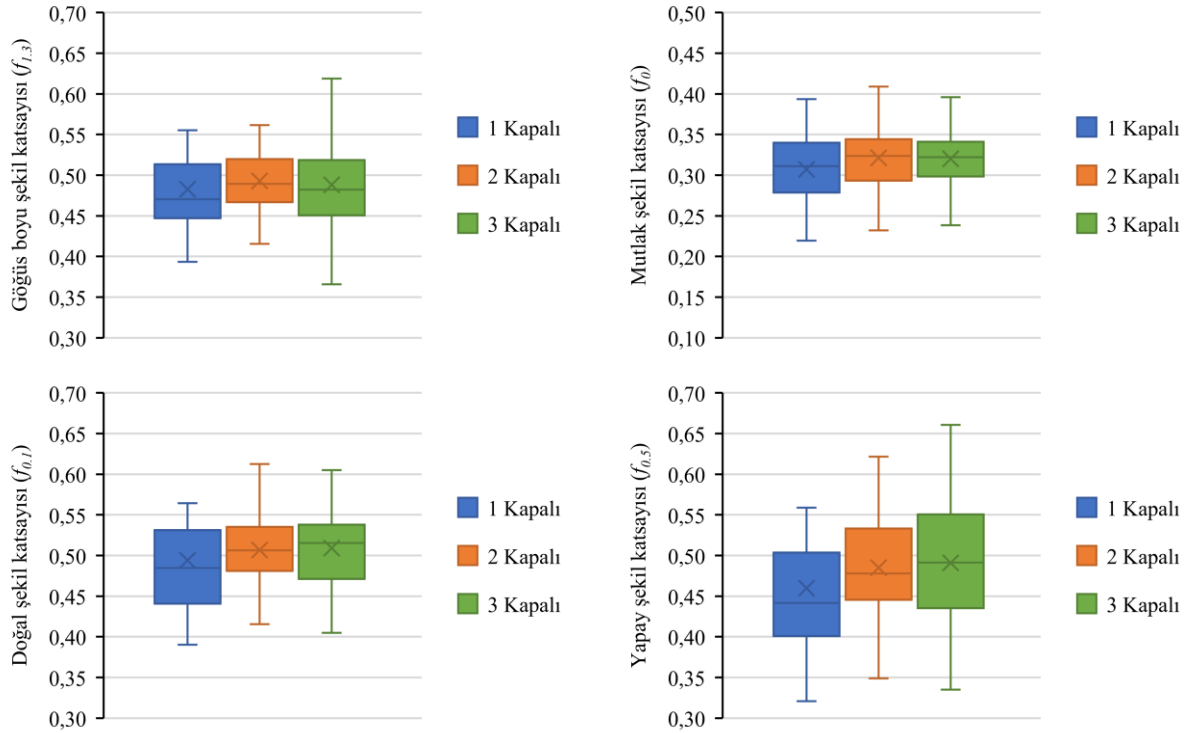
Çizelge 5. Şekil katsayıları ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler (I)

Bonitet Sınıfı	\bar{f}	p	Kapalılık	\bar{f}	p	Gelişim Çağı	\bar{f}	p	Ekorejyon	\bar{f}	p	
$f_{1,3}$	I (n=25)	0,462 ^b	0,022*	1 (n=37)	0,483	0,361 ^{ns}	b (n=35)	0,536 ^a	<0,001*	1 (n=12)	0,462	0,240 ^{ns}
	II (n=37)	0,484 ^{ab}		2 (n=52)	0,493		c (n=69)	0,482 ^b		3 (n=91)	0,491	
	III (n=28)	0,487 ^{ab}		3 (n=56)	0,488		d (n=41)	0,462 ^b		4 (n=42)	0,491	
	IV (n=26)	0,499 ^{ab}										
	V (n=29)	0,507 ^a										
f_0	I (n=25)	0,277 ^b	<0,001*	1 (n=37)	0,307	0,421 ^{ns}	b (n=35)	0,328	0,738 ^{ns}	1 (n=12)	0,305 ^b	<0,001*
	II (n=37)	0,324 ^a		2 (n=52)	0,321		c (n=69)	0,313		3 (n=91)	0,307 ^b	
	III (n=28)	0,318 ^a		3 (n=56)	0,320		d (n=41)	0,315		4 (n=42)	0,343 ^a	
	IV (n=26)	0,326 ^a										
	V (n=29)	0,336 ^a										
$f_{0,1}$	I (n=25)	0,507	0,777 ^{ns}	1 (n=37)	0,494	0,152 ^{ns}	b (n=35)	0,489 ^b	0,021*	1 (n=12)	0,541	0,544 ^{ns}
	II (n=37)	0,510		2 (n=52)	0,506		c (n=69)	0,502 ^a		3 (n=91)	0,502	
	III (n=28)	0,500		3 (n=56)	0,509		d (n=41)	0,521 ^a		4 (n=42)	0,498	
	IV (n=26)	0,507										
	V (n=29)	0,495										
$f_{0,5}$	I (n=25)	0,469	0,815 ^{ns}	1 (n=37)	0,460	0,172 ^{ns}	b (n=35)	0,480	0,520 ^{ns}	1 (n=12)	0,492	0,640 ^{ns}
	II (n=37)	0,485		2 (n=52)	0,485		c (n=69)	0,488		3 (n=91)	0,476	
	III (n=28)	0,486		3 (n=56)	0,491		d (n=41)	0,470		4 (n=42)	0,488	
	IV (n=26)	0,470										
	V (n=29)	0,490										

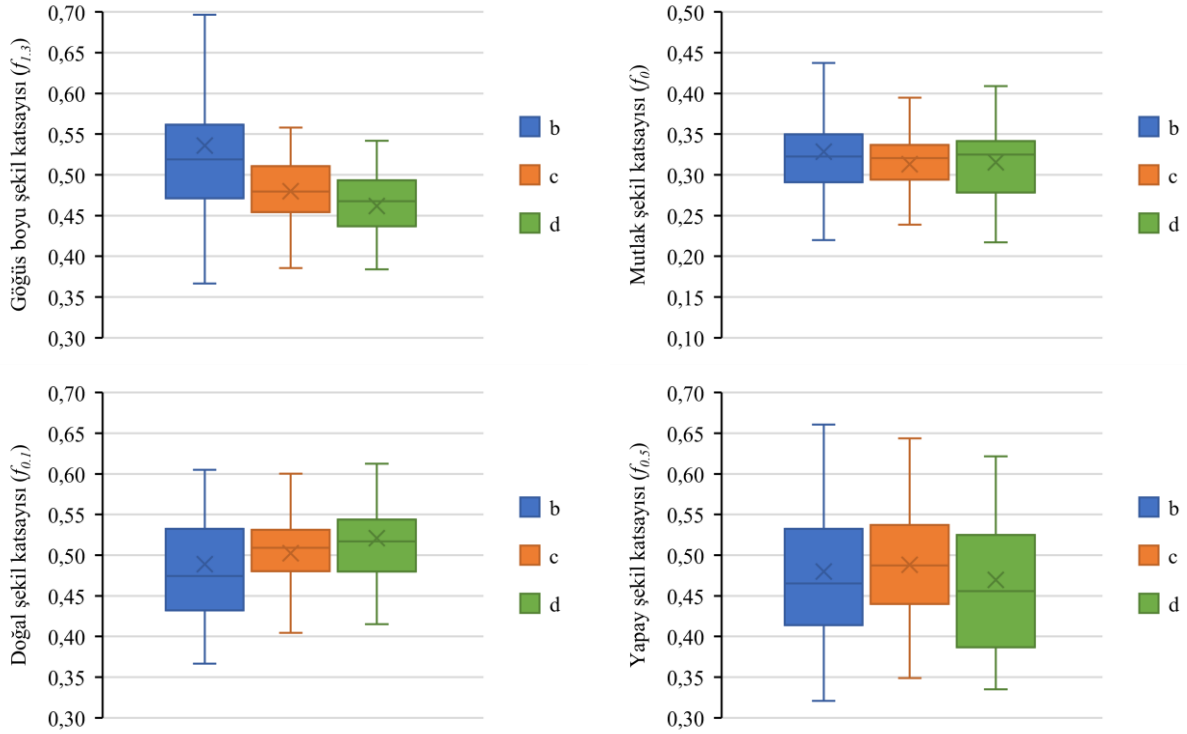
*: $p < 0,05$, ^{ns}: $p > 0,05$, ^{a,b}: Homojen gruplar.



Şekil 1. Şekil katsayılarının bonitet sınıflarına göre değişimi



Şekil 2. Şekil katsayılarının kapalılık sınıflarına göre değişimi



Şekil 3. Şekil katsayılarının gelişim çağlarına göre değişimi

Atalay (2014), iklim, topoğrafya, ana materyal, toprak ve biyotik faktörleri dikkate alarak Türkiye’yi 8 ekolojik bölgeye ve her bir bölgeyi de kendi içerisinde alt bölümlere ayırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre çalışmanın yürütüldüğü Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Karadeniz İklim Bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Karadeniz İklim Bölgesi; Nemli-İlman Geniş Yapraklı Orman Bölümü (Ekorejyon 1), Karadeniz Kıyı Dağları Nemli-Soğuk İğne Yapraklı Orman Bölümü (Ekorejyon 2), Karadeniz Ardı Plato ve Dağlar Soğuk Yarınemli Orman Bölümü (Ekorejyon 3), Karadeniz Ardı Kurakçıl Orman-Çalı Bölümü (Ekorejyon 4) ve Karadeniz Dağ Çayıruları Bölümü (Ekorejyon 5) olmak üzere beş farklı ekolojik alt bölüm (ekorejyon) içermektedir. Çalışma kapsamında alınan örnek alanlar üç ekorejyona (1, 3 ve 4) dağılmakta olup, şekil katsayılarının ekorejyonlar bakımından karşılaştırılmasına ilişkin sonuçlara göre; mutlak şekil katsayısı ekorejyonlar arası anlamlı farklılıklara sahipken ($p<0,05$), ekorejyonlar arasında göğüs boyu, yapay ve doğal şekil katsayıları bakımından farklılık bulunmamaktadır ($p>0,05$). Sonuçlar; tüm ekorejyonlarda göğüs boyu, doğal ve yapay şekil katsayılarının “0,5” civarında olduğunu gösterirken, mutlak şekil katsayısı ekorejyonlara göre farklı değerler ($\bar{f}_{0(1)}=0,305$; $\bar{f}_{0(2)}=0,307$, $\bar{f}_{0(3)}=0,343$) almıştır (Çizelge 5; Şekil 4). Literatürde şekil katsayılarının ekorejyonlar arası karşılaştırmasına yönelik bir çalışmaya rastlanmamış olmakla birlikte bu çalışmanın yürütüldüğü Kastamonu yöresi karaçam meşcerelerinde yapılan çalışmalarda çap ve boy ilişkilerinin (Seki ve Sakıcı, 2022a) ve meşcere gelişiminin (Seki ve Sakıcı, 2022b) ekorejyonlara göre anlamlı farklılıklar gösterdiği ifade edilmiştir.

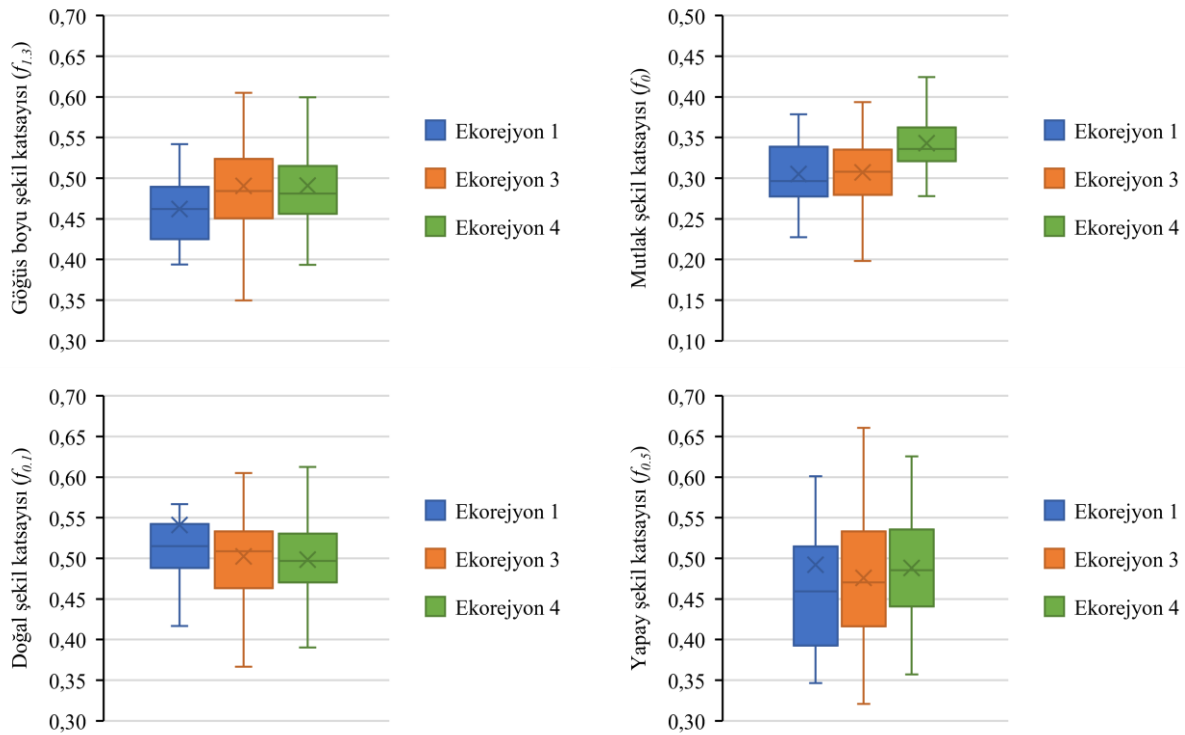
Çalışma kapsamında meşcere yaşı, meşcere orta çapı, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere hacmi ve meşcere sıklığı gibi meşcere özellikleri geçici örnek alanlar yardımıyla

belirlendiğinden meşcere özelliklerine ilişkin değerler de ölçüm anındaki değerleri ifade etmektedir. Bu nedenle, incelenen meşcere özelliklerinin zamana bağlı değişimlerinin şekil katsayıları üzerindeki etkileri analiz edilememekle birlikte şekil katsayıları ile aktüel meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Şekil katsayılarının söz konusu meşcere özellikleri ile ilişkilerinin araştırılabilmesi için öncelikle meşcere özelliklerinin normal dağılım gösterip göstermedikleri analiz edilmiş ve çalışmaya konu tüm meşcere özelliklerinin normal dağılım göstermediği belirlenmiştir ($p<0,05$). Meşcere özelliklerinin normal dağılım göstermemesi sebebiyle şekil katsayıları ile aralarındaki ilişkiler Spearman Korelasyon Analizinden yararlanılarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6’da verilmiştir. Sonuçlar; göğüs boyu şekil katsayısı ile meşcere yaşı, meşcere orta çapı, meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi arasında negatif yönlü, doğal şekil katsayısı ile tüm meşcere özellikleri arasında pozitif yönlü ve yapay şekil katsayısı ile meşcere yaşı arasında negatif yönlü ilişkiler olduğunu göstermiştir ($p<0,05$). Mutlak şekil katsayısı ile hiçbir meşcere özelliği arasında ise anlamlı korelasyon bulunamamıştır ($p>0,05$). Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde uygulamada en çok tercih edilen göğüs boyu şekil katsayısının meşcere sıklığı dışındaki meşcere özellikleri ile ilişki gösterdiği ve yine çeşitli bilimsel araştırmalarda ve ormancılık uygulamalarında geniş yer bulan doğal şekil katsayısının değerlendirilen tüm meşcere özellikleri ile korelasyon içerisinde olduğu anlaşılmaktadır. Meşcere sıklığının ağaçların gövde şekilleri üzerinde etkili olması beklenen bir durumken, hesaplanan meşcere sıklığının ölçüm anındaki değeri yansıtmaması ve meşcerenin geçmiş yıllardaki sıklık değerleri hakkında bilgi sahibi olunmaması bu çalışmada bulunan sonuçların olası sebepleri olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte, ağaçların gövde şekilleri üzerinde meşcerelerin anlık sıklık değerlerinin değil,

geçmişten bugüne seyreden sıklık değerlerinin etkili olduğu ve meşcerelerin günümüzdeki sıklıklarının geçmiş yıllardaki sıklık değerleri ile farklılıklar gösterebildiği gerçeklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Öyle ki, genç yaşlarda az sayıda ağaç bulunduran meşcereler ileriki yaşlarda sık meşcerelere dönüşebilmekte veya genç yaşlarda aşırı sık yapıda olan meşcereler ileriki yaşlarda seyrek meşcerelere dönüşebilmektedirler (Yavuz, 1988). Bu çalışmada ulaşılan bulgulara paralel olarak Socha ve Kulej (2007) tarafından Polonya'daki *Larix decidua* meşcereleri için yapılan çalışmada da şekil katsayılarının meşcere sıklığı ile ilişki göstermediği ifade edilmiştir.

Şekil katsayılarının hacim tahminlerindeki başarı düzeylerini ortaya koymak üzere şekil katsayılarının teorik hacim denkleminde ($v=g.h.f$) kullanılmasıyla elde edilen hacim değerleri ile örnek ağaçların gerçek hacimleri

Eşleştirilmiş t Testi yardımıyla karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 7'de verilmiş olup, bu sonuçlara göre göğüs boyu şekil katsayısı yardımıyla elde edilen hacim değerleri gerçek hacim değerlerinden istatistiksel olarak farklı bulunurken ($p<0,05$), mutlak, doğal ve yapay şekil katsayıları kullanılarak elde edilen hacimler gerçek hacim değerleri ile benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Sonuçlar; gerçek hacimlere en yakın tahminlerin mutlak şekil katsayısı ile yapılabildiğini ($OH=0,008$ m³, $OMH=0,084$ m³, $HKOK=0,144$ m³) göstermektedir. Bununla birlikte, uygulamada en çok tercih edilen şekil katsayısı olan göğüs boyu şekil katsayısı ile hesaplanan hacimler gerçek hacimlerden istatistiksel olarak farklı bulunmuş olsa da bu şekil katsayısı ile elde edilen hacimlerin de gerçek hacimlerden önemli bir farklılık göstermediği ($OH=0,029$ m³, $OMH=0,059$ m³, $HKOK=0,101$ m³) söylenebilir.



Şekil 4. Şekil katsayılarının ekorejyonlara göre değişimi

Çizelge 6. Şekil katsayıları ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler (II)

Şekil katsayıları		Meşcere yaşı	Meşcere orta çapı (cm)	Meşcere göğüs yüzeyi (m ² /ha)	Meşcere hacmi (m ³ /ha)	Meşcere sıklığı
Göğüs boyu şekil katsayısı ($f_{1.3}$)	r	-0,166	-0,420	-0,222	-0,362	-0,076
	p	0,046*	<0,001*	0,007*	<0,001*	0,365 ^{ns}
Mutlak şekil katsayısı (f_0)	r	0,153	-0,037	0,058	-0,038	0,096
	p	0,067 ^{ns}	0,660 ^{ns}	0,487 ^{ns}	0,646 ^{ns}	0,249 ^{ns}
Doğal şekil katsayısı ($f_{0.1}$)	r	0,317	0,254	0,317	0,312	0,293
	p	<0,001*	0,002*	<0,001*	<0,001*	<0,001*
Yapay şekil katsayısı ($f_{0.5}$)	r	0,167	-0,120	0,060	0,009	0,137
	p	0,044*	0,150 ^{ns}	0,470 ^{ns}	0,919 ^{ns}	0,100 ^{ns}

*: $p<0,05$, ^{ns}: $p>0,05$

Çizelge 7. Şekil katsayıları ile hesaplanan hacimlerin gerçek hacimlerle karşılaştırılması

Şekil Katsayıları	Ortalama hacim değerleri		p	OH (m ³)	OMH (m ³)	$HKOK$ (m ³)
	Gerçek (m ³)	Tahmin (m ³)				
Göğüs boyu şekil katsayısı ($f_{1.3}$)	0,714	0,743	<0,001*	0,029	0,059	0,101
Mutlak şekil katsayısı (f_0)	0,714	0,722	0,486 ^{ns}	0,008	0,084	0,144
Doğal şekil katsayısı ($f_{0.1}$)	0,714	0,696	0,065 ^{ns}	-0,018	0,058	0,117
Yapay şekil katsayısı ($f_{0.5}$)	0,714	0,730	0,298 ^{ns}	0,016	0,068	0,188

*: $p<0,05$, ^{ns}: $p>0,05$, OH : Ortalama Hata, OMH : Ortalama mutlak Hata, $HKOK$: Hata Kareler Ortalamasının Karekökü

Ülkemizde, Gürocak (2011) tarafından *Fagus orientalis* meşcereleri için yapılan çalışmada göğüs boyu şekil katsayısı ile hesaplanan hacim değerleri ile mutlak ve yapay şekil katsayıları ile tahmin edilen hacim değerleri arasında ve Sarıkaya (2012) tarafından *Pinus brutia* meşcereleri için yapılan çalışmada ise göğüs boyu şekil katsayısı ile hesaplanan hacim değerleri ile diğer şekil katsayılarının tamamı ile tahmin edilen hacim değerleri arasında anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir. Hacim hesaplamalarında göğüs boyu şekil katsayısı yerine kullanılabilir en uygun şekil katsayısı olarak Gürocak (2011) tarafından yapay şekil katsayısı ve Sarıkaya (2012) tarafından doğal şekil katsayısı önerilmiştir. Benzer şekilde, Fadaei vd. (2008) tarafından da İran'daki *Pinus taeda* yapay meşcerelerinde yetişen ağaçlara ilişkin hacim hesaplamalarında doğal şekil katsayısının kullanılabilirliği ifade edilmiştir. Bu sonuçların aksine, Adekunle vd. (2013) ise göğüs boyu şekil katsayısının hacim hesaplamalarında başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

4. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışma, örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümlere dayalı olarak Kastamonu yöresi karaçam meşcereleri için göğüs boyu, mutlak, doğal ve yapay şekil katsayıları olmak üzere 4 farklı şekil katsayısının hesaplanması ve söz konusu şekil katsayıları üzerinde anlamlı etkiye sahip ağaç, meşcere ve yetişme ortamı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışma sonucunda, göğüs boyu, mutlak, doğal ve yapay şekil katsayıları için ortalama değerler sırasıyla 0,489, 0,317, 0,504 ve 0,481 olarak belirlenmiştir. Göğüs boyu şekil katsayısı ile mutlak ve doğal şekil katsayıları arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Söz konusu bu farklılıkların, örnek ağaçların çap, boy, hacim ve yaş bakımından oldukça geniş varyasyona sahip olmalarından kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil katsayılarının çeşitli tek ağaç özellikleri (çap, boy, tepe başlangıç yüksekliği, tepe uzunluğu ve yaş) ile olan ilişkileri incelendiğinde; göğüs boyu şekil katsayısı ile tüm tek ağaç özellikleri arasında, mutlak şekil katsayısı ile tepe uzunluğu ve yaş arasında ve doğal şekil katsayısı ile de çap, boy, tepe başlangıç yüksekliği ve yaş arasında anlamlı korelasyon bulunmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen bu sonuçların dışında, şekil katsayılarının ağaç türleri ve belirli bir ağaç türünün farklı yayılış alanları arasındaki farklılıkları da inceleyebilir.

Şekil katsayılarının bonitet sınıfları, kapalılık sınıfları, gelişim çağları ve ekorejyonlar arası farklılıkları incelendiğinde; göğüs boyu şekil katsayısının bonitet sınıfları ve gelişim çağları bakımından, mutlak şekil katsayısının bonitet sınıfları ve ekorejyonlar bakımından ve doğal şekil katsayısının da gelişim çağları bakımından anlamlı farklılıklara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, şekil katsayılarının özellikle bonitet sınıfları ve gelişim çağlarından etkilendiğini göstermektedir. Şekil katsayılarının çeşitli meşcere özellikleri (meşcere yaşı, meşcere orta çapı, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere hacmi ve meşcere sıklığı) ile olan ilişkileri incelendiğinde ise; göğüs boyu şekil katsayısının meşcere yaşı, meşcere orta çapı, meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi ile negatif yönlü, doğal şekil katsayısının tüm meşcere özellikleri ile pozitif yönlü ve yapay şekil katsayısının da meşcere yaşı ile pozitif yönlü ilişkiler gösterdiği belirlenmiştir. Mutlak şekil katsayısı ile meşcere özellikleri arasında ise anlamlı bir ilişki mevcut

değildir. Meşcere özellikleri bağlamında elde edilen bu sonuçlar geçici örnek alanlarda elde edilen aktüel verilere dayanmaktadır. Meşcere özelliklerinin şekil katsayıları üzerindeki etkilerinin zamansal olarak ortaya konulabilmesi için yürütülecek araştırmalarda, daha duyarlı sonuçların elde edilebilmesi için devamlı örnek alanlardan elde edilen verilerin kullanılması önerilebilir.

Şekil katsayılarının hacim tahminlerindeki başarı düzeyleri, gerçek hacim değerleri ile şekil katsayıları kullanılarak elde edilen hacim değerleri arasında yapılan karşılaştırmalara göre analiz edildiğinde; göğüs boyu ve yapay şekil katsayıları yardımıyla elde edilen hacim değerlerinin gerçek hacim değerlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu, mutlak ve doğal şekil katsayıları kullanılarak elde edilen hacimlerin ise gerçek hacim değerleri ile benzer olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre; dikili ağaç hacimlerinin tahmininde ağaç hacim tablolarının kullanımı gibi yaygın bir uygulamaya ek olarak göğüs boyu şekil katsayısı yardımıyla teorik hacim denkleminin kullanılması da alternatif bir yöntem olsa da Kastamonu yöresi karaçam meşcerelerinde göğüs boyu şekil katsayısı yerine mutlak veya doğal şekil katsayılarının kullanılması hacim tahminlerindeki başarıyı artıracaktır.

Açıklama

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından "2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı" kapsamında 1919B012109568 başvuru numarası ile desteklenen ve Elif Şeyda KESİK'in yürütücülüğünü ve Oytun Emre SAKICI'nın danışmanlığını yaptığı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Adekunle, V.A.J., Nair, K.N., Srivastava, A.K., Singh, N.K., 2013. Models and form factors for stand volume estimation in natural forest ecosystems: A case study of Katarniaghat Wildlife Sanctuary (KGWS), Bahraich District, India. *Journal of Forestry Research*, 24(2): 217-226.
- Ahmadi, A., Fallah, A., Jalilvand, H., Kooch, Y., 2008. Determining the best form factor formula for zarbin (*Cupressus sempervirens* var. *horzontalis*) in north of Iran. *Asian Journal of Biological Sciences*, 1(1): 39-44.
- Atalay, İ., 2014. Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri (Genişletilmiş 2. Baskı). Meta Basım Matbaacılık, İzmir.
- Baytaş, S., Seki, M., 2023. Safranbolu yöresi Kazdağı Gökarnı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) meşcereleri için ağaç hacim tabloları. *Turkish Journal of Forestry*, 24(2): 61-68.
- Carus, S., Çatal, Y., 2012. Determination of the most appropriate method of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stem form coefficient in Turkey. *Proceedings of International Scientific Conference on Forests in The Future-Sustainable Use, Risks and Challenges*, 4-5 October, Belgrade, Republic of Serbia, pp. 25-32.
- Curtis, R.O., 1982. A simple index of stand density for Douglas-fir. *Forest Science*, 28(1): 92-94.
- Da Silva, J.A.A., Borders, B.E., Brister, G.H., 1994. Estimating tree volume using a new form factor. *The Commonwealth Forestry Review*, 73(1): 14-17.
- Eler, Ü., 2003. Dendrometri. Süleyman Demirel Üniversitesi Basımevi, Isparta.
- Fadaei, F., Fallah, A., Latifi, H., Mohammadi, K., 2008. Determining the best form factor formula for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations at the age of 18, in Guilan-northern Iran. *Asian Journal of Environmental Sciences*, 6(1): 19-24.

- Gürocak, H., 2011. Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.)'nda bazı ağaç şekil katsayılarının göğüs çapı ve boya göre gelişimleri ve karşılaştırılmaları. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Inoue, A., 2006. A model for the relationship between form-factors for stem volume and those for stem surface area in coniferous species. *Journal of Forest Research*, 11: 289-294.
- Inoue, A., Sakamoto, S., Suga, H., Kitahara, F., 2011. Estimation of culm volume for bamboo, *Phyllostachys bambusoides*, by two-way volume equation. *Biomass and Bioenergy*, 35: 2666-2673.
- Inoue, A., 2012. Variation in form-factors for stem surface area in evenaged pure stands of Japanese larch (*Larix kaempferi*). *Journal of Forest Planning*, 17: 53-57.
- Inoue, A., Sakamoto, S., Kitazato, H., Sakuta, K., 2012. Development of two-way volume equation for bamboo, *Phyllostachys nigra*. *Journal of Forest Planning*, 18: 13-19.
- Inoue, A., Sato, M., Shima, H., 2021. A new taper index based on form-factor: application to three bamboo species (*Phyllostachys* spp.). *European Journal of Forest Research*, 140: 1533-1542.
- Kalpırsız, A., 1963. Türkiye'de Karacam Meşcerelerinin Tabii Büyümesi ve Verim Kudreti Üzerine Araştırmalar. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Kalpırsız, A., 1984. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Larson, P.R., 1963. Stem form development of forest trees. *Forest Science*, 9(S-2): 1-42.
- Muhairwe, C.K., 1994. Tree form and taper variation over time for interior lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 24(9): 1904-1913.
- OGM, 2023. Ormancılık İstatistikleri 2022. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Petrin, R., Bogdanov, K., 2017. Comparative investigations of the form factor for different tree species, uniform average form factor. *Management and Sustainable Development*, 63(2): 1-6.
- Sakıcı, O.E., Sağlam, F., Seki, M., 2018. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1): 20-29.
- Sarıkaya, C., 2012. Muğla yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde bazı ağaç şekil katsayılarının göğüs çapı ve boya göre gelişimleri ve karşılaştırılmaları. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2022a. Ecoregion-based height-diameter models for Crimean pine. *Journal of Forest Research*, 27(1): 36-44.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2022b. Ecoregional variation of Crimean pine (*Pinus nigra* subspecies *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) stand growth. *Forest Science*, 68(5-6): 452-463.
- Socha, J., Kulej, M., 2005. Provenance-dependent variability of *Abies grandis* stem form under mountain conditions of Beskid Sadecki (southern Poland). *Canadian Journal of Forest Research*, 35(11): 2539-2552.
- Socha, J., Kulej, M., 2007. Variation of the tree form factor and taper in European larch of Polish provenances tested under conditions of the Beskid Sadecki mountain range (southern Poland). *Journal of Forest Science*, 53(12): 538-547.
- Subedi, T., Bhandari, S.K., Pandey, N., Timilsina, Y.P., Mahatara, D., 2021. Form factor and volume equations for individual trees of *Shorea robusta* in Western low land of Nepal. *Australian Journal of Forest Research*, 138(3): 143-166.
- Suga, H., Inoue, A., Kitahara, F., 2011. Derivation of two-way volume equation for bamboo, *Phyllostachys pubescens*. *Journal of Forest Research*, 16: 261-267.
- Van Laar, A., Akça, A., 2007. *Forest Mensuration*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- West, P.W., 2009. *Tree and Forest Measurement* (3rd Edition). Springer, Berlin, Germany.
- Yavuz, H., 1988. Hasılat tablosu düzenlenmesinde normalite kontrolü ve bonitetlemenin bilgisayar yardımıyla çözümü. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.