

Tarsus Yöresi Anadolu Karaçamı Ağaçlarında Hacim Tahminlerinin Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilmesi

İ. Ercanlı^{1,*}, A.K. Kurt², M. Şenyurt¹, A. Günlü¹, F. Bolat¹, S. Keleş¹

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi 18200 ÇANKIRI

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 18200 ÇANKIRI

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 6 Mart 2018

Kabul Tarihi : 2 Temmuz 2018

*Sorumlu yazarın e-posta adresi:
ilkerercanlı@karatekin.edu.tr

ÖZ

Ormancılık tarihinde, ağaç hacimlerinin tahmin edilmesine ilişkin birçok farklı yöntem geliştirilmesine karşın, regresyon analizine dayanan ağaç hacim denklemleri, ormancılık işletmesi uygulamalarından orman amenajmanına kadar farklı ormancılık uygulamalarında kullanım alanı bulmuştur. Ancak regresyon analizi tekniği, bir istatistik yöntem olması nedeniyle temel bazı varsayımlara dayanmakta ve bu varsayımların sağlanması durumunda doğru ve etkin tahminler sunabilmektedir. Bir yapay zeka uygulaması olan Yapay Sinir Ağları (YSA) tekniklerinin kullanımı ile istatistiksel varsayımların sağlanmasına ihtiyaç duyulmadan, karmaşık ilişkilerin modellenmesinde başarılı ve etkin tahminler elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki Anadolu Karaçamı ağaçlarının hacim tahminlerinin elde edilmesinde YSA kullanımı gerçekleştirilerek, farklı dönüşüm fonksiyonları ile nöron sayılarını içeren farklı YSA yapılarının hacim tahminlerindeki başarı durumları karşılaştırılmıştır. Çeşitli başarı ölçütlerine göre yapılan karşılaştırmada, tek girişli tahminler için 9 nöron ve Log-sig ve çift girişli tahminler için ise 5 nöron ve Tansig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA yapısı ile en başarılı tahminler elde edilmiştir. Bu YSA yapıları ile tek girişli tahminlerde belirtme katsayısı (R^2), 0,975 iken, çift girişli tahminlerde 0.987 olarak elde edilmiştir. Tek girişli tahminlerde THY ve OMHY değerleri sırasıyla; -% 0,185 ve % 10.052, çift girişli tahminlerde ise; -% 0,552 ve % 6,862 olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağaç Hacim Tahmini, Yapay Sinir Ağı, Dönüşüm Fonksiyonu, Anadolu Karaçamı, Nöron

Tree Volume Predictions by Artificial Neural Networks in Crimean Pine Trees in Tarsus Forest

ABSTRACT

In forestry literature, tree volume equations based on regression analysis have been commonly used, although many different techniques from forest enterprise to forest management have been developed for the tree volume predictions. However, the regression techniques are based on some assumptions and they can yield effective and accurate predictions when those assumptions are met. The Artificial neural network (ANN), an application of artificial intelligence, can yield effective and successful predictions for complex relationships without the need of meeting these assumptions. In this study, the performance of ANN to predict tree volume of Crimean pine trees in Tarsus forests was evaluated. ANN structures based one various transform functions and number of neuron were compared by coefficient of determination R^2 , percent of total error (PTE) and percent of mean absolute error (PMAE). ANN structures based on feed forward backprop including nine number of neuron and log-sig function for single entry volume with R^2 of 0,976, PTE of -% 0,185 and PMAE of 10,052, and five number of neuron and Tan-sig function for double entry volume with R^2 of 0.987, PTE of -0.552 and PMAE of 6,862, presented the best predictive results for individual volume values.

Keywords: Tree Volume Prediction, Artificial Neural Network, Transform Function, Crimean Pine, Neuron

Bu makaleye atf:

Ercanlı, İ., Kurt, A.K., Şenyurt, M., Günlü, A., Bolat, F., Keleş, S., 2018. Tarsus Yöresi Anadolu Karaçamı Ağaçlarında Hacim Tahminlerinin Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi 4(1): 24-35

1. Giriş

Bir ormanda mevcut ağaç servetinin tahmini, orman amenajman planlarının hazırlanması ve üretimin planlanması açısından önem taşımaktadır. Bu planların hazırlanmasında, bir ormanı oluşturan çeşitli yapı ve kuruluşteki meşcerenin sahip olduğu ağaç servetine ilişkin bilgiler, temel altlıklardan birisidir (Fırat 1973; Kalıpsız, 1999). Orman envanteri çalışmalarında giderlerin önemli bir kısmı da bu servetin (hacim ve hacim artımının envanteri) tahmin edilmesine harcanmaktadır. Bu nedenle tek ağaç ve meşcere hacminin doğru ve etkin tahmin edilmesi orman mühendislerinin temel görevleri arasındadır (Yavuz 1995).

Ağaç serveti meşceredeki her bir ağacın hacimleri toplamından oluşmaktadır. Tüm ağaç gövdeleri silindir, parabolit, koni ve nayloit gibi bilinen geometrik şekillere tam olarak benzemediğinden analitik yöntemlerle ağaç hacmini doğrudan hesaplamak mümkün olmamaktadır. Buna karşın ağaç hacmini belirli bir hata miktarı ile tahmin eden pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılan ise "Ağaç Hacim Denklemleri ve Tabloları" yöntemidir. Ağaç hacim denklemleri, dikili bir ağacın göğüs çapı, göğüs çapı-boy veya göğüs çapı boy-şekil katsayısı gibi değişkenlere göre, kalın odun hacmini ya da ticari hacmini veren İstatistiksel denklemlerdir (Kapucu vd., 2002; Yavuz ve Sakıcı 2002). Yalnız göğüs çapına göre düzenlediklerinde "Tek Girişli Ağaç Hacim Denklemleri ve Tabloları", göğüs çapı ve ağaç boyuna göre düzenlediklerinde "Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemleri ve Tabloları", göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak ağaç boyunun belirli bir oranına (örneğin % 30) karşılık gelen yükseklikteki gövde çapı ya da yerden 7 metre yüksekliğindeki gövde çapı gibi üç ya da daha çok değişkene göre düzenlediklerinde ise "Çok Girişli Ağaç Hacim Denklemleri ve Tabloları" olarak isimlendirilmektedirler (Kapucu vd., 2002).

Ağaç hacim denklemlerinin düzenlenmesinde temel amaç; ağaçların göğüs çapı ve boyu gibi boyutları ile hacim arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve bu ilişkiye bağlı olarak ağaç hacminin tahmin edilmesidir. Ağaç hacim denklemlerinin düzenlenmesinde; ağaçlar üzerindeki ölçümlerden sağlanan verilerin dengelenmesi söz konusu olup, bunun için 'Grafik Yöntem' ya da istatistiksel bir yöntem olan 'Regresyon Analizi' yöntemlerinden yararlanılmaktadır (Yavuz 1995; Şentürk 1997). Bu bakımdan, ağaç hacim denklemleri; regresyon analizleri ile üretilen regresyon modelleridir. Ancak, regresyon analizi yöntemi ile elde edilen tahmin denklemleri, geliştirilmelerinde esas alınan belirli

varsayımların sağlanması durumunda doğru ve güvenilir tahminlere imkan sağlayabilmektedirler. Regresyon modellerinde esas olan istatistiksel varsayımlar; modellere ilişkin hataların normal dağılım göstermesi, tahmin değerinin değişimine bağlı olarak hata varyanslarının homojenliği, hatalar arasında korelasyonun olmaması (otokorelasyon), bağımsız değişkenler arasında bir korelasyonun olmaması olarak ifade edilebilir (Orhunbilge, 2002). Son yıllarda istatistiksel varsayımların sağlanmasına ihtiyaç duymayan ve karmaşık ilişkilerin modellenmesinde başarılı tahmin sonuçları verebilen Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın ormancılıkta kullanımı öne çıkmaktadır. Yapay Sinir Ağları (YSA) uçak, otomobil, elektronik, üretim, robotik, haberleşme, inşaat gibi birçok mühendislik alanlarında tahmine dayalı işlemlerde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. YSA, mühendislik uygulamalarında çok faydalı bir araç olabilmekte (Topçu ve Sarıdemir, 2008) ve özellikle de regresyon modelleri ile düşük tahmin başarısı elde edilen veri modellemelerinde güçlü bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır (Esteban vd., 2009; Atkinson and Tatnall 1997; Ashraf et al., 2013).

Ülkemizde ise, YSA ile ormancılıkta alanında kullanımına ilişkin çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Özellikle ağaçlara ilişkin artım ve büyümenin modellenmesinde ilişkin çalışmalardan; Özçelik et al. (2010), ağaç hacimlerini tahmin edilmesinde, standard metotlar (huber formülü ve yöresel hacim denklemi), modern teknikler (paracone, centroid, control-variate, importance sampling) ve cascade korelasyon yapısını içeren YSA ile geri yayımlı YSA karşılaştırılmış, en başarılı tahminleri YSA ile elde edilmiştir. Diamantopoulou and Özçelik (2012), ağaçların boy tahminlerinin elde edilmesinde genelleştirilmiş regresyon yapısına dayanan YSA ile doğrusal olmayan regresyon modellerini karşılaştırmış, YSA ile daha başarılı boy tahminleri elde etmiştir. Özçelik et al. (2013), Boylu Ardıç ağaçlarının boylarını tahmin edilmesinde, genelleştirilmiş boy denklemlerini, karışık etkili modellemeye dayanan doğrusal olmayan modeller ile YSA'yı karşılaştırmış, en doğru ve başarılı tahminler geri yayımlı (Back Propagation) YSA yapısı elde etmiştir. Özçelik et al. (2014), kızılçam ağaçlarının gövde çaplarına ilişkin tahminler ile gövde hacmi tahminlerinde tepe özelliklerine ilişkin değişkenlerin etkisini, YSA ile araştırmış; özellikle Levenberg-Marquardt algoritmasını esas alan YSA'nın en iyi tahminleri verdiğini belirlemiştir. Diamantopoulou et al. (2015), 2 parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun parametrelerinin tahmin edilmesinde Levenberg-Marquardt algoritmasını kullanan YSA ile çap dağılımlarını modellemeye

başarılı sonuçlar elde etmiştir. Ercanlı vd. (2015), kayın ağaçlarında yapılan gövde analizi verileri ile elde edilen yaş-boy ilişkilerini modellemek üzere farklı YSA yapıları karşılaştırılmış, en başarılı tahminler; Radyal temelli YSA ile elde edilmiştir. Şenyurt vd. (2015), meşcere ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim, meşcere orta çapı ve boyu gibi çeşitli meşcere özelliklerini tahmin etmek üzere İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA kullanmıştır. Bolat (2015), ağaçların göğüs çapı ve çeşitli meşcere özelliklerine göre tek ağaçların boy tahminlerini elde etmek üzere İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA kullanmış ve %93'lük bir belirtme katsayısı elde etmiştir. Ercanlı et al. (2016), uzaktan algılama verilerinden hesaplanan çeşitli vejetasyon indislerine bağlı olarak farklı YSA yapılarının meşcere biyokütlesini tahmin başarılarını karşılaştırmış; en iyi tahminleri, İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA ile elde etmiştir. Özdemir (2018), Kayın-Gökmar karışık meşcerelerinde gövde çapı tahminleri için farklı YSA modellerini gövde çapı denklemleri ile karşılaştırmış, YSA modelleri ile ağaçların belirli yükseklikteki gövde çapını tahmininde daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışmalar yanında, ülkemiz ormancılığında daha doğru ve tutarlı artım ve büyüme tahminlerinin elde edilmesine imkan sağlayabilecek olan ve klasik regresyon modellerinin ötesinde yapay zekanın bir uygulaması olarak yapay sinir ağlarına ilişkin çalışmaların gerçekleştirilmesi önemli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki Anadolu Karaçamı ağaçlarının hacminin tahmin edilmesinde; çeşitli dönüşüm fonksiyonları ile nöron sayıları seçeneklerini içeren Yapay Sinir Ağ yapılarının kullanım olanaklarının araştırılması ve farklı YSA yapılarının gerek kendi aralarında gerekse regresyon analizi yönteminin bir uygulaması olan tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri ile başarı durumlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada, Ercanlı vd. (2014) tarafından Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki Buladan ve Cehennemdere Şefliklerindeki Anadolu Karaçam meşcerelerinden elde edilen 355 adet ağaca ilişkin veriler kullanılmıştır. Çalışma alanından elde edilen örnek ağaçlar, çalışma alanında gözlemlenen hacim gelişimindeki değişkenliği en iyi şekilde temsil edecek özelliklere sahip olmasına dikkat edilerek seçilmiştir (Ercanlı vd., 2014). Çalışma kapsamındaki örnek ağaçlar dip kütük yüksekliğinden (0.3 m) kestirilerek, ilk olarak kesilen kısım olan 0.3 metrede dip çap ölçülmüş

sonra, çelik şerit metre yardımıyla 1'er metre ara ile 1.3, 2.3, 3.3 metrelerde mümkün olduğunca düzenli bir şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ağaçların toplam boy değerleri de çelik şerit metre ile ölçülmüştür.

Çalışmada kullanılan bu 355 adet örnek ağaçta, toplam 3197 adet çap ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler yapılırken, eğer ağaç gövdesi daire biçimli olmayıp bozuk şekilli ise; gövde kesitine dik iki yönde çap ölçümü alınıp, iki ölçümün ortalaması alınmıştır. Çizelge 1'de, örnek ağaçlara ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikler verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler

	h (m)	d _{1.30} (cm)	V (m ³)
Maksimum	38,00	88,00	7,99484
Minimum	5,45	9,00	0,00299
Aritmetik Ortalama	12,85	19,50	0,88136
Standart Sapma	4,73	18,95	1,08174

Yapay Sinir Ağlarının eğitiminde ve regresyon analizinin uygulaması olan tek ve çift girişli ağaç hacim fonksiyonlarının parametrelerinin tahmininde (modeling data), toplam verinin yaklaşık %87'si (n=307 ağaç); bu tahminlerin çalışmaya konu meşcerelere uygunluğunun denetiminde ise yaklaşık %13'ü (n=48 ağaç) kullanılmıştır.

2.1. Ağaç hacim hesapları

Bu çalışmada, her bir örnek ağaç, dip kütük, seksiyonlar ve uç parça olmak üzere üç ayrı bölümde hacimlendirilmiş ve bunların toplanması ile toplam gövde hacmi hesaplanmıştır. Dip kütüğün silindir, uç parçanın ise koni biçiminde olduğu varsayılmıştır. Her bir Seksiyonun hacimlendirilmesinde, seksiyon uzunlukları eşit olduğundan "Huber" formülü kullanılmıştır. Dip kısım hacim hesabında; silindir, uç kısım hacim hesabında ise; koni formülleri kullanılmıştır. Ağaç hacimlerinin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir;

$$\text{Dip kısım için; } V_{\text{dip}} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0.3}^2 \cdot 0.3 \quad (1)$$

$$\text{Uç kısmı için; } V_{\text{uç}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{uç}}^2 \cdot h_{\text{uç}} \quad (2)$$

Seksiyon hacimleri için Huber formülü;

$$V_{\text{seksiyon}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{1.3}^2 + \dots + d_n^2) \cdot 2 \quad (3)$$

Bu formüllerde, V_{dip}: ağaçların toprak seviyesi ile 0.3 metre arasındaki kısmını, d_{0.3}: ağaçların 0.3 metre yüksekliğindeki çapını, V_{uç}: en son ölçülen seksiyon kısmı ile uç kısım arasında kalan kısmın hacmini, d_{uç}: uç kısmın dip çapını, h_{uç}: uç kısmın

uzunluğunu, V_{seksiyon} : 2 metrelik seksiyon hacimlerini, $d_{1.30}$ ve d_n : ağaç gövdelerinin 1.3 metre ve n . metre yüksekliklerde ölçülen çapları göstermektedir.

2.2. Yapay sinir ağları

Bu çalışma kapsamında, tek ağaç hacimlerine ilişkin tahminler, klasik regresyon analizi yöntemi ile birlikte Yapay sinir ağları ile de elde edilmiştir. YSA, insan beyni gibi biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilen matematiksel modelleme yöntemi olup, YSA ile tahminler insan beyninin fizyolojisinden esinlenerek geliştirilmiş bilgisayar yazılımları ile elde edilmektedir (Elmas, 2003). YSA modeli, yapı olarak birbirleriyle bağlantılı olan sinirlerin bulunduğu katmanlardan oluşmaktadır. Temelde bu katmanlar; girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır (Kurup ve Dudani, 2002). Bu katmanlar, süreç elemanları olarak adlandırılan yapay nöronlardan oluşmaktadır. YSA'da, çok katmanlı olarak düzenlenebilen ve paralel olarak çalışan çok sayıdaki doğrusal olmayan ve yapay nöronlar içeren yapılarının bir sonucu olarak; doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde ve tahminlerin elde edilmesinde oldukça başarılıdır (Nasr et al., 2003).

Hücrelerin bağlantı şekillerine, öğrenme kurallarına ve aktivasyon fonksiyonlarına göre çeşitli YSA yapıları geliştirilmiştir. YSA yapıları, ileri beslemeli, geri beslemeli ve radyal tabanlı sinir ağları olmak üzere 3 temel sınıfa ayrılır (Fırat, 2002; Fırat ve Güngör, 2004). Farklı sinir yapılarını içeren YSA'nın uygulamasında, ilk önce tahmin yapılacak sistemde girdi değişkenleri (input variables) ile çıktı değişkenini (output, target variable) tanımlanmakta ve bu tanımlamalar ile YSA, verileri analiz ederek tahminde başarıyı eniyeleyecek ve hatayı en aza indirecek şekilde ağırlıkları tahmin edilmektedir (Fırat, 2002). Bu süreç, YSA ilişkin literatürde, **ağın öğrenmesi** (network training) olarak adlandırılmaktadır. YSA ile çok sayıda farklı ağırlık değeri türetilmekte, bu ağırlık değerleri kullanılarak da toplama ve aktivasyon fonksiyonları ile çıktı tahminleri elde edilmektedir. YSA ile elde edilen tahmin değerleri ile başta tanımlanan çıktı değişkenine ilişkin gözlem değerlerine göre hesaplanan hataların değişimi analiz edilerek, hataların minimum olduğu ve hatalara ilişkin değişimlerin sabitlendiği noktada süreç tamamlanmaktadır (Fırat, 2002; Fırat ve Güngör, 2004).

YSA'na ilişkin bu sürecin işletilmesinde ve tahminlerin elde edilmesinde ise, farklı bilgisayar yazılımları geliştirilmiş olup, günümüzde yapay sinir

ağı çalışmaları için en sık kullanılan yazılım olarak MATLAB yazılımı öne çıkmaktadır. MATLAB yazılımı, kullanımındaki kolaylığı ve farklı sinir ağ yapıları içermesi ile tercih edilmektedir. Bu çalışmada, "Mathworks MATLAB" yazılımının 8.0.0.783 (R2012b) versiyonu içindeki Neural Network Toolbox (nntool) ile tek ağaç hacmine ilişkin YSA modelleri eğitilmiştir.

Veriler ağa sunulmadan önce verideki aşırı salınımları engellemek ve sistem performansını arttırmak için normalizasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bunun için çok farklı fonksiyonlar önerilmesine karşın, MATLAB yazılımı ile tahmin edilen ağırlık değerleri ile YSA'ya ilişkin denklemlerin elde edilebilmesi için MAPMINMAX dönüşümü kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ayrıca, YSA yapılarına ilişkin denklemlerin de verilmesi amaçlandığından ve de özellikle MATLAB yazılımında ağırlıklar, MAPMINMAX dönüşümüne uygun olarak tahmin edildiğinden; bu dönüşüm kullanılmıştır. MAPMINMAX dönüşüm formülü ile veriler [-1,+1] aralığında normalize edilmektedir. Verilerin normalize edilmesinde kullanılmış olan MAPMINMAX dönüşüm formülü aşağıda verilmiştir.

$$X_{norm} = \frac{(Y_{max}-Y_{min}) \cdot (X_i - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} - 1 \quad (3)$$

Yukarıdaki bu formüle; X_i ; ilgili değişken değeri (çap, boy ve hacim değerleri), X_{min} ; ilgili değişkenin minimum değeri, X_{max} ; ilgili değişkenin maximum değeri, Y_{min} ; -1 ve Y_{max} ; +1 olarak alınır. YSA ile elde edilen tahminlere ilişkin denormalize işlemine ilişkin formül aşağıda verilmiştir.

$$X_{denorm} = \frac{(X_{norm}+1) \cdot (X_{max} - X_{min})}{(Y_{max} - Y_{min})} + X_{min} \quad (4)$$

Bu çalışmada, verilerin normalizasyonundan sonra; 307 ağaç verisi kullanılarak, bölümlene yöntemi ile tek ağaçlara ilişkin hesaplanan toplam ağaç hacim değerleri; çıktı verisi (output, target variable) ve ağaçların göğüs çapları ve boy değerleri de girdi verisi (input variables) olarak yapay sinir ağının eğitimi gerçekleştirilmiştir.

Yapay sinir ağının eğitiminde, çıktı ve girdi değişkenlerinin belirlenmesi ve normalizasyonu yanında en önemli konulardan birisi de; farklı nöron sayıları ile çeşitli dönüşüm fonksiyon alternatiflerinden oluşan en başarılı YSA yapısına karar verilmesidir. Çalışma kapsamında kullanılan MATLAB yazılımı sayesinde farklı nöron sayıları ile çeşitli dönüşüm fonksiyon alternatiflerine sahip YSA yapıları kullanılarak tahminler elde edilebilmiştir.

Bu çalışmada, çeşitli hesaplama algoritmalarına dayanan İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA (feed-forward backprop), Cascade Korelasyon Yapısını içeren YSA (Cascade-forward backprop) ile Elman'ın Geri Yayılımlı YSA (Elman backprop) içeren üç farklı YSA tipi, 10 farklı nöron sayısı (1-10) ve 3 farklı dönüşüm fonksiyonu (Logsig, Purelin ve Tansig fonksiyonları) olmak üzere 90 farklı (3x3x10) YSA yapısı ile ağ eğitimleri gerçekleştirilmiştir. Bu YSA yapıları kullanılarak MATLAB yazılımı ile hacim tahminleri; sadece çap değerleri (tek girişli tahminler) ve çap ile birlikte boy değerleri girdi değişkeni olarak (çift girişli tahminler) tahminler elde edilmiştir.

2.3. Tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri

Bu çalışmada, farklı YSA yapıları elde edilecek tahminlerin, regresyon analizi ile üretilmiş olan ve uygulamada kullanım alanı bulan tek ve çift girişli denklemler ile elde edilen tahminlere göre başarı durumlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, bu çalışmada yapay sinir ağların eğitimindeki ağaçları daha önce kullanarak üretilmiş tek ve çift girişli hacim denklemlerine (Ercanlı vd., 2014) ilişkin başarı durumları ile farklı YSA yapıları ile elde edilen tahmin değerlerinin başarı durumları karşılaştırılmıştır. Ercanlı vd. (2014) tarafından en başarılı olarak belirlenen tek girişli ağaç hacim denklemi aşağıda verilmiştir.

$$V = 0,1426 - 0,01926 \cdot d + 0,000989 \cdot d^2 \quad (5)$$

Denklemin tüm parametreleri, $p < 0.05$ önem düzeyi ile anlamlıdır. En başarılı tek girişli hacim fonksiyonuna ilişkin uygunluk ölçütleri, $R^2 = 0,918$, $S_{yx} = 0,20365 \text{ m}^3$, $TH = \% 0,0$; $OMHY = \% 14,771$ olarak hesaplanmıştır. Ercanlı vd. (2014) tarafından belirlenen en başarılı olarak belirlenen çift girişli ağaç hacim denklemi aşağıda verilmiştir.

$$V = 0,0461 + 0,000306d^2 - 0,00778h + 0,0000213d^2h \quad (6)$$

Denklemin tüm parametreleri, $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlıdır. En başarılı çift girişli hacim fonksiyonuna ilişkin uygunluk ölçütleri, $R^2 = 0,981$, $TH = \% -1,11 \times 10^{-14}$, $OMHY = \% 8,104$ olarak hesaplanmıştır.

2.4. Karşılaştırma ölçütleri

Farklı YSA için elde edilen tahminler ile regresyon analizi yöntemlerinin uygulaması olan tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri elde edilecek

tahminlerin karşılaştırılmasında bazı istatistiki başarı ölçütleri kullanılmıştır. Bu başarı ölçütleri; Belirtme Katsayısı (R^2), tahminin standart hatası ($S_{y,x}$), ortalama hata (OH), ortalama mutlak hata (OMH), toplam hata yüzdesi (THY) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY) değerleri olmak üzere çeşitli istatistiki değerlerdir (Şentürk 1997; Yavuz 1999). Bu ölçüt değerlerinden, tahminin standart hatası, ortalama hata, ortalama mutlak hata, toplam hata yüzdesi ve ortalama mutlak hata yüzdesi değerleri küçük, belirtme katsayısı değerlerinin ise büyük olması istenmektedir. Bu ölçüt değerlerine ilişkin formüller, aşağıda verilmiştir.

$$\text{Belirtme Katsayısı; } R^2 = 1 - \left(\frac{\sum (\hat{V}_i - V_i)^2}{\sum (V_i - V_{ort})^2} \right) \quad (7)$$

$$\text{Tahminin Standart Hatası; } S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum (\hat{V}_i - V_i)^2}{N-p}} \quad (8)$$

$$\text{Ortalama Hata (OH); } OH = \frac{\sum (\hat{V}_i - V_i)}{N} \quad (9)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata (OMH); } OH = \frac{\sum |\hat{V}_i - V_i|}{N} \quad (10)$$

Toplam Hata Yüzdesi;

$$\text{THY} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \hat{V}_i - \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (11)$$

Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi;

$$\text{OMHY} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{V}_i - V_i|}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (12)$$

Burada, N: veri sayısını, p: parametre sayısını \hat{V}_i : hacim fonksiyonu ile tahmin edilen hacim değeri, V_i : ölçülen hacim değeri, V_{ort} : ölçülen ortalama ağaç hacmi değerlerini göstermektedir.

Bir ya da birkaç ölçüt değerlerine göre başarılı olan bir yöntem, diğer bir ölçüt değerine göre başarısız olabilmektedir. Bu nedenle tüm başarı ölçütlerinin kapsayacak şekilde, bir başarı sıralaması yapılmıştır. Bu amaçla, Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilmiş olan Rölatif Sıralama Yöntemi kullanılmıştır. Bu başarı sıralama yönteminde, modeller başarı ölçütünün birbirine olan yakınlık ve uzaklık değerine göre rölatif olarak sıralanmaktadır. Farklı ölçüt değerlerine ilişkin rölatif sıra numaraları

toplanıp, en küçük toplam rölâtif sıra numarasına sahip model ya da yöntemde, hacim tahminlerinde en başarılı olarak belirlenmektedir (Özdemir, 2018). Rölâtif Sıra numarası yöntemine ilişkin formül aşağıda verilmiştir.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1) \cdot (S_i - S_{\text{enküçük}})}{(S_{\text{enbüyük}} - S_{\text{enküçük}})} \quad (13)$$

Bu eşitlikte, R_i : model ya da yönteme ilişkin rölâtif sıra numarası, S_i : i. model ya da yönteme ilişkin istatistiki ölçüt değerini, $S_{\text{enküçük}}$: modeller ya da yöntemlere ilişkin en küçük başarı ölçüt değerini, $S_{\text{enbüyük}}$: modeller ya da yöntemlere ilişkin en büyük ölçüt değerini, m: karşılaştırılan model veya yöntem sayısını göstermektedir.

3. Bulgular

Bu çalışmada sadece çapa bağlı olarak tek girişli hacim tahminleri sunan farklı nöron sayıları ile çeşitli dönüşüm fonksiyonlarını içeren YSA yapılarına ilişkin başarı ölçüt değerlerinin ortalamaları Çizelge 2’de verilmiştir. Çap ile birlikte boya göre çift girişli hacim tahminleri sunan farklı nöron sayıları ile çeşitli dönüşüm fonksiyonlarını içeren YSA yapılarına ilişkin başarı ölçüt değerlerinin ortalamaları ise Çizelge 3’de verilmiştir. Tek girişli tahminlerde; farklı nöron sayıları ve çeşitli dönüşüm fonksiyonları içeren İleri Beslemeli-Geri Yayimli YSA yapısına ilişkin ortalama belirtme Katsayısı (R^2) değeri, 0,963; tahminin standart hatası ($S_{y,x}$), 0,198 m³; ortalama hata (OH), 0,017 m³; ortalama mutlak hata (OMH), 0,114 m³; toplam hata yüzdesi (THY), % 1,991 ve ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY)’de, % 13,696 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Cascade

Korelasyon Yapısına YSA ilişkin uygunluk ölçütlerinin ortalama değerleri; $R^2 = 0,962$, $S_{y,x} = 0,200$ m³, OH= 0,024, OMH=0,120 m³, THY = % 2,846 ve OMHY = % 14,409 olarak elde edilmiştir (Çizelge 2). Elman’ın Geri Yayimli YSA ilişkin uygunluk ölçütlerinin ortalama değerleri; $R^2 = 0,951$, $S_{y,x} = 0,228$ m³, OH= 0,031 m³, OMH=0,134 m³, THY = 3,683 ve OMHY = 16,102 olarak elde edilmiştir (Çizelge 2). Bu ortalama değerler değerlendirildiğinde; çalışma kapsamında denenen farklı YSA yapıları içinde en başarılı tek girişli hacim tahminleri İleri Beslemeli-Geri Yayimli YSA yapısı ile elde edilmiştir. Çizelge 4’te, İleri Beslemeli-Geri Yayimli YSA için farklı nöron ve transfer fonksiyon alternatiflerine göre başarı ölçüt değerleri ve rölâtif sıra numaraları verilmiştir. İleri Beslemeli-Geri Yayimli YSA içinde, 30.09 rölâtif başarı numarası ile en düşük başarı sıra numarasına sahip yapı da; 9 nöron ve Log-sig dönüşüm fonksiyonu içeren YSA yapısıdır (Çizelge 4). Bu YSA yapısının başarı ölçütleri, $R^2 = 0,976$, $S_{y,x} = 0,162$ m³, OH= -0,0015 m³, OMH=0,084 m³, THY = -% 0,185 ve OMHY = % 10,052 olarak elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan veriler ile daha önceden Ercanlı (2014) tarafından geliştirilen tek girişli ağaç hacim denkleminin ilişkin başarı ölçütleri ise; $R^2 = 0,918$, $S_{y,x} = 0,20365$ m³, TH = % 0,0, OMH = % 14,771 olarak elde edilmiştir. Bu başarı ölçüt değerleri değerlendirildiğinde, YSA ile hacim tahminlerinde regresyon analizine ile elde edilen tek girişli denkleme göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2. Tek girişli tahminlere ilişkin farklı YSA yapılarına ilişkin ortalama başarı ölçütleri

YSA Yapısı	R^2	Syx	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	OMHY	THY
İleri Beslemeli-Geri Yayimli YSA	0,963	0,198	0,017	0,114	13,696	1,991
Cascade Korelasyon Yapısını içeren YSA	0,962	0,200	0,024	0,120	14,409	2,846
Elman’ın Geri Yayimli YSA	0,951	0,228	0,031	0,134	16,102	3,683

Çift girişli tahminlerde ise; İleri Beslemeli-Geri Yayimli YSA yapısına ilişkin ortalama belirtme Katsayısı (R^2) değeri, 0,975; tahminin standart hatası ($S_{y,x}$), 0,164; ortalama hata (OH), 0,016; ortalama mutlak hata (OMH), 0,082; toplam hata yüzdesi (THY), % 1,969 ve ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY)’de, % 9,858 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3). Cascade Korelasyon Yapısına YSA ilişkin uygunluk ölçütlerinin ortalama değerleri; $R^2 = 0,972$, $S_{y,x} = 0,170$, OH = 0,024, OMH=0,082, THY

= % 1,831 ve OMHY = % 9,854 olarak elde edilmiştir (Çizelge 3). Elman’ın Geri Yayimli YSA ilişkin uygunluk ölçütlerinin ortalama değerleri; $R^2 = 0,974$, $S_{y,x} = 0,166$, OH= 0,024, OMH=0,085, THY = 2,142 ve OMHY = 10,151 olarak elde edilmiştir (Çizelge 3). Bu ortalama değerler değerlendirildiğinde; farklı YSA yapıları içinde en başarılı çift girişli hacim tahminleri, tek girişli hacim tahminlerinde de olduğu gibi İleri Beslemeli-Geri Yayimli YSA yapısı ile elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5'te, İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA için farklı nöron ve transfer fonksiyon alternatiflerine göre başarı ölçüt değerleri ve rölatif sıra numaraları verilmiştir. İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA içinde de, 29,48 rölatif başarı numarası ile en düşük başarı sıra numarasına sahip 5 nöron ve Tan-sig dönüşüm fonksiyonu içeren YSA yapısı ile en başarılı çift girişli hacim tahminleri elde edilmiştir (Çizelge 5). Bu YSA yapısının başarı ölçütleri, $R^2 = 0,987$, $S_{y.x} = 0,121$, $OH = -0,0046$, $OMH=0,057$, $THY = -0,552$ ve $OMHY = \% 6,862$ olarak hesaplanmıştır.

Ercanlı (2014) tarafından geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemine ilişkin başarı ölçütleri ise; $R^2= 0,981$, $S_{y.x} = 0,1787 \text{ m}^3$, $TH = \% -1,11 \times 10^{-14}$, $OMHY= \% 8,104$ olarak elde edilmiştir. Tek girişli tahminlerdeki sonuçlara benzer olarak, YSA ile çapa ve boya dayalı olan çift girişli hacim tahminlerinde de, regresyon analizi yöntemi ile elde edilen tahmin sonuçlarına göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3. Çift girişli tahminlere ilişkin farklı YSA yapılarına ilişkin ortalama başarı ölçütleri

YSA Yapısı	R^2	Syx	Ortalama Hata	Ortalama Mutlak Hata	OMHY	THY
İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA	0,975	0,164	0,016	0,082	9,858	1,969
Cascade Korelasyon Yapısını içeren YSA	0,972	0,170	0,024	0,082	9,854	1,831
Elman'ın Geri Yayılımlı YSA	0,974	0,166	0,024	0,085	10,151	2,142

YSA yapıları kullanılarak elde edilen tahminlerin verilerin alındığı karaçam meşcereleri için uygun olup olmadığının testi, toplam verinin yaklaşık % 13'nü oluşturan veriler (n=48) yardımıyla yapılmıştır. Denetimde kullanılan bu ağaçların (48 adet), en başarılı belirlenen YSA yapısı kullanılarak elde edilen tek ve çift girişli hacim tahminleri ile bölümlene yöntemi ile hesaplanan hacim değerleri, "Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)" kullanılarak karşılaştırılmıştır (Kalıpsız, 1988; Batu,

1995). Yapılan bu karşılaştırma ile tek girişli hacim tahminleri için; t istatistiği=1,869 olarak hesaplanmış olup, bu istatistiğe ilişkin önem düzeyi p=0,068, çift girişli hacim fonksiyonu için ise t istatistiği=1.176 ve önem düzeyi p= 0,246 olarak belirlenmiştir. Böylece bu çalışmada belirlenen en başarılı YSA yapıları ile elde edilen tek ve çift girişli hacim tahminlerinin, örnek ağaçların alındığı Karaçam meşcereleri için istatistiksel olarak uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4. Tek girişli tahminlere veren İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA (feed-forward backprop)'nın farklı nöron sayıları ve çeşitli dönüşüm fonksiyonları içeren yapılarına ilişkin başarı ölçütleri ve rölatif başarı sıraları

Fonks.	Nöron Sayısı	R ²	Rölatif Sıra	Syx	Rölatif Sıra	Ort. Hata	Rölatif Sıra	OMH	Rölatif Sıra	OMHY	Rölatif Sıra	TH	Rölatif Sıra	Toplam Rölatif Sıra
Log-Sig	1	0,913	51,75	0,3072	46,23	-0,0698	1,00	0,168	26,15	20,206	26,35	-8,38	1,00	152,48
	2	0,94	30,00	0,2551	30,00	-0,0152	10,44	0,101	6,33	12,162	6,41	-1,827	10,44	93,61
	3	0,976	1,00	0,163	1,31	0,0009	13,22	0,085	1,59	10,24	1,65	0,103	13,22	31,99
	4	0,975	1,81	0,1651	1,97	-0,0092	11,47	0,087	2,18	10,415	2,09	-1,103	11,48	30,99
	5	0,975	1,81	0,1633	1,40	0,0041	13,77	0,083	1,00	9,977	1,00	0,498	13,79	32,77
	6	0,976	1,00	0,1629	1,28	0,0021	13,43	0,085	1,59	10,218	1,60	0,25	13,43	32,32
	7	0,975	1,81	0,1633	1,40	-0,0073	11,80	0,085	1,59	10,142	1,41	-0,875	14,00	32,01
	8	0,975	1,81	0,1641	1,65	0,006	14,10	0,084	1,30	10,056	1,20	0,722	14,11	34,16
	9	0,976	1,00	0,162	1,00	-0,0015	12,80	0,084	1,30	10,052	1,19	-0,185	12,80	30,09
	10	0,975	1,81	0,1657	2,15	0,0115	15,05	0,096	4,85	11,548	4,89	1,383	15,06	43,81
PureLin	1	0,949	22,75	0,2346	23,61	0,0544	22,46	0,16	23,79	19,159	23,75	6,524	22,46	138,83
	2	0,95	21,94	0,2329	23,08	0,0309	18,40	0,154	22,01	18,472	22,05	3,708	18,41	125,90
	3	0,95	21,94	0,2334	23,24	0,0408	20,11	0,153	21,71	18,307	21,64	4,893	20,11	128,77
	4	0,95	21,94	0,2335	23,27	0,0316	18,52	0,151	21,12	18,071	21,06	3,795	18,53	124,45
	5	0,95	21,94	0,2331	23,15	0,0219	16,85	0,151	21,12	18,069	21,05	2,626	16,85	120,96
	6	0,949	22,75	0,2349	23,71	0,0596	23,36	0,158	23,19	19,021	23,41	7,154	23,37	139,80
	7	0,944	26,78	0,2478	27,73	0,098	30,00	0,181	30,00	21,681	30,00	11,757	30,00	174,50
	8	0,95	21,94	0,234	23,43	0,0434	20,56	0,158	23,19	19,001	23,36	5,213	20,58	133,06
	9	0,949	22,75	0,2346	23,61	0,0395	19,89	0,151	21,12	18,104	21,14	4,741	19,90	128,41
	10	0,95	21,94	0,233	23,12	0,0369	19,44	0,152	21,42	18,299	21,62	4,43	19,45	126,99
Tansig	1	0,945	25,97	0,2445	26,70	0,0082	14,48	0,121	12,24	14,538	12,30	0,982	14,48	106,18
	2	0,969	6,64	0,1829	7,51	0,0199	16,50	0,104	7,21	12,471	7,18	2,387	16,51	61,55
	3	0,974	2,61	0,1679	2,84	0,0152	15,69	0,089	2,78	10,699	2,79	1,821	15,69	42,39
	4	0,973	3,42	0,1708	3,74	-0,0115	11,08	0,09	3,07	10,836	3,13	-1,379	11,08	35,52
	5	0,97	5,83	0,1811	6,95	0,0043	13,81	0,099	5,73	11,884	5,73	0,513	13,81	51,86
	6	0,975	1,81	0,1651	1,97	-0,0058	12,06	0,085	1,59	10,18	1,50	-0,691	12,07	31,00
	7	0,976	1,00	0,1628	1,25	-0,0051	12,18	0,083	1,00	10,007	1,07	-0,61	16,00	32,51
	8	0,975	1,81	0,1646	1,81	-0,0045	12,29	0,085	1,59	10,239	1,65	-0,545	12,28	31,43
	9	0,975	1,81	0,1645	1,78	-0,0066	11,92	0,085	1,59	10,157	1,45	-0,797	11,92	30,47
	10	0,956	17,11	0,2189	18,72	0,0188	16,31	0,11	8,99	13,177	8,93	2,253	16,31	86,38
Ort.		0,963		0,198		0,017		0,114		13,696		1,991		

Çizelge 5. Çift girişli tahminleri veren İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA (feed-forward backprop)'nın farklı nöron sayıları ve çeşitli dönüşüm fonksiyonları içeren yapılarına ilişkin başarı ölçütleri ve rölatif başarı sıraları

Fonks.	Nöron Sayısı	R ²	Rölatif Sıra	Syx	Rölatif Sıra	Ort. Hata	Rölatif Sıra	OMH	Rölatif Sıra	OMHY	Rölatif Sıra	TH	Rölatif Sıra	Toplam Rölatif Sıra
Log-Sig	1	0,965	15,19	0,1952	18,01	-0,0068	11,22	0,07	6,63	8,369	6,43	-0,813	11,22	68,69
	2	0,984	3,47	0,1314	4,68	0,0091	14,57	0,068	5,76	8,185	5,76	1,089	14,57	48,81
	3	0,984	3,47	0,1314	4,68	0,0084	14,42	0,066	4,90	7,92	4,81	1,008	14,42	46,70
	4	0,96	18,28	0,2081	20,70	-0,0552	1,00	0,086	13,55	10,285	13,33	-6,623	1,00	67,86
	5	0,985	2,85	0,129	4,18	0,0155	15,92	0,062	3,16	7,449	3,11	1,859	15,92	45,15
	6	0,959	18,89	0,2116	21,43	0,0149	15,80	0,077	9,66	9,254	9,61	1,783	15,79	91,18
	7	0,941	30,00	0,2526	30,00	0,0415	21,41	0,101	20,04	12,173	20,13	4,982	21,42	143,00
	8	0,984	3,47	0,1334	5,10	0,0204	16,96	0,066	4,90	7,902	4,75	2,444	16,95	52,11
	9	0,988	1,00	0,1138	1,00	0,0014	12,95	0,058	1,43	6,925	1,23	0,163	12,94	30,54
	10	0,984	3,47	0,1318	4,76	-0,0117	10,18	0,061	2,73	7,35	2,76	-1,398	10,19	34,09
PureLin	1	0,973	10,26	0,1715	13,06	0,0245	17,82	0,098	18,75	11,736	18,55	2,936	17,82	96,25
	2	0,973	10,26	0,1719	13,14	0,027	18,35	0,097	18,31	11,59	18,03	3,239	18,35	96,43
	3	0,973	10,26	0,1729	13,35	0,0254	18,01	0,098	18,75	11,747	18,59	3,054	18,02	96,98
	4	0,973	10,26	0,1718	13,12	0,0403	21,16	0,101	20,04	12,071	19,76	4,842	21,17	105,50
	5	0,973	10,26	0,1718	13,12	0,028	18,56	0,097	18,31	11,612	18,11	3,361	18,56	96,92
	6	0,972	10,87	0,176	14,00	0,0299	18,96	0,106	22,21	12,756	22,23	3,594	18,97	107,24
	7	0,97	12,11	0,1799	14,81	0,0822	30,00	0,112	24,81	13,462	24,77	9,862	30,00	136,49
	8	0,973	10,26	0,1715	13,06	0,0276	18,48	0,098	18,75	11,802	18,79	3,315	18,48	97,81
	9	0,973	10,26	0,1726	13,29	0,0496	23,12	0,102	20,48	12,268	20,47	5,954	23,13	110,73
	10	0,973	10,26	0,1722	13,20	0,0415	21,41	0,102	20,48	12,276	20,50	4,979	21,41	107,25
Tansig	1	0,972	10,87	0,1748	13,74	-0,0057	11,45	0,077	9,66	9,222	9,50	-0,689	11,44	66,66
	2	0,965	15,19	0,195	17,97	0,0693	27,28	0,124	30,00	14,915	30,00	8,319	27,29	147,72
	3	0,985	2,85	0,1263	3,61	-0,0067	11,24	0,057	1,00	6,865	1,01	-0,806	11,23	30,94
	4	0,968	13,34	0,1863	16,15	0,016	16,03	0,07	6,63	8,349	6,35	1,92	16,03	74,53
	5	0,987	1,62	0,121	2,50	-0,0046	11,68	0,057	1,00	6,862	1,00	-0,552	11,68	29,48
	6	0,972	10,87	0,1759	13,97	0,0175	16,34	0,09	15,28	10,778	15,10	2,099	16,34	87,92
	7	0,98	5,94	0,1466	7,85	-0,009	10,75	0,068	5,76	8,22	5,89	-1,075	10,76	46,95
	8	0,98	5,94	0,1476	8,06	-0,0086	10,84	0,069	6,19	8,241	5,97	-1,033	10,83	47,83
	9	0,983	4,09	0,1359	5,62	0,0138	15,56	0,066	4,90	7,886	4,69	1,658	15,57	50,42
	10	0,984	3,47	0,133	5,01	-0,0033	11,95	0,061	2,73	7,273	2,48	-0,398	11,95	37,60
Ort.		0,975		0,164		0,016		0,082		9,858		1,969		

Bu çalışmada, ağaç hacim tahminlerini en başarılı olarak veren tek girişli tahminler için; 9 nöron ve Log-sig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA yapısı ile çift girişli tahminler için de; 5 nöron ve Tan-sig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA yapılarına ilişkin denklem yapıları, MATLAB yazılımı ile tahmin edilen ağırlık değerleri (weight values) içerecek şekilde verilmiştir. Tek girişli hacim tahminlerine ilişkin YSA yapısında; ilk katmanda yöntem bölümünde formülü verilmiş olan Mapminmax dönüşüme tabi tutulmuş göğüs çapları (input) ile ağırlıklar (weights) çarpılarak elde edilen çarpım değerlerine, hatalar (bias) eklenerek (negatif değerde olması durumunda çıkartılarak) 1. Katman nöron değerleri elde edilmektedir.

$$1. \text{ nöron } (N1) = -26,2439 \cdot d_{normalize} + 24,1576 \quad (14)$$

$$2. \text{ nöron } (N2) = 25,3472 \cdot d_{normalize} - 15,5832 \quad (15)$$

$$3. \text{ nöron } (N3) = -24,5123 \cdot d_{normalize} + 22,5627 \quad (16)$$

$$4. \text{ nöron } (N4) = 10,6932 \cdot d_{normalize} - 19,6114 \quad (17)$$

$$5. \text{ nöron } (N5) = 11,3078 \cdot d_{normalize} - 1,2459 \quad (18)$$

$$6. \text{ nöron } (N6) = -19,2120 \cdot d_{normalize} - 6,4841 \quad (19)$$

$$7. \text{ nöron } (N7) = -23,7779 \cdot d_{normalize} - 14,3704 \quad (20)$$

$$8. \text{ nöron } (N8) = -24,2685 \cdot d_{normalize} - 18,8483 \quad (21)$$

$$9. \text{ nöron } (N9) = 24,1045 \cdot d_{normalize} + 26,3468 \quad (22)$$

Bu şekilde hesaplanan nöron değerleri ise, 1. katmana ilişkin log-sig fonksiyonu ile 2. katmana transfer edilir. Bu işleme ilişkin log-sig dönüşüm fonksiyonuna esas alan formüller aşağıda verilmiştir.

$$1. \text{transfer fonksiyonu } (TF1) = 1/[1 + \exp(-(N1))] \quad (23)$$

$$2. \text{transfer fonksiyonu } (TF2) = 1/[1 + \exp(-(N2))] \quad (24)$$

$$3. \text{transfer fonksiyonu } (TF3) = 1/[1 + \exp(-(N3))] \quad (25)$$

$$4. \text{transfer fonksiyonu } (TF4) = 1/[1 + \exp(-(N4))] \quad (26)$$

$$5. \text{transfer fonksiyonu } (TF5) = 1/[1 + \exp(-(N5))] \quad (27)$$

$$6. \text{transfer fonksiyonu } (TF6) = 1/[1 + \exp(-(N6))] \quad (28)$$

$$7. \text{transfer fonksiyonu } (TF7) = 1/[1 + \exp(-(N7))] \quad (29)$$

$$8. \text{transfer fonksiyonu } (TF8) = 1/[1 + \exp(-(N8))] \quad (30)$$

$$9. \text{transfer fonksiyonu } (TF9) = 1/[1 + \exp(-(N9))] \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam fonksiyonu}(\text{TopFonk}) = & -(2,4113 \cdot TF1) + (0,61648 \cdot TF2) - (0,10393 \cdot TF3) - \\ & (1,3891 \cdot TF4) + (0,64414 \cdot TF5) - (0,69611 \cdot TF6) - (0,56649 \cdot TF7) - (0,91675 \cdot TF8) + \\ & (0,29664 \cdot TF9) + 1,2387 \end{aligned} \quad (32)$$

En son aşamada, yukarıdaki toplam fonksiyonu kullanılarak hesaplanan değer, Tan-sig transfer formülü ile hacme ilişkin çıktı değerine (output) transfer edilir.

$$\text{Hacim}_{\text{normalize}} = [2/[1 + \exp(-2 \cdot \text{TopFonk})]] - 1 \quad (33)$$

En son aşamada hesaplanan bu hacim değeri normalize edilmiş değer olup, yöntem kısmında

$$1. \text{nöron } (N1) = -1,0023 \cdot d_{\text{normalize}} - 1,4924 \cdot h_{\text{normalize}} + 4,5796 \quad (34)$$

$$2. \text{nöron } (N2) = -3,7169 \cdot d_{\text{normalize}} - 0,52819 \cdot h_{\text{normalize}} + 3,7618 \quad (35)$$

$$3. \text{nöron } (N3) = 2,2278 \cdot d_{\text{normalize}} - 3,6417 \cdot h_{\text{normalize}} + 0,65882 \quad (36)$$

$$4. \text{nöron } (N4) = -3,9815 \cdot d_{\text{normalize}} - 1,8403 \cdot h_{\text{normalize}} + 0,19068 \quad (37)$$

$$5. \text{nöron } (N5) = -2,3441 \cdot d_{\text{normalize}} - 1,1703 \cdot h_{\text{normalize}} - 2,0756 \quad (38)$$

Çift girişli tahminlere ilişkin transfer fonksiyonları;

$$1. \text{transfer fonksiyonu } (TF1) = [2/[1 + \exp(-2 \cdot N1)]] - 1 \quad (39)$$

$$2. \text{transfer fonksiyonu } (TF2) = [2/[1 + \exp(-2 \cdot N2)]] - 1 \quad (40)$$

$$3. \text{transfer fonksiyonu } (TF3) = [2/[1 + \exp(-2 \cdot N3)]] - 1 \quad (41)$$

$$4. \text{transfer fonksiyonu } (TF4) = [2/[1 + \exp(-2 \cdot N4)]] - 1 \quad (42)$$

$$5. \text{transfer fonksiyonu } (TF5) = [2/[1 + \exp(-2 \cdot N5)]] - 1 \quad (43)$$

Toplam Fonksiyonu;

$$\begin{aligned} \text{Toplam fonksiyonu}(\text{TopFonk}) = & (0,91297 \cdot TF1) + (-2,9616 \cdot TF2) + (0,20533 \cdot TF3) + \\ & (-0,29626 \cdot TF4) + (-1,0794 \cdot TF5) + 0,14731 \end{aligned} \quad (44)$$

Çıktı değeri;

$$\text{Hacim}_{\text{normalize}} = [2/[1 + \exp(-2 \cdot \text{TopFonk})]] - 1 \quad (45)$$

Tek girili hacim tahminlerinde olduğu gibi, en son aşamada hesaplanan normalize hacim değerleri, denormalize edilerek tahmini hacim değerleri elde edilir.

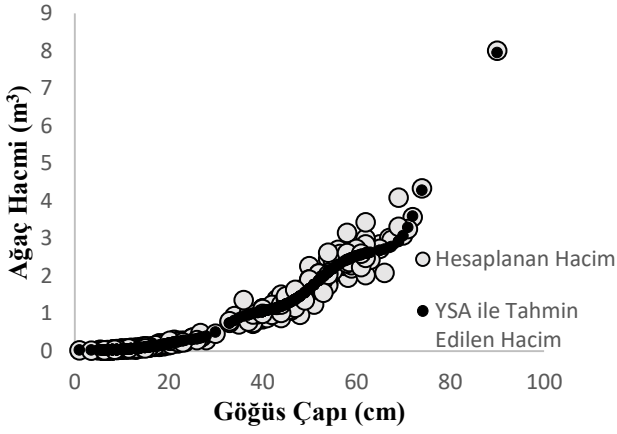
Tek ve çift girişli hacim tahminlerinde en başarılı olarak belirlenen YSA yapıları ile tahmin edilen hacim değerlerinin değişimi; Şekil 1 ve 2'de

YSA yapısına ilişkin 2. katmanda ise, transfer fonksiyonları ile elde edilen değerler ile 2. katmana ait ağırlıklar çarpılıp, bu değerlere hata değeri eklenecek toplam fonksiyonuna ilişkin toplam değeri hesaplanır.

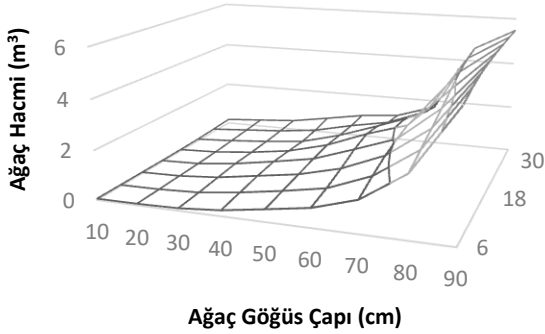
formülü verilmiş olan denormalize formülü ile tahmini hacim değerleri elde edilir.

Çift girişli hacim tahminlerine ilişkin 5 nöron ve Tang-sig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayimli YSA yapısına ilişkin formüller aşağıda verilmiştir. 1. Katmana ilişkin nöron değerleri;

verilmiştir. Bu şekiller değerlendirildiğinde; YSA ile tahmin edilen hacim değerleri, arazide ölçülen hacim değerleri ile de uyumlu olduğu görülmektedir. Bu bakımdan, YSA ile elde edilen hacim tahminlerinin, arazideki hacim değerlerini temsil edebilecek esnek bir yapıda olduğu görülebilmektedir.



Şekil 1. Arazide ölçülen hacim gelişimi ile 9 nöron ve Log-sig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA yapısı ile tahmin edilen tek girişli hacim gelişimi



Şekil 2. 5 nöron ve Tan-sig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA yapısı ile tahmin edilen çift girişli hacim gelişimi

4. Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada Tarsus yöresi Anadolu Karaçamı ağaçları için hacim tahminleri, Yapay Sinir Ağaları kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın ilk aşamasında, farklı dönüşüm fonksiyonları ile nöron sayılarını içeren çeşitli YSA yapılarının eğitimi (training); ağaçların göğüs çaplarını (tek girişli tahminler) ve göğüs çapları ile birlikte boylarını (çift girişli tahminler) girdi değişkeni (input variable) ve ağaçların hacimlerini de çıktı değişkeni (target, output variable) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Tek ve çift girişli tahminlerini elde etmek üzere çeşitli hesaplama algoritmalarına dayanan İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA (feed-forward backprop), Cascade Korelasyon Yapısını içeren YSA (Cascade-forward backprop) ile Elman'ın Geri Yayılımlı YSA (Elman backprop) içerecek şekilde üç farklı YSA tipi için farklı nöron sayıları (10 farklı nöron sayısı) ile dönüşüm fonksiyonları (Log-sig, Tan-sig ve Pure-lin) içeren çeşitli YSA yapıları eğitilmiş ve çeşitli hata ölçütlerine göre de bu yapıların tahmin başarıları karşılaştırılmıştır. Tek

girişli tahminlerde, 9 nöron ve Log-sig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayılımlı YSA ve çift girişli tahminlerde ise; 5 nöron ve Tan-sig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayılımlı YSA yapısı ile en başarılı tahminler elde edilmiştir.

En başarılı olarak belirlenen YSA ile tek girişli tahminlerde THY ve OMHY değerleri sırasıyla; -% 0,185 ve % 10,052, çift girişli tahminlerde ise; -% 0,552 ve % 6,862 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmadaki örnek ağaçları kullanarak Ercanlı (2014) tarafından daha önce regresyon analizi tekniği ile geliştirilen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri ile karşılaştırıldığında; çalışma kapsamında kullanılan YSA yapıları ile daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. YSA ile belirtme katsayısı; Ercanlı (2014)'e göre, tek girişli denklemlerde 0,918'den 0,976'e, çift girişli tahminlerde 0,981'den 0,987'e yükselmiş; OMHY ise; tek girişli tahminlerde % 14,771'den 10,052'e ve çift girişli tahminlerde ise % 8,104'den % 6,862'e düşmüştür. Bu bakımdan, YSA yapıları ile hacim tahminlerinde tek girişli YSA yapısı ile % 97,6'lık ve çift girişli YSA ile de % 98,7'lik bir hacim varyansında açıklayıcılık elde edilmiştir. OMHY değerleri olarak da, tek girişli tahminlerde %10 civarında elde edilmiş iken, çift girişli de ise; % 7'nin altında elde edilmiştir. Ayrıca bu tahminlerin çalışmaya konu meşcerelere uygunluğunun testinde, çalışmaya konu meşcerelere YSA'nın istatistiksel olarak uygun olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada öncelikle elde edilmeye çalışılan sonuç; YSA yapılarının hacim tahminlerinde kullanım durumlarının ortaya konulmasıdır. Bu çalışma ile elde edilen çeşitli tahmin sonuçlarına ilişkin ölçüt değerleri (R^2 , THY ve OMHY gibi) ile birlikte tahminlerin çalışma alanındaki ağaçlara istatistiki olarak uygunluğu ve grafiksel bulgular (Şekil 1 ve 2) değerlendirildiğinde; YSA'ların tek ağaç hacim tahminlerinde kullanılabileceği sonucuna varılabilir. Ayrıca YSA ile elde edilen esnek tahminler, klasik regresyon analizine göre daha başarılıdır. Ancak YSA'ların eğitiminde kullanılan verilerde, bazı veri aralıkları için yeterli örnekleminin yapılamaması ile beklenen büyüme kanuniyetlerinin sağlanamaması gibi istenmeyen durumlara neden olabilir. Örneğin, kalın çaplı ağaçların, kötü bonitetlerden örneklenmesi ile kısa boylu ağaçlardan oluşması sonucu; bu durum, verilerde çap arttıkça hacmin azalmasına neden olabilir. Böylece, YSA yapısı esnek tahmin başarısı ile verilerdeki bu değişme paralel olarak, özellikle tek girişli hacim tahminlerinin belirli bir çap değerinden sonra, çapa bağlı olarak azaldığı bir değişim gösterebilir. YSA yapıları ile elde edilen tahminler, büyük ölçüde ağın eğitiminde kullanılan

veri yapılarına bağımlı olup, yeterli ve dengeli örneklemenin yapılamaması ile büyüme kanuniyetlerinin sağlanmamasına neden olunabilmektedir.

Çalışmaya konu Anadolu Karaçamı ağaçlarına ilişkin hacim tahminlerinde, YSA yapıları kullanımı ile elde edilen tahmin başarılarındaki artışlar; YSA'nın doğrusal olmayan hacim gelişimini modellemedeki başarısı ile açıklanabilir. Regresyon modelleri geliştirilirken, temel bazı istatistiksel varsayımları (hata varyanslarının normal dağılması ve homojenliği, hatalar arasında bir korelasyonun olmaması, otokorelasyon, bağımsız değişkenler arasında bir korelasyonun olmaması gibi) sağlayıp sağlamadıkları denetlenirken, YSA'da ise böyle bir gereklilik yoktur. Çünkü regresyon modelleri; yansız ve hatasız tahminleri, bu istatistiksel varsayımların gerçekleşmesi ölçüsünde sağlayabilirken, YSA'larında elde edilen tahminler bu varsayımların gerçekleşmesine dayanmamaktadır. Bu bakımdan, YSA'lar; hacim tahminlerindeki başarıları yanında, istatistiksel varsayımlara bağımlı olmamaları gibi üstünlükleri vardır. Bu üstünlükleri yanında, YSA modellerinin uygulamadaki kullanılabilirliğini ve pratikliğini, YSA modellerinin tahmin başarılarını sağlayan ileri doğrusal olmayan (nonlinear) ve kompleks aşamalı yapıları sınırlamaktadır. Bununla birlikte, özellikle bilgisayar uygulamalarına YSA denklemlerin entegre edilmesi, kompleks YSA denklemlerinin uygulamalarına göre daha pratik çözümler sunabilecektir.

YSA'lara ilişkin çalışmalarda, tahmin sonuçlarına dayalı olarak değerlendirilmesi gereken önemli bir konu ise; farklı dönüşüm fonksiyonları ve nöron sayılarını içeren çeşitli YSA yapıları içinden başarıyla kullanılacak olan YSA yapısının belirlenmesidir. Çünkü ağaçlara ve meşcerelere ilişkin çeşitli tahminlerin, yapay zekanın bir uygulaması olan YSA ile elde edilmesi, yeni bir metot olarak karşımıza çıkmasına karşın; çok farklı YSA yapılarından hangilerinin tahminlerin elde edilmesinde başarılı olduğunun belirlenmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç vardır. Çalışmamızda, tek ağaçların hacim tahminlerinde log-sig dönüşüm fonksiyonu içeren İleri Beslemeli-Geri Yayımlı YSA yapısı, diğer YSA yapılarından öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, farklı YSA yapılarının tahmin başarıları ortaya konularak, en başarılı tahminlere imkan sağlayan YSA yapılarının belirlenmesinde yönelik çalışmalara önem verilmelidir. Diğer bir önem verilmesi gereken konu da YSA yapılarının tahminlerinin, ağaçların büyüme trendlerine ilişkin büyüme kanuniyetlerine olan uygunluklarının değerlendirilmesi gerektiğidir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin elde edilmesine imkan tanıyan ve çalışmayı hızlı destek projesi kapsamında TOVAG-1130729'nolu proje olarak destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederiz. Ayrıca, bu projenin yürütülebilmesi için gerekli izni veren Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Dış İlişkiler, Eğitim Araştırma Daire Başkanlığı'na da teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Ashraf, M. I., Zhao, Z., Bourque, A., MacLean, D.A., Meng, F. 2013. Integrating biophysical controls in forest growth and yield predictions generated with artificial intelligence technology, *Canadian Journal of Forest Research*, 43, 1162–1171.
- Atkinson, P. M., Tatnall, A. R. 1997. Introduction: neural networks in remote sensing, *Int. J. Remote Sens.* 18(4): 699–709.
- Bolat, F. 2015. Predictions for Oriental beech tree heights based on artificial neural network in Kestel forests, *The 10th International Beech Symposium*, 1-6 September, 2015, Kastamonu, Safranbolu, TURKEY
- Diamantopoulou, M. J., Özçelik, R. 2012. Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in Mediterranean Region of Turkey, *Forest Systems*, 21, 3, 383-397.
- Diamantopoulou, M. J., Özçelik, R., Crecente-Campo, F., Eler, Ü. 2015. Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods, *Biosystem engineering*, 133, 33-45.
- Elmas, Ç. 2003. *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 22-37.
- Ercanlı, İ., Keleş, S., Şenyurt, M., Günlü, A., Bolat, F., Kurt, K. A. 2014. Tarsus Orman işletme Müdürlüğü Sınırları içerisinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı Meşcereleri için Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme Yaklaşımı İle Geliştirilmesi, TÜBİTAK Hızlı Destek Projeler Programı, proje no: TOVAG-1130729.
- Ercanlı, İ., Kahrıman, A., Bolat, F. 2015. Applications of artificial neural network for predicting the relationships between height and age for oriental beech, *The 10th International Beech Symposium*, 1-6 September, 2015, Kastamonu, Safranbolu / TURKEY
- Ercanlı, İ., Günlü, A., Şenyurt, M., Bolat, F., Kahrıman, A. 2016. Artificial neural network for predicting stand carbon stock from remote sensing data for even-aged scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the Taşköprü-Şiflik forests, *1st International Symposium of Forest Engineering and Technologies (FETEC 2016): Forest Harvesting and Roding in Environmentally Sensitive Areas*, 02-04 June 2016, 2016, Bursa, Turkey

- Esteban, L.G., Fernandez, F.G., de Palacios, P. 2009. "MOE Prediction in *Abies pinsapo* boiss. Timber: application of an artificial neural network using non-destructive testing" *Computers and Structures*, 87, 1360–1365.
- Fırat, F. 1973. Dendrometri. IV. Baskı, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No: 1800, Orman Yayın No: 193, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Fırat, M. 2002. Doğrusal ve Kıvrımlı Akarsulara Yerleştirilen Köprü Ayakları Etrafında Meydana Gelen Oyulma Derinliğinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125 s.
- Fırat, M., Güngör, M. 2004. Askı Maddesi Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, İMO Teknik Dergi, 15, 3, 3267- 3282.
- Kalıpsız, A. 1999. Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No:3194/354, İstanbul.
- Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A. U. Mısıır, N. 2002. Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları. Tübitak TAGTOG TARP-2229 No'lu Proje, 118 s.
- Kurup P. U., Dudani, N. K. 2002. Neural Networks for Profiling Stress History of Clays from PCPT Data. *Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, 128, 7, 569-580.
- Nasr, G. E., Badr, E. A., Joun, C. 2003. Backpropagation neural networks for modeling gasoline consumption. *Energy Conversion and Management*, 44 (6), 893-905.
- Orhunbilge, N. 2002. Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, İ.Ü. İşletme Fakültesi Yayınları, II. Baskı İstanbul
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M.J., Wiant, H. V., Brooks, J. R. 2010. Estimating tree bole volume using artificial neural network models for four species in Turkey, *Journal of Environmental Management*, 91, 3, 742–753.
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Crecente-Campo-F., Eler, Ü. 2013. Estimating Crimean juniper tree height using nonlinear regression and artificial neural network models. *Forest Ecology and Management*, 306, 52-60
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Brooks, J. R. 2014. The use of tree crown variables in over-bark diameter and volume prediction models. *iForest-Journal of Biogeosciences and Forestry*, 7:132-139.
- Özdemir, G. 2018. Karabük Yöresi Kayın-Gökmar Karışık Meşcerelerinde Gövde Çaplarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 101 s.
- Poudel, K. P., Cao, Q.V. 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59 (2): 243-252
- Şentürk, N. 1997. Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Wahl. subsp. *oxycarpa* (Bieb. ExWilld.) Franco&RochaAfonso) gövde hacim ve ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Yüksek lisans tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şenyurt, M., Ercanlı, İ., Yavuz, H., Kahriman, A., Predicting stand yield parameters based on artificial neural network for oriental beech in kestel forests, Bursa, The 10th International Beech Symposium, 1-6 September, 2015, Kastamonu, Safranbolu / TURKEY
- Topçu, İ.B., Sarıdemir, M. 2008. Prediction of Compressive Strength of Concrete Containing Fly Ash Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic. *Computational Materials Science*, 41, 305–311.
- Yavuz, H. 1995. Uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. KTÜ Orman Fakültesi Bahar yarıyılı seminerleri, Fakülte Yayın No:49, 101-106.
- Yavuz, H. 1999. Taşköprü Yöresinde Karaçam İçin Hacim Fonksiyonları ve Hacim Tabloları, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 1181-118.
- Yavuz, H., Sakıcı, O. E. 2002. "Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi", Orman Amenajmanı'nda kavramsal açılımlar ve yeni hedefler sempozyumu, İstanbul, 233-241.