T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARABÜK YÖRESİ KAYIN-GÖKNAR KARIŞIK MEŞCERELERİNDE GÖVDE ÇAPLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİN EDİLMESİ

Gülay ÖZDEMİR

Danışman	**Dr. Öğr. Ü. Oytun Emre SAKICI**
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. İlker ERCANLI**
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Ü. Abdulkadir KARACI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2018

TEZ ONAYI

Gülay ÖZDEMİR tarafından hazırlanan "**Karabük Yöresi Kayın-Göknar Karışık Meşcerelerinde Gövde Çaplarının Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Ü. Oytun Emre SAKICI Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. İlker ERCANLI Çankırı Karatekin Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Ü. Abdulkadir KARACI Kastamonu Üniversitesi	.....

16/03/2018

Enstitü Müdür V. Doç. Dr. Mehmet Altan KURNAZ .....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.



Gülay ÖZDEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARABÜK YÖRESİ KAYIN-GÖKNAR KARIŞIK MEŞCERELERİNDE GÖVDE ÇAPLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİN EDİLMESİ

Gülay ÖZDEMİR
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Ü. Oytun Emre SAKICI

Bu çalışmada, Karabük yöresi Doğu kayını – Kazdağı göknarı karışık meşcerelerinde bulunan Doğu kayını ve Kazdağı göknarı ağaçlarının gövde çaplarının tahmininde kullanılmak üzere yapay sinir ağı modellerinin geliştirilmesi ve geliştirilen modellerin gövde çapı denklemleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Araştırma materyali olarak Büyükdüz Orman İşletme Şefliği'nde bulunan karışık meşcerelerden alınan 238 adet Doğu kayını ve 278 adet Kazdağı göknarı olmak üzere toplam 516 adet örnek ağaç üzerinde yapılan ölçümlerle elde edilen göğüs çapı, dip kütük çapı, ağaç boyu ve 2,30 m'den başlamak üzere 1'er m ara ile ağacın uç kısmına kadar olan gövde çapı verileri kullanılmıştır.

Yapay sinir ağı modellerinin ara ve çıktı katmanlarında kullanılan aktivasyon fonksiyonları (hiperbolik tanjant fonksiyonu, sigmoid fonksiyonu veya doğrusal fonksiyon) ve ara katmanda yer alan nöron sayılarına (2, 4, 6, 8 veya 10) bağlı olarak toplam 45 adet yapay sinir ağı modeli ile bu modellerle karşılaştırılmak üzere 4 farklı gövde çapı denklemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yapay sinir ağı modelleri ve gövde çapı denklemlerinin her iki ağaç türü için gövde çapı tahmin başarıları 7 adet istatistiksel ölçüte göre belirlenen rölatif sıralamalarına göre karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda gövde çapı tahminlerinde her iki ağaç türünde de yapay sinir ağı modellerinin gövde çapı denklemlerinden daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen yapay sinir ağı modelleri arasında en başarılı bulunan modeller, Doğu kayını için ara katmanda sigmoid fonksiyonunun ve çıktı katmanında hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı 10 nöronlu model ve Kazdağı göknarı için ise ara katmanda sigmoid fonksiyonunun ve çıktı katmanında doğrusal fonksiyonun kullanıldığı 10 nöronlu model olmuştur. Gövde çapı denklemlerinden ise her iki ağaç türü için de Kozak (2004) tarafından geliştirilen denklem en başarılı gövde çapı tahminlerini vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gövde çapı modeli, yapay sinir ağları, kayın, göknar, karışık meşcere

2018, 101 sayfa
Bilim Kodu: 1205

ABSTRACT

MSc. Thesis

PREDICTING STEM TAPERS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN MIXED BEECH-FIR STANDS IN KARABÜK

Gülay ÖZDEMİR
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Oytun Emre SAKICI

Development of artificial neural network models to estimate stem taper of Oriental beech and Kazdağı fir growing in mixed stands distributed in Karabük Region and comparison of the developed models and stem taper functions are objectives of this study.

Measurements obtained from 516 sample trees (238 beech and 278 fir) growing in mixed stands within the boundaries of Büyükdüz Forest Enterprise were used as a study material. These measurements include tree height, diameter at stump height, diameter at breast height, and diameters at intervals of 1 m along the stem.

Totally 45 artificial neural network model structures with combination of transfer functions (hyperbolic tangent transfer function, sigmoid transfer function or linear transfer function) used in hidden and output layers and the number of neurons (2, 4, 6, 8 or 10) used in hidden layer, and 4 different stem taper functions were developed in the study. The comparison of estimation performances of artificial neural network models and stem taper functions were executed by using relative rankings according to seven goodness-of fit criteria.

As a result of comparisons made, it's detected that artificial neural network models are more successful in estimation of stem taper for both tree species. The most successful artificial neural network model structures are (*i*) the model using sigmoid transfer function in hidden layer with 10 neurons, hyperbolic tangent transfer function in output layer for Oriental beech and (*ii*) the model using sigmoid transfer function in hidden layer with 10 neurons, linear transfer function in output layer for Kazdağı fir. Besides, the equation developed by Kozak (2004) had the most successful estimations of stem tapers among the stem taper equations.

Key Words: Stem taper model, artificial neural network, beech, fir, mixed stand

2018, 101 pages
Science Code: 1205

TEŞEKKÜR

"Karabük Yöresi Kayın-Göknar Karışık Meşcerelerinde Gövde Çaplarının Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi" adlı bu çalışma Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle konu seçiminden çalışmanın son aşamasına kadar, ilgili ve yol gösterici tutumuyla çalışmalarımı destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Ü. Oytun Emre SAKICI'ya şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın sonuçlandırılmasına ve değerlendirilmesine değerli katkılar sağlayan hocalarım Sayın Doç. Dr. İlker ERCANLI ve Sayın Dr. Öğr. Ü. Abdulkadir KARACI'ya ve çalışmaya ilişkin analizlerin yapılmasına katkıda bulunan değerli hocalarım Arş. Gör. Mehmet SEKİ ve Arş. Gör. Fadime SAĞLAM'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince manevi destekleri ile sürekli yanımda olan eşim ve aileme şükranlarımı sunarım. Arazi çalışmalarında her türlü kolaylığı ve desteği sağlayan Büyükdüz Orman İşletme Şefi Cemal BOZKURT ve personeline teşekkürü borç bilirim.

Gülay ÖZDEMİR
Kastamonu, Mart, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLOLAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Gövde Çapı Tahminleri	7
1.2.1. Gövde Çapı Denklemleri	7
1.2.2. Yapay Sinir Ağları	9
1.3. Ağaç Türlerine İlişkin Genel Bilgiler	15
1.3.1. Doğu Kayını	15
1.3.2. Kazdağı Göknarı	17
2. LİTERATÜR ÖZETİ	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1. Materyal	35
3.2. Yöntem	40
3.2.1. Gövde Çapı Tahminlerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi	40
3.2.2. Gövde Çapı Tahminlerinin Gövde Çapı Denklemleri ile Modellenmesi	47
3.2.2. Modellerin Karşılaştırılması ve Test Edilmesi	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
4.1. Yapay Sinir Ağı Modellerine İlişkin Bulgular ve Tartışma	55
4.2. Gövde Çapı Denklemlerine İlişkin Bulgular ve Tartışma	71
4.3. Modellerin Testine ve Karşılaştırılmasına İlişkin Bulgular ve Tartışma	76
5. SONUÇLAR	80
6. ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	102

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

YSA	Yapay sinir ağı
D	Göğüs çapı
H	Ağaç boyu
d	Gövde çapı
h	Gövde yüksekliği
Kn	Kayın
G	Göknar
HT	Hiperbolik tanjant fonksiyonu
S	Sigmoid fonksiyonu
L	Doğrusal fonksiyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yapay sinir hücresinin yapısı 11
Şekil 1.2. Yapay sinir ağının katmanları ve birbirleri ile ilişkisi 11
Şekil 1.3. Kayın türlerinin Türkiye'deki yayılış alanları 17
Şekil 1.4. Göknar türlerinin Türkiye'deki yayılış alanları 19
Şekil 3.1. Çalışma alanı 36
Şekil 3.2. YSA model tasarım şeması 44
Şekil 3.3. YSA model yapılarının MATLAB programında görünümü 45
Şekil 4.1. Kn-S-L-10 modeline ilişkin hata dağılımı 67
Şekil 4.2. Kn-S-HT-10 modeline ilişkin hata dağılımı 67
Şekil 4.3. Kn-HT-HT-10 modeline ilişkin hata dağılımı 68
Şekil 4.4. Kn-HT-L-10 modeline ilişkin hata dağılımı 68
Şekil 4.5. G-S-L-10 modeline ilişkin hata dağılımı 68
Şekil 4.6. G-S-HT-10 modeline ilişkin hata dağılımı 69
Şekil 4.7. G-HT-HT-6 modeline ilişkin hata dağılımı 69
Şekil 4.8. G-HT-L-6 modeline ilişkin hata dağılımı 69
Şekil 4.9. Max ve Burkhart (1976) denklemi için hata dağılımı (Kayın) 74
Şekil 4.10. Fang vd. (2000) denklemi için hata dağılımı (Kayın) 74
Şekil 4.11. Bi (2000) denklemi için hata dağılımı (Kayın) 74
Şekil 4.12. Kozak (2004) denklemi için hata dağılımı (Kayın) 75
Şekil 4.13. Max ve Burkhart (1976) denklemi için hata dağılımı (Göknar) 75
Şekil 4.14. Fang vd. (2000) denklemi için hata dağılımı (Göknar) 75
Şekil 4.15. Bi (2000) denklemi için hata dağılımı (Göknar) 76
Şekil 4.16. Kozak (2004) denklemi için hata dağılımı (Göknar) 76

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Örnek ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler	37
Tablo 3.2. Kayın örnek ağaçlarının çap ve boy basamaklarına dağılımı	38
Tablo 3.3. Göknar örnek ağaçlarının çap ve boy basamaklarına dağılımı	39
Tablo 4.1. YSA modellerine ilişkin istatistiksel ölçütler (Kayın)	56
Tablo 4.2. YSA modellerine ilişkin istatistiksel ölçütler (Göknar)	57
Tablo 4.3. YSA modellerine ilişkin rölatif sıralama (Kayın)	59
Tablo 4.4. YSA modellerine ilişkin rölatif sıralama (Göknar)	60
Tablo 4.5. YSA modellerine ilişkin 2. rölatif sıralama (Kayın)	62
Tablo 4.6. YSA modellerine ilişkin 2. rölatif sıralama (Göknar)	63
Tablo 4.7. YSA modellerine ilişkin 3. rölatif sıralama (Kayın)	64
Tablo 4.8. YSA modellerine ilişkin 3. rölatif sıralama (Göknar)	65
Tablo 4.9. Gövde çapı denklemlerine ilişkin parametre tahminleri	71
Tablo 4.10. Gövde çapı denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçütler	73
Tablo 4.11. Gövde çapı denklemlerine ilişkin rölatif sıralamalar	73
Tablo 4.12. YSA modellerine ilişkin Eşlendirilmiş t Testi sonuçları	77
Tablo 4.13. Gövde çapı denklemlerine ilişkin Eşlendirilmiş t Testi sonuçları	78
Tablo 4.14. En başarılı modellere ilişkin istatistiksel ölçütler	79
Tablo 4.15. En başarılı modellere ilişkin rölatif sıralamalar	79

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Çok eski yıllardan günümüze kadar ormanlar insan yaşamının önemli bir parçası olmuştur. İnsanoğlunun nüfus artışına paralel olarak yerleşim yeri bulma ihtiyacı ortaya çıkmış ve bu nedenle ilk yerleşimler yaşam koşullarının daha elverişli olduğu ılıman kesimlerde, orman içi ve orman kenarı yerlere yönelik olmuştur. İnsanlar varoluşlarından bu yana ormanlardan yararlanmış ve barınma, beslenme, ısınma vb. zorunlu ihtiyaçlarının birçoğunu ormanlardan karşılamışlardır. Jeolojik devirlerden sonra ormanların alansal büyüklüklerinde çok fazla artış olmamış, buna karşılık bilinçsiz ve aşırı kullanım, yangınlar, böcek zararı, doğal dengenin bozulmaya başlaması vb. sebepler ile birlikte orman kaynakları azalmaya yüz tutmuştur (Eler, 2013).

İnsanoğlunun talepleri, nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte artan bir ivme kazanmaktadır. Bu talepler ile orman kaynaklarının mevcut durumu arasındaki denge dikkate alındığında, ormanlardan optimal ve sürdürülebilir bir faydalanma sağlanabilmesi amacıyla orman alanlarının planlanarak bu planlar çerçevesinde kullanılması elzem olmaktadır. Ormanların odun üretimi ile birlikte sağladığı diğer birçok fonksiyondan yararlanma esnasında, gerek orman ekosistemlerinin sürekliliği gerekse gelecek neslin orman kaynaklarına olan gereksinimleri göz önüne alınarak ortaya konulacak tüm planlar ve uygulanacak tüm müdahaleler dikkatle ele alınmalıdır (Yavuz ve Sakıcı, 2002).

Ormanların planlanmasına ilişkin verilerin elde edilebilmesi için bazı temel altlıklara ihtiyaç vardır. Bunlar; planlamaya konu ormanlara ilişkin alansal bilgiler ile ağaç serveti, yetişme ortamı ve odun dışı orman ürünleri ile ilgili sayısal bilgilerdir. Bahsedilen sayısal bilgilerin ortaya konularak planlama için temel girdilerin elde edilmesine ormanların aktüel durumunun belirlenmesi veya kısaca orman envanteri adı verilmektedir (Eraslan ve Kalıpsız, 1967). Orman envanteri, ormancılıktaki bütün planlama işlemlerinin temelini oluşturmaktadır. Planlamanın temelini oluşturan orman envanterine ilişkin bilgiler ne kadar doğru ve güvenilir olursa, düzenlenecek

plan ile bu plana bağlı olarak yürütülecek tüm işletme faaliyetleri de o kadar doğru ve güvenilir olacaktır (Fırat, 1973; Eler, 1977).

Ormanlardan optimal ve sürekli bir faydalanmayı sağlamak amacıyla düzenlenen amenajman planlarının hazırlanmasında, orman envanteri ile meşcerelerin aktüel durumu ve meşcere dinamikleri ile ilgili çok sayıda verinin toplanarak bir araya getirilmesi gerekmektedir. Meşcere dinamiğinin önemli bileşenlerinden olan meşcere hacmi ile meşcereden üretim yoluyla elde edilecek odun çeşitleri ve odun miktarlarının bilinmesi, planlamanın temelini oluşturan orman envanterinin en önemli unsurlarından biridir. Bu sebeple dikili gövde hacminin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmini, hem pratik ormancılık çalışmaları hem de bilimsel araştırmalar açısından orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için önemli bir yere sahiptir (Barrio-Anta vd., 2007).

En önemli doğal kaynaklardan biri olan ormanlarda, işletme sermayesinin en büyük bölümünü ağaç serveti oluşturmaktadır (Yavuz, 1995). Bu nedenle ormandan sağlanan fayda ve fonksiyonların sürekliliğini sağlamak için ağaç serveti miktarını optimal kuruluşa ulaştırmak ve ormandan faydalanmayı planlamak ormancılık faaliyetlerinin temel amacını oluşturmaktadır (Eraslan, 1963). Ormanların işletilebilmesi için gerekli planların düzenlenmesi sırasında, ormandaki mevcut ağaç servetinin gerek toplam hacim ve gerekse odun çeşitlerine göre hacim değerleri şeklinde güvenilir bir biçimde saptanması gerekir (Yavuz, 1995).

Ormancılıkta, talepler doğrultusunda değişen ticari standartlara bağlı olarak elde edilecek ürünlerin nitelik ve boyutlarının, ağaçlar kesilmeden de ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmuş ve ağaçların gövde hacmi yanında ticari standartlara uygun odun çeşitlerine ilişkin hacimlerin de tahmin edilmesi için çözümler aranmıştır. Ağaçlardan tomruk, sanayi odunu ve direk gibi odun çeşitleri elde edilmekte olup bu ürünler gerek boyutları ve nitelikleri, gerekse birim fiyatları bakımından oldukça farklılık göstermektedir. Bu sebeple toplam gövde hacmine ek olarak, gövdeden elde edilebilecek odun çeşitlerinin de hacminin bilinmesi önemli olmaktadır. Bu amaca yönelik ilk çalışmalar hacim oran denklemleridir. Bu denklemler yardımıyla gövdenin yerden herhangi bir yüksekliğe kadar olan bölümünün hacminin gövdenin

toplam hacmine oranı hesaplanmaktadır. Ancak bu denklemler, gövdenin yerden herhangi bir yükseklikteki çap değerini doğrudan vermediklerinden gövdeden elde edilebilecek odun çeşitlerinin boyutlarının belirlenmesinde bir araç olarak kullanılamamaktadır (Sakıcı, 2002).

Yukarıda da belirtildiği üzere, ağaç hacim denklemleri bir gövdenin tamamına ilişkin hacmi, hacim oran denklemleri ise yerden belirlenen bir yüksekliğe kadar olan gövde bölümünün hacmini tahmin etmek amacıyla kullanılabilmektedir. Fakat bu denklemler kullanılarak ağaçlardan elde edilecek odun çeşitlerinin ne çap ve boylarını ne de hacimlerini tahmin etmek mümkün olamamaktadır. "Gövde Çapı Denklemleri (Stem Taper Equations)" ya da "Gövde Profili Modelleri (Stem Profile Models)" olarak isimlendirilen denklemler, ağaç hacim denklemleri ile hacim oran denklemlerinin yetersiz kaldığı bu amaçları gerçekleştirmek için geliştirilmektedir (Sakıcı, 2002).

Bir ağaçtan elde edilebilecek odun çeşitlerinin hacminin başarılı bir şekilde tahmin edilmesi için gerekli temel değişken olan gövde çaplarının tahmininde en yaygın yaklaşım gövde çapı denklemlerinin kullanılmasıdır (Jiang vd., 2005). Gövde çapı denklemlerinin ormancılık uygulamaları ve ormancılık bilimine sağlamış olduğu önemli katkılardan birisi de farklı yetişme ortamlarından elde edilebilecek ürün miktarı ile farklı planlama seçeneklerinin uygulanması sonucu elde edilecek ürün çeşitlerinin ve miktarlarının tahminine olanak sağlamasıdır. Bu denklemler artım ve büyüme modellerine entegre edilerek çeşitli koşullardaki meşcerelerin mevcut ve gelecekteki artım ve büyüme miktarlarının tahminine de imkan verirler (de-Miguel vd., 2012). Bir ağacın hacminin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilme başarısı, bu ağaca ilişkin gövde çaplarının tahminleri ile paralellik göstermektedir. Öyle ki, gövdenin farklı noktalarına ilişkin çap değerleri ne kadar doğru tahmin edilirse gövdenin tamamı veya herhangi bir bölümüne ilişkin hacim değeri de o kadar doğru tahmin edilebilmektedir. Bu olumlu katkılarından dolayı gövde çapı denklemleri, ormancılık ile ilgili gerek pratik uygulamalar ve gerekse bilimsel araştırmalar açısından öne çıkmaktadır.

Ağaç gövdeleri silindir, paraboloid, koni ve nayloid gibi geometrik şekillere tam olarak benzemediğinden gövde çaplarının toprak seviyesinden tepeye doğru düşüş biçimini belirlemek ve ağaçlar arasındaki gövde şekli farklılıklarını ortaya koymak yüz yılı aşkın bir süredir ormancılığın önemli araştırma konularından olmuştur (Fırat, 1973; Loetsch vd., 1973; Kalıpsız 1984; Fang ve Bailey, 1999; Yavuz, 1999; Yavuz ve Sakıcı, 2002).

Türkiye'de hemen hemen tüm ağaç türleri için yöresel, bölgesel ve ulusal bazda grafiksel ya da istatistiksel yönteme dayalı olarak ağaç hacim tabloları düzenlenmiştir (Eraslan, 1954; Miraboğlu, 1955; Gülen, 1959; Alemdağ, 1962; Kalıpsız, 1962; Evcimen, 1963 Alemdağ, 1967; Akalp, 1978; Sun vd., 1978; Asan, 1984; Saraçoğlu, 1991; Yavuz, 1995; Çalışkan ve Yeşil, 1996; Bozkuş ve Carus, 1997; Yavuz, 1999; Özkurt, 2000; Sakıcı ve Yavuz, 2003; Mısır ve Mısır, 2004; Ercanlı vd., 2008; Özçelik, 2010; Baynazoğlu, 2014; Carus ve Su, 2014; Carus vd., 2016; Özçelik ve Çevlik, 2017; Kahriman vd., 2017). Bazı ağaç türleri için ise (kızılçam, karaçam, sarıçam, göknar, kayın, Doğu ladini, sedir) göğüs çapının bir fonksiyonu olarak ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitleri ve bunların gövde hacmi içerisindeki oranlarını ortalama olarak veren hacim oran denklemleri geliştirilmiş ve hacim oran tabloları düzenlenmiştir (Sun vd., 1978). Ülkemizde farklı ağaç türleri ve yöreler için ise gövde çapı denklemleri düzenlenmiş olup (Yavuz, 1995; Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Sakıcı, 2002; Meydan Aktürk, 2006; Sakıcı vd., 2008; Özçelik vd., 2011; Özçelik ve Alkan, 2011; Özçelik ve Brooks, 2012; Özçelik vd., 2012; Özçelik ve Bal, 2013; Atalay, 2014; Ercanlı vd., 2014; Özçelik vd., 2014a; Ercanlı vd., 2015a; Özçelik ve Göçeri, 2015; Özçelik ve Yaşar, 2015; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016; Özçelik vd., 2016; Özçelik ve Karaer, 2016; Ercanlı ve Şenyurt, 2017; Özçelik ve Cao, 2017; Özçelik ve Dirican, 2017; Özçelik vd., 2017), halen bazı ağaç türleri ve birçok yöre için çalışma bulunmamaktadır. Gövde çapı denklemleri ile gövdenin tamamının hacmi ile standartları ne olursa olsun gövdeden elde edilebilecek odun çeşitlerine ilişkin çap, boy ve hacim değerlerinin doğrudan hesaplanabilmesine olanak sağlandığı için gövde çapı modellerinin tüm asli ağaç türlerimiz için oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

Ağaçlara ilişkin toplam gövde hacmi ve ticari hacim tahminlerinde kullanılan en güvenilir yöntemlerden birinin gövde çapı modelleri olduğu ifade edilmektedir (Fang vd., 2000; Rojo vd., 2005; Diéguez-Aranda vd., 2006; Li ve Weiskittel 2010; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016; Özçelik vd., 2017). Newnham (1988), gövde çapı tahminlerinin modellenmesi ile ilgili araştırmaların yüz yılı aşkın süredir halen sürdürülüyor olmasının iki önemli nedeni olduğunu belirtmiş ve bu nedenlerden birincisini ağaçların gövde formundaki değişimi açıklamaya yetecek temel bir teorinin bulunmaması ve ikincisini de sürekli değişen pazar koşullarına bağlı olarak odun kökenli farklı ürün çeşidi standartlarını dikkate alan bir yöntemin mevcut olmaması şeklinde açıklamıştır.

Gövde çapını tahmin eden modellerin geliştirilmesi amacıyla genel olarak regresyon denklemleri kullanılmakta ve çeşitli istatistiksel başarı ölçütlerine göre değerlendirmeler yapılarak aralarında tahmin başarıları bakımından öne çıkan denklemler belirlenmektedir. Ancak, regresyon denklemlerinin başarılı kabul edilebilmeleri için belirli varsayımları da sağlamaları gerekmektedir. Ashraf vd. (2013) sözü edilen istatistiksel varsayımları; (*i*) verilerin normal dağılım göstermesi ve varyanslarının homojenliği, (*ii*) bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin açıklanabilir olması ve (*iii*) değişkenlere ilişkin ölçümlerin hatasız olması şeklinde sıralamaktadır. Bunun yanında, regresyon modellerinde kullanılacak değişkenler arasında görülebilecek çoklu bağlantı (multicollinearity) ve bu değişkenlere ilişkin veriler arasında ortaya çıkabilecek otokorelasyon problemleri de regresyon denklemlerinin tahmin başarıları üzerinde oldukça etkilidir (Legendre, 1993; Sakıcı vd., 2008).

YSA, insan beyninin mimarisini esas alan bir modelleme ve tahminleme yöntemi olup, ilk YSA modeli 1943'te geliştirilmiş ve 1980'li yıllardan itibaren tahmin çalışmalarında önemli yer bulmaya başlamıştır (Elmas, 2007). Ormancılık araştırmalarında olduğu gibi çeşitli biyolojik verilere dayalı olarak geliştirilen regresyon modellerinin yukarıdaki varsayımların bazılarını yerine getiremediği ve çoğu zaman çoklu bağlantı ve otokorelasyon problemi içerdiği bilinmektedir. Son yıllarda, sözü edilen bu varsayımların sağlanması konusunda önemli ölçüde esnekliğe sahip olan ve karmaşık ilişkilerin modellenmesinde başarılı tahmin

sonuçları verebilen YSA modellerinin ormancılık araştırmalarında da kullanımı öne çıkmıştır. Modellemede yeni bir yaklaşım olarak ortaya çıkan YSA, çeşitli mühendislik alanlarında yapılan birçok çalışmada yaygın kullanım alanı bulmuş olmasına karşın ormancılık alanında henüz yeni bir yaklaşım durumundadır.

Yukarıda açıklanan nedenlerle regresyon yöntemine üstünlük sağlama potansiyeli bulunan YSA yaklaşımının ormancılık alanındaki modelleme çalışmalarında kullanım olanaklarının araştırılması büyük öneme sahiptir. Gövde çapı tahminlerinin modellenmesi sözü edilen modelleme çalışmaları arasında önemli bir yere sahiptir. Gövde çapı tahminlerine yönelik ilk çalışmalardan bu yana söz konusu modelleme çalışmalarında regresyon yaklaşımı oldukça geniş bir kullanıma sahiptir. Son yıllarda ormancılık araştırmalarında geniş kullanım alanı bulan (Guan vd., 1997; Liao vd., 1998; Blackard ve Dean, 1999; Jensen vd., 1999; Zhang vd., 2000; Hasenauer vd., 2001; Leduc vd., 2001; Liu vd., 2003; Corne vd., 2004; Diamantopoulou, 2005a; Diamantopoulou vd., 2005; Diamantopoulou, 2006; Castellanos vd., 2007; Diamantopoulou vd., 2009; Diamantopoulou ve Milios, 2010; Diamantopoulou ve Özçelik, 2012; Ashraf vd., 2013; Castro vd., 2013; Özçelik vd., 2013; Yurtseven vd., 2013; Zhang vd., 2013; Ashraf vd., 2015; Bhering vd., 2015; Diamantopoulou vd., 2015; Vahedi, 2016) YSA yaklaşımının gövde çaplarının tahmininde kullanımı ile ilgili çalışmalar ise oldukça sınırlı sayıdadır (Diamantopoulou, 2005b; Diamantopoulou, 2010; Özçelik vd., 2010; Leite vd., 2011; Özçelik vd., 2014b; Nunes ve Görgens, 2016). Bu çalışmaların sayısının artırılması ormancılık bilimine önemli katkılar sağlayacaktır.

Yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda, karışık meşcerelerin ekosistemdeki çeşitliliği, ekolojik-biyolojik katkıları, estetik açıdan değeri, biyotik ve abiyotik zararlılara dayanıklılığı ve kullandıkları ortamda meydana gelebilecek zararların bireylere bölüşümündeki yararlılığı gibi yönleriyle saf meşcerelere üstünlük sağladığı ortaya konulmuştur (Kapucu, 1988; Griess ve Knoke, 2011; Bielak vd., 2014; Pretzsch ve Schütze, 2014; Sterba vd., 2014). Tüm dünyada, önceleri çeşitli sebeplerle saf meşcerelere dönüştürülen ormanlar, karışık meşcerelerin yukarıda sayılan olumlu katkılarından dolayı yeniden karışık meşcerelere dönüştürülmeye başlanmıştır. Yapısal olarak çok fazla değişkenlik gösteren karışık meşcerelerin etkin bir şekilde

planlanarak uygun işletme seçeneklerinin oluşturulabilmesi için karışık meşcerelere ilişkin bilimsel çalışmaların sayısının artması gerekmektedir. Karışık meşcerelere yönelik modelleme çalışmaları, bu meşcerelere ilişkin planlama ve işletme seçeneklerinin oluşturulmasına sağlayacağı katkılar yönünden öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, Karabük yöresinde yayılış gösteren karışık meşcereler arasında önemli bir yere sahip olan Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) - Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani* (Asc. & Sint. ex Boiss.) Coode & Cullen) karışık meşcereleri için her iki ağaç türüne yönelik gövde çapı tahminlerinin modellenmesi amacıyla YSA modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerin tahmin başarıları, literatürde gövde çapı tahminleri konusunda önemli bir yere sahip gövde çapı denklemleri (Max ve Burkhart, 1976; Fang vd., 2000; Bi, 2000; Kozak, 2004) ile karşılaştırılmıştır.

1.2. Gövde Çapı Tahminleri

1.2.1. Gövde Çapı Denklemleri

Gövde çapı denklemleri göğüs çapı ve ağaç boyu ile bu değişkenlerden türetilen diğer değişkenler yardımıyla bir ağaç gövdesinin;

- Herhangi bir yüksekliğindeki gövde çapını,
- Herhangi bir gövde çapının yerden yüksekliğini,
- Belirlenen herhangi bir gövde yüksekliği ile toprak seviyesi arasında kalan bölümünün hacmini,
- Belirlenen herhangi bir gövde çapı ile toprak seviyesi arasında kalan bölümünün hacmini,
- Toplam hacmini,
- Tüm odun çeşitlerine ilişkin hacimlerini,
- Herhangi iki çap ya da yükseklik arasındaki bölümünün hacmini

tahmin etmek için geliştirilen modellerdir (Yavuz, 1995; Kozak, 2004).

Gövde çapı denklemleri 1960'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır (Honer, 1967; Bruce vd., 1968; Kozak vd., 1969; Bennet ve Swindel, 1972;

Burkhart, 1977; Cao vd., 1980; Clutter, 1980). Göğüs çapı ve ağaç boyunun fonksiyonu olarak yerden belirli bir yükseklikteki gövde çaplarını belirlemeye yarayan bu denklemler, gövdenin tamamını bir bütün olarak ele alarak gövdeyi ortalama bir şekil katsayısı ile modelleyen basit polinomiyal modeller biçiminde geliştirilmişlerdir. Gövdenin tamamı yerine, gövde üzerinde şekil farklılıkları gösteren her bir bölüm için ayrı bir polinomiyal denklem oluşturarak bu denklemleri bir model altında birleştiren parçalı (segmented) polinomiyal gövde çapı denklemleri ise ilk olarak Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiştir. Bu denklem yapısında ağaçların dip kısmının nayloide, orta kısmının paraboloite ve uç kısmının ise koniye benzediği varsayılmaktadır. Parçalı polinomiyal denklemleri takiben, göğüs çapı ve ağaç boyu ile gövde eğrisinin değişim gösterdiği oransal boy değerleri ve bunlardan türetilen pek çok bağımsız değişkenin bir fonksiyonu olarak oluşturulan ve değişken-şekil gövde çapı denklemi olarak adlandırılan üssel formda regresyon modelleri kullanılmaya başlanmıştır (Kozak, 1988; Newnham, 1988; Perez vd., 1990).

Gövde çapı denklemlerinin sınıflandırılması ile ilgili olarak literatürde farklı sınıflandırmaların yapılmış olduğu görülmekle birlikte, Sakıcı vd. (2008) gövde çapı denklemlerini yukarıda açıklandığı şekilde sınıflandırarak, a) Basit polinomiyal gövde çapı denklemleri, b) Parçalı gövde çapı denklemleri ve c) Değişken-şekil gövde çapı denklemleri şeklinde üç gruba ayırmıştır.

Gövde çaplarının modellenmesi için açıklanan bu üç temel denklem formuna ek olarak farklı yöntemler de kullanılmıştır. Bunlar; denkleştirilmiş fonksiyonlar (Liu, 1980), Chapman-Richards fonksiyonu (Biging, 1984; Matney vd., 1985), parametrik olmayan yöntemlerle gövde çaplarının modellenmesi (M'Hirit ve Postaire, 1985), polinomiyal enterpolasyon yaklaşımı (Thérien ve Chamiré, 1986), asal bileşenler regresyonu (Sweda, 1988), asal bileşenler analizi (Real vd.,1989), trigonometrik fonksiyonlar (Thomas ve Parresol, 1991; Bi, 2000; Bi ve Long, 2001) ve uzaktan algılama verileriyle tahminleme (Barth ve Holmgren, 2013; Barth vd., 2015) şeklinde sıralanabilir. Bunlara ek olarak regresyon modellerinin geliştirilmesinde kullanılan verilere ilişkin zamansal ve konumsal otokorelasyon problemlerinin modellerin tahmin başarısındaki olumsuz etkisini gidermeye yönelik olarak karışık etkili

modelleme (Özçelik vd., 2011; Ercanlı vd., 2014; Arias-Rodil vd., 2015; Özçelik ve Yaşar, 2015; Özçelik vd., 2017) ve otoregresif modelleme (Ercanlı vd., 2015a; Ercanlı ve Şenyurt, 2017) yaklaşımını kullanan araştırmalar da bulunmaktadır.

1.2.2. Yapay Sinir Ağları

Son yıllarda tahminleme çalışmalarında yukarıda açıklanan çeşitli istatistiksel varsayımların sağlanmasını gerektiren regresyon modellerinin yanında karmaşık ilişkilerin modellenmesinde başarılı tahminler yapabilen YSA'ların kullanımı da öne çıkmıştır. YSA, insan beyninin mimarisini esas alan bir modelleme ve tahminleme yöntemi olup, insan beynindeki sinir hücrelerinin (nöron) bilgisayar ortamında matematiksel olarak modellenmiş hali olmaktadır (Haykin, 1999; Öztemel, 2006).

İnsan beyninde bulunan çok sayıda sinir hücresinin bir araya gelmesiyle oluşan biyolojik sinir ağları karmaşık olaylar karşısında dahi oldukça yüksek bir öğrenme kabiliyetine sahiptirler. Biyolojik sinir ağları insan beyninin çalışmasını sağlayan temel yapıtaşlarından birisidir. Bu ağlar beş duyu organından gelen bilgiler ışığında algılama ve anlama mekanizmalarını çalıştırarak olaylar arasındaki ilişkileri öğrenirler ve insanın bütün davranışlarını ve çevresini anlamasını sağlarlar. YSA ile biyolojik sinir ağlarının bu yeteneğinin bir yazılım aracılığı ile bilgisayara kazandırılması amaçlanmaktadır. Bir başka ifade ile, biyolojik sinir ağlarının açıklanan bu özelliklerinden yararlanılarak yapay bir sinir ağının bilgisayar ortamında taklit edilmesi amaçlanmaktadır (Öztemel, 2006).

YSA'lar, insan beyninin yukarıda açıklanan özelliklerinden yola çıkarak, öğrenme yoluyla yeni bilgiler üretebilme, keşfetme vb. gibi yetenekleri otomatik olarak ortaya koyma amacı taşıyan matematiksel sistemlerdir. Sözü edilen yeteneklerin geleneksel programlama teknikleriyle gerçekleştirilmesi çok zordur. Bahsedilen sebeplerden dolayı YSA, programlanması zor olan ya da mümkün olmayan olaylar için geliştirilen bir bilgisayar bilim dalı olarak tanımlanabilir (Öztemel, 2006; Yavuz ve Deveci, 2012). İnsan beyninin yapısını örnek alarak geliştirilen sinir ağının en temel bileşeninin bazı özellikleri beyinden farklı olmakta, bazı özelliklerinin ise beyinde

biyolojik olarak karşılığı bulunmamaktadır. Fakat yine de YSA, beyinle biyolojik olarak büyük benzerlik göstermektedir (Elmas, 2007; Yavuz ve Deveci, 2012).

YSA'lar da tıpkı biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Her bir yapay sinir hücresinin (nöron) 5 temel bileşeni bulunmaktadır (Şekil 1.1). Bu bileşenler:

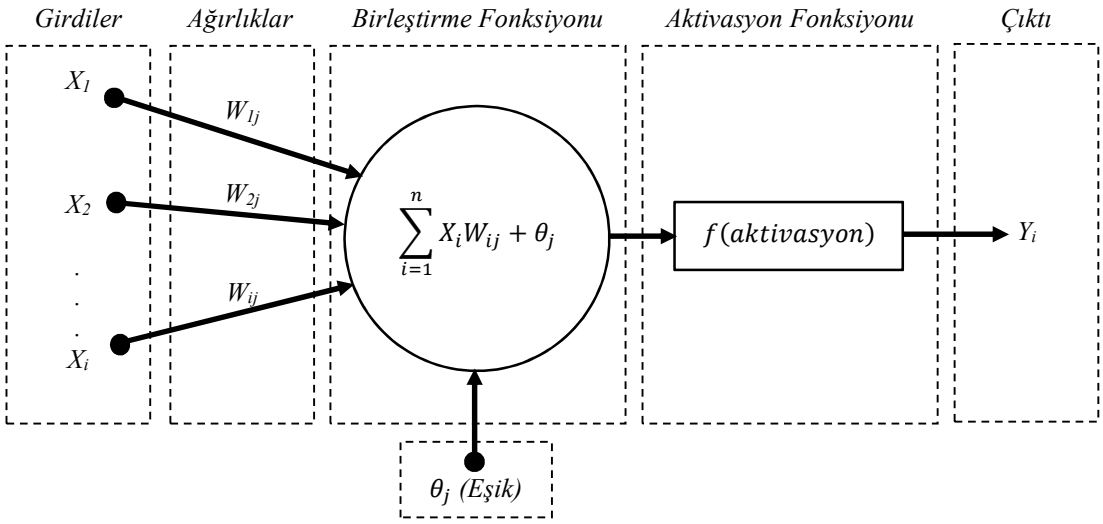
- *Girdiler (İnput)*: Nöronlara dış dünyadan gelen bilgilerdir.

- *Ağırlıklar*: Nöronlara gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini belirleyen katsayılardır. Nöronlara gelen girdilerin önem derecesi ağırlıkların niceliği ile açıklanmaktadır. Ağırlıklar sıfırdan uzaklaştıkça ilgili girdinin nöron üzerindeki etkisinin arttığı, sıfıra yaklaştıkça ise bu etkinin azaldığı anlaşılmaktadır. Pozitif veya negatif olmaları ise ilgili girdinin etkisinin pozitif veya negatifliğini göstermektedir.

- *Birleştirme Fonksiyonu*: Bir nörona gelen net girdiyi hesaplayan fonksiyondur. Bu fonksiyon, nöronlara gelen her girdinin kendi ağırlıkları ile çarpımlarının toplamına eşik değerin eklenmesi şeklinde açıklanabilir. Birleştirme fonksiyonunun toplama formundaki bu en basit şeklinin yanında çarpım, minimum, maksimum, çoğunluk veya kümülatif toplam gibi farklı fonksiyonlar da kullanılabilir.

- *Aktivasyon Fonksiyonu*: Birleştirme fonksiyonu ile hesaplanan net girdinin işlenerek nöronun çıktısının üretildiği fonksiyondur. Bu aşamada kullanılabilecek doğrusal fonksiyon, sigmoid fonksiyonu, hiperbolik tanjant fonksiyonu, sinüs fonksiyonu, step fonksiyonu ve eşik değer fonksiyonu gibi farklı alternatifler bulunmakta olup, her bir alternatifin farklı matematiksel fonksiyonu bulunmaktadır. Birleştirme fonksiyonundan gelen net girdi seçilen alternatife ilişkin matematiksel fonksiyona göre sonuçlandırılır.

- *Çıktı (Output)*: Nöronun aktivasyon fonksiyonu tarafından üretilen çıktı değeridir (Öztemel, 2006; Elmas, 2007, Hamzaçebi, 2011).



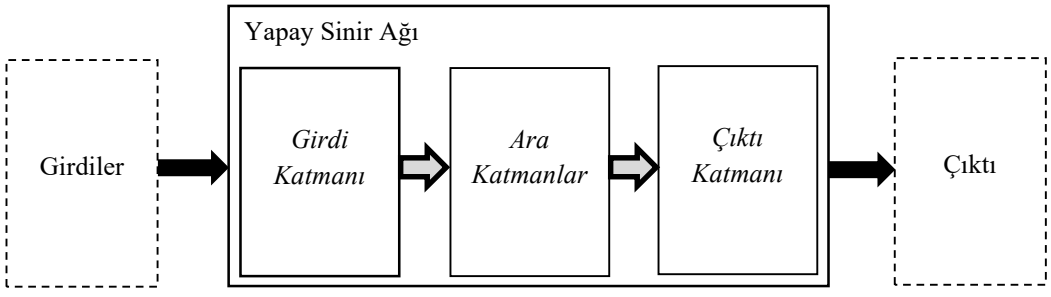
Şekil 1.1. Yapay sinir hücresinin yapısı (Elmas, 2007)

Nöronlar bir araya gelerek YSA'yı oluştururlar. Bu bir araya gelme işlemi rastgele olmayıp hücreler üç katman halinde ve her katman içinde paralel bir şekilde bir araya gelerek ağı oluştururlar (Şekil 1.2). Bu katmanlar:

- *Girdi Katmanı*: Dış dünyadan gelen girdilerin bu katmandaki nöronlar yardımıyla ara katmanlara iletildiği ve herhangi bir bilgi işlemenin olmadığı katmandır.

- *Ara Katman (Gizli Katman)*: Girdi katmanından gelen girdilerin işlenerek çıktı katmanına iletildiği katmandır. Bir ağın yapısında bir veya daha fazla sayıda ara katman bulunabilir.

- *Çıktı Katmanı*: Ara katmanlardan gelen bilgilerin işlenerek girdi katmanında yer alan girdiler için çıktının üretildiği ve dış dünyaya gönderildiği son katmandır (Öztemel, 2006).



Şekil 1.2. Yapay sinir ağının katmanları ve birbirleri ile ilişkisi (Öztemel, 2006)

YSA'ların genel çalışma prensibi, dış dünyadan aldığı girdileri çıktıya çevirmek olarak açıklanmaktadır. Bunun için ağın girdilere uygun çıktı üretecek hale gelmesi gerekmekte olup, bu sürece "ağın eğitilmesi" denilmektedir. Bu eğitim, ağa dış dünyadan gelen girdilerin bir girdi vektörüne dönüştürülerek ağa gösterilmesi ile başlar ve ağ bu vektöre uygun çıktı vektörünü üretene kadar devam eder. Bu eğitimin tasarımı genellikle ağı geliştiren kişi tarafından belirlenmektedir. Ağın eğitilmesi, nöronların ağırlık değerlerinin belirlenmesi olarak da tanımlanabilir. Başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri, girdi katmanından bilgiler geldikçe değişir. Ağın eğitilmesindeki amaç girdilere uygun çıktıyı üretecek doğru ağırlık değerlerinin belirlenmesi olduğundan, bu işlem söz konusu doğru değerler bulununcaya kadar devam eder. Doğru ağırlık değerlerinin bulunması ile ağ girdilere uygun çıktılar üretebilme kabiliyetine kavuşur ve buna da "ağın öğrenmesi" adı verilir. Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra öğrenmenin gerçekleşip gerçekleşmediğinin belirlenmesi için "ağın test edilmesi" gerekir. Bu test, ağın öğrenme sırasında belirlediği ağırlık değerlerinin ağın daha önce görmediği veriler üzerinde uygulanması ile yapılır ve elde edilen çıktıların doğruluk düzeyi ağın öğrenme performansını belirler. Ağın eğitimi için kullanılan veri setine "öğrenme verileri", ağın öğrenme performansının belirlenmesi için kullanılan verilere ise "test verileri" adı verilir.

YSA'lar içerdikleri katman sayısına bağlı olarak; (*i*) tek katmanlı ve (*ii*) çok katmanlı ağlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tek katmanlı YSA'lar yalnızca girdi ve çıktı katmanından oluşmakta ve ara katman içermemektedir. Çok katmanlı YSA'lar ise girdi ve çıktı katmanının arasında en az bir adet ara katmanın bulunduğu ağlardır. Tek katmanlı ağlarda çıktı fonksiyonu doğrusaldır ve bu tip ağlar, ancak girdiler ve çıktı arasındaki ilişkilerin doğrusal olması durumunda kullanılabilir. Burada doğrusal ilişkiden kasıt, aralarına çizilecek doğru veya doğrular ile çıktıları iki veya daha fazla sınıfa ayırabilme olanağıdır. Doğrusal olmayan ilişkiler söz konusu olduğunda, öğrenmenin ara katmanlar olmadan gerçekleşmesi mümkün olmamakta ve çok katmanlı ağlara ihtiyaç duyulmaktadır (Öztemel, 2006).

Çok katmanlı ağlar günümüzde birçok mühendislik problemine çözüm üretebilmektedir. Bu tip ağlarda öğrenme "Delta öğrenme kuralı" adı verilen bir

öğrenme yöntemine göre gerçekleşmektedir. Bu yöntemde, eğitim sırasında ağlara hem girdiler hem de bu girdilere karşılık üretilmesi beklenen çıktılar tanıtılır. Ağ, her girdi için o girdiye karşılık gelen çıktıyı üretme amacına sahiptir. Söz konusu eğitim; (*i*) ileri doğru hesaplama (ağın çıktılarını hesaplama) ve (*ii*) geriye doğru hesaplama (ağırlıkları değiştirme) şeklinde iki aşamadan oluşur. İlk aşamada öğrenme verileri girdi katmanında ağa tanıtılır ve girdi katmanından ara katmana gönderilir. Ara katmandaki her nöron girdi katmanındaki nöronlardan gelen bilgileri ağırlıklarına göre toplayarak çıktı katmanına iletir. Çıktı katmanına ulaşan toplam değerler aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıktı elde edilir. Ara katmanın bütün nöronlarından gelen toplam değerlerin çıktı katmanına ulaşarak aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesi ile ve çıktıların elde edilmesi ile ilk aşama tamamlanmış olur. İkinci aşamada ağın girdilere karşılık olarak ürettiği çıktılar beklenen (gerçek) çıktılar ile karşılaştırılır ve hata miktarı belirlenir. Amaç bu hatanın en aza indirilmesi olduğundan, hesaplanan hata değeri kendisine neden olan nöronlar ağırlık değerlerine dağıtılarak ağın eğitimi tekrarlanır. Her yinelemede nöronlara ilişkin ağırlık değerleri değiştirilerek hata miktarı düşürülmeye çalışılır. Bu yineleme işlemi ağın hatası minimum seviyeye düşene kadar tekrarlanır (Öztemel, 2006).

Çok katmanlı bir YSA'nın çalışma prosedürü özetlenerek şu aşamaları içerdiği belirtilmektedir: (*i*) örneklerin toplanması, (*ii*) ağın topolojik yapısının belirlenmesi, (*iii*) öğrenme parametrelerinin belirlenmesi, (*iv*) ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması, (*v*) öğrenme verilerinden örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi, (*vi*) öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması, (*vii*) elde edilen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması ve (*viii*) ağırlıkların değiştirilerek geri hesaplamaların yapılması. Bu adımlar ağın öğrenmesi tamamlanıncaya kadar, bir başka ifadeyle elde edilen çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilebilir seviyeye düşene kadar devam eder.

YSA'lar uygulanan ağ modeline bağlı olarak farklı özellikler gösterebilmekle birlikte bazı temel özelliklere sahiptirler. Bu özellikler, YSA'ların;
- Makine (bilgisayar) öğrenmesi gerçekleştirmeleri,
- Bilginin saklanmasını sağlamaları,
- Örnekleri kullanarak öğrenmeleri,

- Güvenle kullanılabilmeleri için eğitildikten sonra test edilmelerinin gerekmesi,
- Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilmeleri,
- Kendi kendini organize ederek yeniden öğrenebilme ve yeni durumlara adaptasyon yeteneklerinin bulunması,
- Eğitildikten sonra eksik bilgiler ile de çalışabilmeleri,
- Hata toleransına sahip olmaları,
- Matematiksel modele ihtiyaç duymamaları,
- Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmeleri,

şeklinde sıralanabilir (Öztemel, 2006).

YSA'ların bu avantajlarının yanında bazı önemli dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;
- Donanım bağımlı çalışmaları,
- Uygun ağ yapısının deneme-yanılma yolu ile belirlenmesi,
- Ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde belirli bir kural olmaması,
- Ağın öğreneceği problemin ağa nümerik olarak gösterilmesi zorunluluğu,
- Eğitimin ne zaman sonlandırılacağına karar verilmesi ile ilgili belirli bir yöntemin bulunmaması,
- Ağın bir problem karşısındaki davranışlarının açıklanamaması,

şeklinde özetlenebilir (Öztemel, 2006).

YSA'larda kullanılmakta olan öğrenme algoritmaları, klasik bilgisayar algoritmalarından farklıdır. Bu öğrenme algoritmaları insan beyninin sezgisel gücünü de içinde bulundurmaktadır. Bu sebeple, farklı birçok bilim dalı YSA'lara yönelmekte ve kullanılabilirlik durumunu ele almaktadır. YSA kullanılarak oluşturulan modeller genellikle tahminleme, zaman serisi analizi, optimizasyon (eniyileme), sınıflandırma, ilişkilendirme, genelleme veya doğrusal olmayan sistem modellemelerinde kullanılmaktadır (Warner ve Misra, 1996; Öztemel 2006; Yavuz ve Deveci, 2012).

Ormancılık literatüründe farklı YSA yapıları ile tahminleme, optimizasyon, zaman serileri analizi, sınıflandırma vb. konularında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ancak, tahminlemeye yönelik araştırmalarda farklı meşcere veya tek ağaç özelliklerinin

tahmin edilmesinde ortak ve genel kabul görmüş bir YSA yapısı mevcut değildir. Genellikle çeşitli ağ yapıları arasında yapılan karşılaştırmalar sonucu en uygun YSA modeline karar verilmektedir. Bu durumda da her bir araştırma konusu için farklı ağ yapılarının denenerek en başarılı YSA modellerinin belirlenmesi gereksinimi doğmaktadır. Bu çalışma kapsamında da gövde çaplarının tahmin edilmesinde YSA modellerinin kullanım olanakları araştırılmış ve bu modellerin tahmin başarıları ile regresyon analizi yöntemiyle geliştirilen gövde çapı denklemlerinin başarıları karşılaştırılmıştır.

1.3. Ağaç Türlerine İlişkin Genel Bilgiler

Bu çalışma, Doğu kayını-Kazdağı göknarı karışık meşcerelerinde yürütülmüş olduğundan aşağıda bu iki türe ilişkin genel bilgiler verilmiştir.

1.3.1. Doğu Kayını

Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Fagaceae familyası, *Fagus* L. cinsi içerisinde yer alan bir türdür. Kayın cinsinin 11 türü bulunmakta ve Türkiye'de doğal olarak Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) olmak üzere iki türü yetişmektedir (Güner, 2012; URL-1, 2018).

40 m boylanabilen, iki metreye kadar göğüs çapına ulaşabilen, düzgün ve silindirik gövde yapısı oluşturan birinci sınıf orman ağaçlarındandır. Gövde ince, çatlaksız ve boz renktedir (Anşin ve Özkan, 2006). Genç dalları tüylü olmakla birlikte yaprakları 6-12 cm uzunluktadır (Kayacık, 1963). Kayın, diğer yapraklı ağaçlarda olduğu gibi azman yapma eğilimindedir. Tam kapalı ve iyi bonitete sahip meşcerelerde dikkati çekecek uzun, düzgün ve dolgun gövdeler yapma yeteneğindedir. Kayın oldukça derine ulaşan kalp kök sistemi geliştirir (Anonim, 1985).

Doğu kayını ormanları 250-300 m yükseltiden başlayarak, 1800-1900 m yükseltilere kadar çıkabilmektedir. Batıdan doğuya doğru gidildikçe düşey yayılışı yukarı rakımlara doğru geçiş gösterir. Ülkemizde Doğu kayını, geniş saf ormanlar oluşturduğu gibi, düşük yükseltilerde meşe ile karışık meşcereler de oluşturmaktadır. Yayılışının üst sınırlarına yakın yerlerde ise, bulunduğu yöreye göre göknar, sarıçam,

ladin, karaçam ile karışıma girebilmektedir (Saatçioğlu, 1971). Doğu kayını geç donlara, ekstrem düşük kış soğuklarına ve kuraklığa karşı oldukça duyarlıdır. Toprak isteği yüksek olup, sürekli ve orta derecede nemli, besin maddelerince zengin, gevşek ve drenajı iyi olan toprakları sever. Gölgede yetişebilen türlerden olup iyi bonitetlerde yaklaşık 25-30 yıl yoğun siperde kalabilmektedir (Anonim, 1985; Anşin ve Özkan, 2006). Saf kayın meşcereleri tek tabakalı meşcereler oluşturduğu gibi, iki ya da çok tabakalı kuruluşlara sahip meşcereler de oluşturmaktadır. Karışık meşcerelerde kayın yaprakları toprağı iyileştirici rol oynamaktadır (Anonim, 1985; Anşin ve Özkan, 2006).

Doğu kayını, kapladığı alan ve sahip olduğu dikili servet bakımından ülkemizin önemli asli orman ağacı türlerinden birisidir. Doğu kayınının yayılışı alanı Bulgaristan'da Balkan Dağları'nın güney yamaçları, Pirin Dağları, Doğu Rodop Dağları ve Kuzey Makedonya'dan başlayıp, Trakya'nın kuzey kenar dağları ile bağlantı kurup, İstanbul üzerinden Kocaeli Yarımadasına atlayarak Marmara'nın güneyine sarkar ve Karadeniz sıradağları boyunca Kafkasya ve Kırım'a kadar uzanır. Bu ana yayılış alanı dışında İskenderun Körfezi'nin kuzeydoğusunda Hatay, Seyhan ve Maraş ormanlarının yüksek kesimlerinde 1500 m üzerinde izole bir yayılış göstermektedir (Anonim, 1985; Anşin ve Özkan, 2006). Doğu kayını ülkemizde Kuzey Anadolu kıyı dağları ve Istıranca Dağları'nın kuzeye bakan yamaçları boyunca yayılış göstermektedir. Kelkit vadisinin güneyi ile Kastamonu platosunda dağların yüksek kuzey kesimlerinde lokal olarak yayılış gösteren bu tür, Güney Marmara Bölgesi Kapıdağ, Karadağ, Uludağ, Domaniç Dağları, Saman Dağları ile Kaz Dağları'nın kuzey kesimlerinde de bulunmaktadır. Ayrıca, Ege Bölgesi'nde Şaphane ve Murat Dağı, İç Anadolu Bölgesi'nde Çekerek Dağı'nın kuzeyi ile Akdeniz Bölgesi'nde Amanos Dağları'nın kuzey kesiminde lokal olarak yayılış göstermektedir (Anonim, 1985).

Kayın türleri ülkemizde yaklaşık 1,62 milyon ha normal koru ve yaklaşık 0,34 milyon ha bozuk olmak üzere toplam 1,96 milyon ha'lık bir yayılış alanına sahip olup, yapraklı ağaçlar içinde meşeden sonra en geniş doğal yayılış alanına sahip olan türlerdir (OGM, 2013; OGM, 2015). Kayın türlerinin Türkiye'deki yayılış alanları Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Kayın türlerinin Türkiye'deki yayılış alanları (OGM, 2013)

1.3.2. Kazdağı Göknarı

Gymnospermae'lerin Coniferae sınıfınında bulunan Göknarlar (*Abies* Mill.) Pinaceae familyasında bulunan bir taksondur. Ülkemizde doğal olarak yayılış gösteren göknar taksonları iki tür ve dört alt tür ile temsil edilmektedir (Güner, 2012). Bu türler;

Abies nordmanniana (Stev.) Spach.

- *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach subsp. *nordmanniana* (Kafkas Göknarı)
- *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach subsp. *equi-trojani* (Asch. & Sint. Bois.) Coode & Cullen (Kazdağı Göknarı) (Endemik)

Abies cilicica (Ant. & Kotschy) Carr.

- *Abies cilicica* (Ant. & Kotschy) Carr. subsp. *cilicica* (Toros Göknarı)
- *Abies cilicica* (Ant. & Kotschy) Carr. subsp. *isaurica* Coode & Cullen (Bozkır Göknarı) (Endemik)

Göknarlar, genç yaşlarda piramidal, daha sonra konik bir tepe yapısı geliştiren herdem yeşil, dalları gövdeye çevrel dizili, uzun boy yapabilen asli orman ağacı türlerimizdendir. Göknar ormanları genç yaşlardan itibaren kazık kök yaptıkları için, rüzgar ve fırtına zararlarına karşı son derece dayanıklılık göstermektedir. Göknarların rutubet ve toprak istekleri fazla olup, ısı istekleri orta seviyede bulunmaktadır. İlkbahar donlarına hassas olan göknar türleri ışık isteklerinin az olması sebebiyle gölgeye dayanıklılık gösterirler.

Türkiye'ye özgü endemik bir takson olan Kazdağı göknarı ortalama olarak 30-40 m boya ulaşabilen, birinci sınıf orman ağacıdır. İğne yapraklar, kozalakların rengi ve şekli bakımından Doğu Karadeniz göknarına çok benzemekle birlikte iğne yapraklarının bazılarının uç kısımlarındaki beyaz lekelerin bulunması, genç sürgünlerinin çıplak, tomurcuklarının reçineli olmasıyla Doğu Karadeniz göknarından farklılık göstermektedir. Ortalama 15-18 cm uzunluk ve 5 cm çapa sahip silindirik kozalaklar olgunlaştığında kırmızı kahverengi bir renk alırlar ve kozalaklarının üst kısımları bol reçine ile kaplıdır (Anşin, 2001; Arslan ve Çelem, 2001).

Genellikle seçme işletme sınıfı olarak işletilen göknar ormanlarında sürekli olarak siperlenen toprak, kırıntılı yapısıyla gençliğin alana gelmesini ve devamlılığını güvenceye alır (Özcan, 1986). Değişikyaşlı koru ormanları olarak adlandırılan göknar ormanları, yüksek hacim artımı ile birlikte tehlikelere karşı büyük bir direnç göstermektedir.

Güney enlemlerde yüksek dağlık kesimlerde yayılış gösteren göknarlar, kuzey enlemlerde ise daha düşük yükseltilerde yayılış gösterebilmekte ve hatta deniz seviyesine kadar inebilmekte ve saf veya diğer türler ile karışıma girebilmektedir (Yaltırık ve Efe, 2000). Ülkemiz için endemik bir tür olan Kazdağı göknarı, doğal yayılışını Çatalca-Kocaeli ve Güney Marmara Bölümleri ile Batı ve Orta Karadeniz Bölümlerinde yapar (Güner, 2012).

Göknar türleri ülkemizde yaklaşık 0,41 milyon ha koru ve yaklaşık 0,27 milyon ha bozuk olmak üzere toplam 0,67 milyon ha'lık bir yayılış alanına sahip olup, iğne yapraklı ağaçlar içinde kızılçam, karaçam ve sarıçamdan sonra en geniş doğal yayılış alanına sahip olan türlerdir (OGM, 2013; OGM, 2015). Göknar türlerinin Türkiye'deki yayılış alanları Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Göknar türlerinin Türkiye'deki yayılış alanları (OGM, 2013)

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Karmaşık bir yapı göstermelerine karşın, özellikle son yıllarda geliştirilen gövde çapı denklemleri ile her bir ağaçtan elde edilebilecek odun çeşitleri ve bunlara ilişkin hacim miktarları güvenilir bir şekilde belirlenebilmektedir. Ağaçların gövde şekli üzerine yapılan çalışmalar 100 yılı aşkın bir süredir devam etmekle birlikte (Höjer, 1903; Claughton-Wallin & McVicker, 1920; Behre, 1923), istatistiksel anlamda ilk gövde çapı denklemleri 1960'lı yılların sonlarına doğru geliştirilmeye başlanmıştır (Honer, 1967; Burkhart, 1977; Cao vd., 1980; Clutter, 1980; Newnham, 1992).

Uluslararası ve ulusal literatürde farklı yörelere ait çeşitli ağaç türleri için düzenlenmiş çok sayıda gövde çapı denklemi bulunmaktadır. Gövde çapı denklemleri ile ilgili literatür bilgileri aşağıda açıklanmıştır.

Kozak et al. (1969), yerden farklı yüksekliklerdeki gövde çaplarını tahmin etmek için basit bir polinomiyal denklem geliştirmiştir.

Demaerschalk (1972), uyumlu hacim denklem sistemlerinin oluşturulması için, integrali alınabilen gövde çapı ve gövde hacim denklem sistemi geliştirmiştir.

Goulding ve Murray (1976), *Pinus radiata* ağaç türü için uyumlu polinomiyal gövde çapı ve gövde hacmi denklemleri geliştirmişlerdir.

Max ve Burkhart (1976), bir ağaç gövdesinin tek bir geometrik şekilden ziyade farklı geometrik şekiller ifade ettiği ve gövdenin en alt kısmının nayloid, orta bölümünün kesik paraboloit, en üst bölümünün ise koni şeklinde olduğu varsayımına dayanarak her bölüm için ayrı polinomiyal regresyon denklemleri geliştirerek bu denklemleri katılma noktaları ile birleştirmiştir.

Cao vd. (1980), doğal ve yapay *Pinus teada* meşcerelerinde gövde çapı ve ticari hacim tahminleri için 12 adet regresyon modeli denemişler ve çalışma sonucunda Max ve Burkhart (1976) tarafından önerilen denklemin en başarılı model olduğu sonucuna varmışlardır.

Clutter (1980), ticari hacim oran denkleminden faydalanarak uyumlu gövde çapı ve ticari gövde hacmi denklemi geliştirmiştir.

Biginig (1984), altı farklı ağaç türünde gövde çaplarını tahmin etmek amacıyla Chapman-Richards fonksiyonuna dayanarak elde edilen gövde çapı denkleminden faydalanmış ve çalışma sonucunda elde edilen bulguları Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemi ile kıyaslamıştır. Ayrıca, gövde çapı denkleminin integrali alınarak elde edilen tüm gövde hacmi değerlerini Schumacher-Hall hacim denklemi ile elde edilen tahmini hacim değerleri ile karşılaştırmıştır.

Reed ve Green (1984), *Quercus velutina* için uyumlu gövde profili, gövde hacmi ve hacim oran denklemlerinin geliştirilmesi için 4 farklı gövde hacim denkleminden faydalanarak model başarılarını değerlendirmişlerdir.

Burkhart ve Walton (1985), *Pinus teada* meşcereleri için oluşturulan gövde profili denklemlerinde göğüs çapı ve ağaç boyunun yanında tepe boyutlarının da bağımsız bir değişken olarak yer almasının hata miktarının azaltılması üzerine olan etkisini araştırmışlar ve önemli ölçüde bir azalma meydana gelmediğini ortaya koymuşlardır.

Parresol vd. (1987), *Taxodium distichum* ağaç türü için gövdenin yerden 10 m yüksekliğindeki çap değerinin bağımsız değişken olarak kullanıldığı bir gövde hacim denklemi, biri sadece çapı diğeri sadece boyu bağımsız değişken olarak kullanan iki hacim oran denklemi ve bir gövde çapı denklemini kapsayan bir denklem sistemi geliştirmişlerdir.

Kozak (1988), gövde şeklinin farklı gövde yüksekliklerinde değiştiğini ifade ederek gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde yeni bir yaklaşım ortaya koymuş ve değişken-şekil gövde çapı denklemlerinin temelini atmıştır. Bu amaçla, gövde şeklinin değişimini açıklamak amacıyla üssel fonksiyonları denemiş ve oldukça başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Farrar ve Murphy (1988), *Pinus teada* ağaç türü için gövde çaplarının hesaplanmasında tepe oranının da bağımsız bir değişken olarak kullanılmasının model başarısına olan etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla Bennet vd. (1978)

tarafından önerilen modele tepe oranını bağımsız değişken olarak eklemişler, ancak çalışma sonucunda tepe oranı değişkeninin model başarısına önemli bir katkı sağlamadığını ortaya koymuşlardır.

Yavuz (1995), Taşköprü yöresi *Pinus sylvestris* ve *Pinus nigra* türleri için kabuklu ve kabuksuz olmak üzere gövde hacmi, hacim oran ve uyumsuz ve uyumlu gövde çapı denklemleri geliştirmiştir.

Yavuz ve Saraçoğlu (1999), *Alnus glutinosa* ağaç türü için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı denklemleri geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, sadece gövde çaplarının tahmininde Kozak (1988) tarafından önerilen denklemin başarılı olduğu belirtilirken, ağaç hacmi, hacim oranları ve gövde çaplarının birlikte tahmin edilmesi halinde ise Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen denklemin öne çıktığı ifade edilmiştir.

Muhairwe (1999), iki okaliptüs türü için geliştirilen gövde çapı denklemleri ile Max ve Burkhart (1976), Gordon (1983) ve Kozak (1988) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemlerini kıyaslamıştır. Bu denklemlerden birincisinde göğüs çapı, ağaç boyu ve ağacın farklı kısımlarında ölçülen boy değerleri, ikincisinde ise sadece göğüs çapı ve ağacın farklı kısımlarında ölçülen boy değerleri kullanılmıştır. İlk model ile elde edilen sonuçların diğer modellerle elde edilen sonuçlara göre daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu belirtilmiştir.

Figueiredo-Filho vd. (1996), *Pinus taeda* ağaç türü için gövde çaplarını tahmin etmek amacıyla Kozak vd. (1969), Max ve Burkhart (1976), Parresol vd. (1987), Clark vd. (1991) ve beşinci dereceden bir polinomiyal model olmak üzere beş ayrı denklemi incelemiş ve sözü edilen denklemler arasında en başarılı olanın Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen denklem olduğunu ifade etmişlerdir.

Kozak (1997), Monte Carlo simülasyon tekniği ile gövde çapı denkleminde bulunan değişkenler arasındaki otokorelasyon ve çoklu bağlantının Kozak'ın (1988) geliştirdiği gövde çapı denklemine dayanarak geliştirilen iki yeni denklem üzerindeki etkisini incelemiştir. Güçlü bir çoklu bağlantı ve otokorelasyon probleminin ortaya çıkması halinde dahi tahminlerin sistematik hatasız olduğunu ifade etmiştir.

Tasissa ve Burkhart (1998) tarafından yapılan çalışmada *Pinus taeda* için gövde çapı denkleminin geliştirilmesi ve veri yapısındaki otokorelasyon sorununun kısmen ya da tamamen ortadan kaldırılabilmesi için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği kullanılmıştır.

Huang vd. (1999), *Picea glauca* ağaç türü için gövde analizi verilerine dayanarak değişken-şekil gövde çapı denklemleri geliştirmiş olup, gövde çapı ve gövde hacmi tahminlerindeki toplam değişimin %99'unun geliştirilen gövde çapı denklemleri ile açıklandığı sonucunu ortaya koymuşlardır.

Bi (2000), değişken-şekil gövde çapı denklemlerinin oluşturulmasında trigonometrik hacim eşitliğinden faydalanmış ve elde edilen sonuçları Kozak (1988) tarafından geliştirilen denklem ile kıyaslamıştır.

Coble ve Wiant (2000), *Pinus taeda* ve *Pinus ponderosa* meşcerelerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerden yararlanarak basit ve karmaşık gövde çapı fonksiyonlarını karşılaştırarak karmaşık fonksiyonların daha başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Fang vd. (2000), *Pinus taeda* ve *Pinus elliottii* ağaç türleri için gövde çaplarını ve ticari hacimlerini ortaya koymak üzere diferansiyel denklemler kullanarak gövde hacmi, gövde çapı ve ticari hacim değerlerini tahmin eden parçalı bir gövde çapı denklemi geliştirmişlerdir.

Bi ve Long (2000), *Pinus radiata* meşcerelerinden alınan veriler yardımıyla ilgili ağaç türü için trigonometrik değişken-şekil gövde çapı eşitliğini geliştirmişlerdir. Geliştirilen denklemi 9 farklı denklem ile kıyaslayarak geliştirilen bu denklemin en başarılı sonucu ortaya koyduğunu belirtmişlerdir.

Sharma ve Oderwald (2001), uyumlu gövde çapı ve gövde hacmi eşitliklerini elde etmek amacıyla bu iki eşitliğin parametrelerini tahmin etmişlerdir.

Sharma ve Burkhart (2003), parçalı gövde çapı denklemi için gövde çapı tahminlerinde gerekli olan veri sayısının azaltabilme olanaklarını araştırmışlardır. Bu

amaçla Max ve Burkhart (1976) tarafından önerilen parçalı gövde çapı denklemini kullanmışlardır.

Lee vd. (2003), Kore'de yayılış gösteren *Pinus densiflora* meşcereleri için gövde çapı denklemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen denklem ile elde edilen sonuçları Max ve Burkhart (1976) ve Kozak (1988) tarafından geliştirilen denklemler ile kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda geliştirilen gövde çapı denkleminin oldukça başarılı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Kozak (2004), daha önce geliştirmiş olduğu Kozak (1988) ve Kozak (1997) denklemlerine ek olarak iki yeni değişken-şekil gövde çapı modeli daha geliştirmiş ve bu denklemleri kıyaslamıştır. 38 ağaç türünden elde edilen verilere dayanarak yaptığı karşılaştırma sonucunda yeni geliştirilen denklemlerden birinin tüm denklemler içerisinde en başarılı sonuçları verdiğini belirtmiştir. Yeni geliştirilen diğer denklemin ise en basit forma sahip olduğunu ve ticari boy tahmini için en başarılı sonucu verdiğini ortaya koymuştur.

Leites ve Robinson (2004), *Pinus taeda* ağaç türü için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme (NLME) yaklaşımı ve doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemleri ile gövde çapı denklemleri oluşturmuşlardır. Ayrıca, tepe boyutlarının bağımsız değişken olarak kullanılmasının gövde çapı denklemlerinin başarısı üzerine etkisini de incelemişlerdir. Yaptıkları değerlendirmeler sonucunda en başarılı tahminlerin NLME yaklaşımı ile elde edildiğini belirlemişlerdir.

Rojo vd. (2005) tarafından İspanya'nın Galicia bölgesindeki *Pinus pinaster* meşcereleri için gövde çapı denklemleri oluşturmak amacıyla 31 adet gövde çapı denklemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Kozak (2004) tarafından önerilen denklemin en başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Jiang vd. (2005), Batı Virjinya'da yayılış gösteren *Liriodendron tulipifera* ağaç türü için uyumlu parçalı polinomiyal gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirmişlerdir. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976) ve Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen denklemler kullanılmıştır.

Diéguez-Aranda vd. (2006), Kuzeybatı İspanya'daki *Pinus sylvestris* plantasyonları için uyumlu gövde çapı, gövde hacmi ve ticari hacim denklemleri oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmada 14 farklı denklem test edilmiş ve değerlendirmeler sonucunda en başarılı denklem olarak Fang vd. (2000) tarafından önerilen denklem seçilmiştir.

Trincado ve Burkhart (2006) tarafından yapılan çalışmada *Pinus taeda* ağaç türü için gövde çapı denklemlerinin oluşturulması amacıyla NLME modelleme tekniği kullanılarak Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemi kullanılmıştır. NLME modelleme yaklaşımı ile oldukça başarılı gövde çapı tahminlerinin elde edilebildiğini ifade etmişlerdir.

Meydan Aktürk (2006), Artvin yöresi *Picea orientalis* meşcereleri için trigonometrik değişken-şekil gövde çapı denklemi geliştirmiştir. Bu amaçla Bi (2000) tarafından geliştirilen trigonometrik gövde çapı denkleminden yararlanmıştır.

Klos vd. (2007), Kanada'nın Manitoba bölgesindeki 5 farklı ağaç türü için Kozak (1988) tarafından önerilen değişken-şekil gövde çapı denklemine dayanarak gövde çapı denklemleri geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda her bir tür için ayrı denklem geliştirilmesi gerektiğini, aksi takdirde önemli çap tahmini hatalarının ortaya çıkabileceğini ortaya koymuşlardır.

Brooks vd. (2007), çam plantasyonları için gövde çapı, gövde hacmi ve biyokütle tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976) tarafından önerilen gövde çapı denklemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, ilgili denklem yardımı ile hacim, çap ve biyokütle tahminlerinde çok düşük hata yüzdesi değerleri gözlendiğini ifade etmişlerdir.

Sakıcı vd. (2008), Kastamonu yöresi *Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* meşcereleri için gövde çapı denklemleri geliştirmişlerdir. Bu amaçla 3 farklı denklem grubundan (basit polinomiyal, parçalı ve değişken-şekil gövde çapı denklemleri) toplam 31 denklem denemişlerdir. Çalışma sonucunda, en başarılı sonuçların Demaerschalk (1972) tarafından geliştirilen basit poliyomiyal denklem, Farrar (1987) tarafından geliştirilen parçalı denklem ve Kozak (1988) tarafından geliştirilen değişken-şekil denklem ile elde edildiğini belirtmişlerdir. Fakat ilgili yöre ve ağaç

türü için Kozak (1988) tarafından önerilen denklemi önermekle birlikte Demaerschalk (1972) tarafından geliştirilen denklemin de pratik amaçla kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Brooks vd. (2008), Türkiye'deki *Pinus brutia*, *Cedrus libani* ve *Abies cilicica* meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirerek başarılı bulunan model tahminlerini mevcut hacim tablolarından elde edilen tahminler ile karşılaştırmışlardır. Modellerin geliştirilmesinde Max ve Burkhart (1976) tarafından önerilen denklem kullanılmıştır.

Özçelik ve Brooks (2012), Türkiye'deki *Pinus brutia*, *Cedrus libani*, *Abies cilicica*, *Pinus sylvestris* ve *Pinus nigra* meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemi oluşturmuşlardır. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976) ve Clark vd. (1991) tarafından oluşturulan uyumlu gövde çapı denklemlerini denemişler ve Clark vd. (1991) ile elde edilen sonuçların daha başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Başarılı tahmin sağlayan denklem ile ilgili ağaç türlerine ilişkin çift girişli hacim denklemlerini ve Spurr'un hacim denklemini kıyaslamışlardır.

Bueno-López ve Bevilacqua (2012) tarafından *Pinus occidentalis* için NLME tekniği kullanılarak ticari hacim tahminleri elde edilmiştir. Yine aynı çalışmada, gövde çapı denklemi ile bir hacim oran denklemi hacim tahminlerindeki başarıları bakımından NLME tekniği kullanılarak kıyaslanmış ve karışık etkili gövde çapı denkleminin daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur. Ayrıca veri yapısının otokorelasyon probleminin NLME tekniği ile ortadan kaldırılmasına çalışmışlardır.

de-Miguel vd. (2012), gövde çapı tahminleri için birden fazla gövde çapı denklemini NLME yaklaşımı ile kıyaslamışlardır. Ayrıca kalibrasyon işlemi olmaksızın da NLME modelleme yaklaşımı ile çok başarılı sonuçlar elde edilebileceğini ve NLME yaklaşımı ile gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde model başarısının genel olarak denklemin parametre sayısı ile doğru orantılı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Özçelik vd. (2012), Burdur yöresi *Pinus brutia* meşcereleri için Max ve Burkhart (1976) ve Parresol vd. (1987) tarafından önerilen parçalı gövde çapı ve gövde hacim denklemlerine dayanarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri

geliştirmişlerdir. Geliştirilen denklemler, gövde çapı ve gövde hacim tahminleri için güvenilir sonuçlar ortaya koymuş olup en başarılı sonuçlar Max ve Burkhart (1976) tarafından önerilen parçalı gövde çapı ve hacim denklemi ile elde edilmiştir.

Şahin (2012), Sütçüler yöresi *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* meşcereleri için Max ve Burkhart (1976), Parresol vd. (1987), Clark vd. (1991) ve Jiang vd. (2005) tarafından önerilen modellere dayanarak gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirmiştir. Geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin genel olarak oldukça iyi sonuçlar verdiğini belirterek geliştirilen dört gövde çapı ve gövde hacim denklemi arasından en başarılı sonuçların Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilen denklem ile elde edildiğini belirtmiştir.

Atalay (2014), Mudurnu yöresinde yayılış gösteren *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* meşcereleri için Max ve Burkhart (1976), Parresol vd. (1987) ve Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilen denklemleri kullanarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirmiş ve bu denklemlerin başarı durumlarını karşılaştırmıştır. Çeşitli istatistiksel başarı ölçütlerine göre yapılan kıyaslama sonucunda Jiang et al. (2005) denkleminin ağaçların gövde çaplarını tahmin etmede en başarılı denklem olduğunu belirlemiştir.

Ercanlı vd. (2014), Adana-Feke *Pinus brutia* meşcereleri için karışık etkili modelleme ile gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemini kullanmışlardır.

Şenyurt vd. (2014), yaptıkları çalışmada Batı Karadeniz Yöresi *Pinus sylvestris* meşcereleri için Max ve Burkhart (1976) tarafından önerilen parçalı gövde çapı denklemini geliştirmişlerdir. Ayrıca veri yapısının otokorelasyon probleminin NLME ile ortadan kaldırılmasına çalışmışlardır.

Rodríguez vd. (2015), İspanya'da yayılış gösteren sekiz önemli ağaç türü için Daquitaine vd. (1999) tarafından geliştirilen Stud modeli ile Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı denkleminden faydalanarak gövde çapı denklemi oluşturmuşlardır. Ayrıca gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde en sık

karşılaşılan problemlerden olan otokorelasyon ve çoklu bağıntı sorunlarını çözebilmek amacıyla birinci derece otoregresif hata yapısı ve koşul sayılarını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda bu sekiz ağaç türlü için Stud modelinin daha başarılı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Arias-Rodil vd. (2015), İspanya'nın kuzeybatısındaki eşityaşlı *Pinus pinaster* meşcereleri için karışık etkili modelleme yaklaşımıyla gövde çapı denklemi geliştirmişlerdir. Bu amaçla Kozak (2004) tarafından geliştirilen değişken-şekil gövde çapı denkleminden yararlanmışlardır.

Ercanlı vd. (2015a), Mersin-Tarsus yöresi *Pinus nigra* ağaçlandırmaları için otoregresif modelleme tekniği ile parçalı gövde çapı denklemleri geliştirmişlerdir. Bu amaçla Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilen parçalı polinomiyal denklemi ağaçların gövde boyunca çap değişimini tahmin etmede kullanmışlardır. Gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde otoregresif modellemenin kullanımı ile otokorelasyon probleminin giderilmesinde ve model başarı ölçütlerinde belirli oranda iyileşmeler ortaya konulduğunu belirtmişlerdir.

Kumaş (2015), Antalya yöresinde yayılış gösteren *Pinus brutia* meşcereleri için Bruce vd. (1968), Demaerschalk (1972), Demaerschalk (1973), Max ve Burkhart (1976), Parresol vd. (1987), Cao vd. (1980) ve Jiang vd. (2005) denklemlerini kullanılarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirmiş ve bu denklemlerin başarı durumlarını karşılaştırmıştır.

Kurt (2015), Tarsus yöresinde yayılış gösteren *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* meşcereleri için Max ve Burkhart (1976), Parresol vd. (1987) ve Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilen gövde çapı ve gövde hacim denklemlerini kullanarak uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemleri geliştirmiş ve bu denklemlerin başarı durumlarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda Jiang vd. (2005) tarafından önerilen denklemin daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğunu belirtmiştir.

Özçelik ve Göçeri (2015), Doğu Akdeniz yöresi *Eucalyptus grandis* ve *Eucalyptus camaldulensis* plantasyonları için uyumlu parçalı gövde çapı ve ticari gövde hacmi

denklemleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen denklemlerin her iki tür için de benzer sonuçları verdiğini ifade etmişlerdir.

Özçelik ve Yaşar (2015), Ayancık (Sinop) yöresi *Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* meşcereleri için gövde çapı denklemi oluşturmuşlardır. Gövde çapı denklemini geliştirmek amacıyla Sharma ve Parton (2009) tarafından geliştirilen değişken-şekil gövde çapı denklemine dayanarak NLME tekniğinden faydalanmışlardır.

Özçelik ve Crecente-Campo (2016), *Cedrus libani* meşcereleri için belli bir boydaki çap değeri, belli bir çaptaki boy değeri ve ticari hacim miktarlarının tahmini için literatürde yaygın olarak kullanılan 10 adet gövde çapı denkleminin tahminlerini karşılaştırmışlardır. Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen denklemin, belli bir çaptaki boy değerinin tahmini ve ticari gövde hacmi tahminlerinde diğer denklemlere kıyasla öne çıktığını belirtmişlerdir. Genel olarak parçalı gövde çapı denklemlerinin değişken-şekil denklemlere göre daha başarılı tahminler yaptığını ortaya koymuşlardır.

Tang vd. (2016), Çin'in önemli ağaç türlerinden biri olan *Cunninghamia lanceolata* plantasyonları için meşcere bazında uyumlu ticari hacim denklemi ile gövde çapı denklemi geliştirmişlerdir. Bu amaçla Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen denklemden faydalanmışlardır.

Özçelik ve Karaer (2016), Eğirdir yöresi *Pinus brutia* ve *Pinus nigra* meşcereleri için değişken-şekil gövde çapı denklemleri geliştirmişlerdir. Bu amaçla Lee vd. (2003), Sharma ve Zhang (2004) ve Kozak (2004) tarafından önerilen gövde çapı denklemlerini test etmişlerdir. Veri yapısında meydana gelen otokoreslasyon probleminin çözülmesi için ikinci derece otoregresif hata yapısını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda gövde çapı ve ticari boy tahminlerinde en başarılı model Kozak (2004) tarafından önerilen denklem iken, ticari hacim tahminlerinde ise en başarılı modelin her iki ağaç türü için de Sharma ve Zhang (2004) tarafından önerilen denklem olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ercanlı ve Şenyurt (2017), Kızılcahamam yöresi *Pinus sylvestris* meşcereleri için doğrusal olmayan regresyon analizi ve otoregresif modelleme tekniği ile gövde çapı denklemi geliştirmişlerdir. Bu amaçla Jiang vd. (2005) tarafından geliştirilen denklemi ağaçların gövde boyunca çap değişimini tahmin etmede kullanmışlardır.

Özçelik ve Dirican (2017), Bucak yöresi *Cedrus libani-Abies cilicica* karışık meşcereleri için gövde çapı denklemleri geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada, Biging (1984), Muhairwe (1999), Zakrzewski (1999), Fang vd. (2000), Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen denklemleri kullanmışlardır. Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen uyumlu gövde çapı denkleminin her iki ağaç türü için de çap, ticari boy, ticari hacim ve toplam gövde hacmi tahminlerinde diğer denklemlerden daha başarılı olduğunu belirtirken, Zakrzewski (1999) tarafından önerilen denklemin ise diğer denklemlere göre her iki tür için de en başarısız denklem olduğunu ifade etmişlerdir.

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 ve Tatnall 1997; Ashraf vd., 2013). YSA, ormancılık araştırmalarında ise 1990'lı yılların başlarında kullanım alanı bulmaya başlamış ve günümüze kadar ormancılığın farklı disiplinlerindeki araştırmalarda kullanılan yeni bir yöntem olma özelliğini taşımaktadır.

Uluslararası ormancılık literatürü incelendiğinde; Guan and Gartner (1991), Hasenauer vd. (2001) ve Castro vd. (2013) ağaç kurumalarının tahmin edilmesinde, Schmoldt vd. (1997) odun kusurlarının sınıflandırılmasında, Paruelo ve Tomasel (1997) bazı ekosistem fonksiyonlarının tahmininde, Blackard ve Dean (1999) kapalılık tiplerinin tahmin edilmesinde, Zhang vd. (2000) iklim senaryolarına bağlı olarak ağaçlarının artım değerlerinin tahmininde, Leduc vd. (2001), Abbasi vd. (2008) ve Cai vd. (2012) meşcerelerin çap dağılımlarının modellenmesinde, Hasenauer ve Kinderman (2002) gençleştirme müdahalelerine göre boy

gelişimlerinin tahmininde, Corne vd. (2004) çeşitli meşcere karakteristiklerini belirlenmesinde, Diamantopoulou (2005a) ve Diamantopoulou ve Milios (2010) kabuklu ve kabuksuz gövde hacmi tahminlerinde ve Ashraf vd. (2013) ağaçların göğüs yüzeyi ile hacim artımlarının tahmin edilmesinde YSA tekniğinden yararlanmışlardır.

Ülkemizde ise birçok mühendislik alanında YSA'ların kullanımına ilişkin çalışmalar yapılmasına karşın, ormancılık alanında YSA'ları esas alan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Bu çalışmalara ilişkin özet bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

Çalışkan ve Acar (2006), odun hammaddesi üretiminde yapay zeka tekniklerinin bir uygulaması olarak YSA kullanımını değerlendirmiştir.

Özçelik vd. (2008), ağaç hacimlerini tahmin edilmesinde, standard yöntemler (Huber formülü ve yöresel hacim denklemi), modern yöntemler (paracone, centroid, control-variate, importance sampling) ve Cascade korelasyon yapısını içeren YSA yapısını karşılaştırmış, en başarılı tahminleri YSA ile elde etmiştir.

Özçelik vd. (2010), *Pinus sylvestris*, *Pinus brutia*, *Abies cilicica* ve *Cedrus libani* ağaç türleri için ağaç hacimlerinin tahmin edilmesinde en iyi sonuçları Cascade korelasyon yapısını içeren YSA ile elde etmiştir.

Diamantopoulou ve Özçelik (2012), ağaçların boy tahminlerin elde elde edilmesinde genelleştirilmiş regresyon yapısına dayanan YSA ile doğrusal olmayan regresyon modellerini karşılaştırmış, YSA ile daha başarılı boy tahminleri elde etmiştir.

Özçelik vd. (2013), *Pinus nigra* ağaçlarının boylarını tahmin edilmesinde, genelleştirilmiş boy denklemlerini, karışık etkili modellemeye dayanan doğrusal olmayan modeller ile YSA'yı karşılaştırmış, en doğru ve başarılı tahminler geri yayılımlı YSA yapısı ile elde edilmiştir.

Özçelik vd. (2014b), *Pinus brutia* 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.

Yurtseven vd. (2013), meşe-kayın karışık meşceresinde meşcere altı yağış ve açık alana düşen yağış olmak üzere girdi değişkenleri ile intersepsiyon tahminini geri yayılımlı YSA ile gerçekleştirmiştir.

Güntekin vd. (2014), kızılçam kerestesinde elastikiyet değerinin tahmin edilmesinde kereste genişliği, yoğunluk, rutubet, kereste görsel sınıfı, yıllık halka genişliği ve doğal frekans olmak üzere altı adet girdi değişkenine sahip çok katmanlı ağ yapısını içeren YSA ile % 91'lik açıklayıcılığa sahip tahmin başarısı elde edilmiştir.

Demirkır vd. (2014), kontrplakların yapışma direncinin tahmin edilmesinde YSA'yı kullanmış ve hata düzeylerini %5'in altında elde etmiştir.

Diamontopoulou vd. (2015), 2 parametreli Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonun parametrelerinin tahmin edilmesinde Levenberg-Marquardt algoritmasını kullanan YSA ile çap dağılımlarını modellemede başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Ercanlı vd. (2015b), Doğu kayını meşcerelerinde ağaç boyu ile yaşı arasındaki ilişkinin modellenmesinde çeşitli YSA yapılarını denemişler ve bunlar arasında radyal tabanlı YSA modelinin en başarılı sonuçları verdiğini belirtmişlerdir.

Şenyurt vd. (2015), Kestel (Bursa) ormanlarında yayılış gösteren Doğu kayını meşcerelerinde meşcere hacmi, meşcere göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, meşcere orta çapı ve meşcere orta boyu gibi bazı meşcere parametrelerinin meşcere yaşı, bonitet endeksi ve meşcere sıklığı değişkenleri ile tahmin edilmesinde YSA'ların tahmin başarılarını araştırmışlar ve sözü edilen tüm meşcere parametreleri için başarılı sonuçlar bulmuşlardır. Ayrıca, ilgili ağaç türü için YSA tabanlı yöresel bir sıklığa bağlı hasılat tablosu düzenlemişlerdir.

Bolat ve Ercanlı (2016), çap dağılımlarının modellenmesinde kullanılan Weibull fonksiyonunun parametre tahminlerinde YSA'ların kullanımı üzerine yaptıkları

araştırmada Bursa yöresi eşityaşlı ormanlarından alınan 398 örnek alana ilişkin verilerden yararlanmışlar ve oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Ercanlı vd. (2016), Trabzon ve Giresun yöresi Doğu ladini-sarıçam karışık meşcerelerinden alınan 161 örnek alandan elde edilen veriler yardımıyla çap artımlarının YSA modelleri ile tahmin edilmesi üzerine çalışmalarda bulunmuşlar ve YSA tahminleri ile regresyon modellerinden elde edilen tahminleri karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırmada YSA modellerinin tahmin gücü daha yüksek bulunmuştur.

Günlü ve Ercanlı (2017), Göldağ (Sinop) yöresi ormanlarında bulunan saf Doğu kayını meşcerelerinin karbon depolama miktarlarının belirlenmesinde YSA'ların kullanım olanaklarını araştırmışlar ve YSA modellerini regresyon modelleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışma alanından alınan 70 örnek alana ilişkin karbon depolama miktarları öncelikle biyokütle genişletme faktörü (BEF) yardımıyla hesaplanmış ve elde edilen bu değerlerin vejetasyon indisi verilerine dayalı olarak uzaktan algılama teknikleriyle tahmini için YSA modelleri ve regresyon denklemleri geliştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, YSA modelleri karbon depolama tahminleri bakımından daha başarılı bulunmuştur.

Ercanlı ve Bolat (2017), Weibull fonksiyonu yardımıyla çap dağılımlarının modellenmesinde çeşitli YSA yapılarının başarılarını araştırdıkları çalışmalarında Kunduz (Samsun) yöresi eşityaşlı çam ormanlarından alınan 637 örnek alana ilişkin verilerden yararlanmışlar ve en başarılı sonuçların ileri beslemeli geri yayılımlı YSA modeli ile elde edildiğini belirtmişlerdir.

Ormancılıkta son yıllarda kullanım alanı bulmaya başlayan YSA'ların gövde çaplarının tahmininde kullanımı ile ilgili çalışmalar ise çok daha sınırlı sayıdadır. Bu çalışmalara ilişkin temel bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

Diamantopoulou (2005b), *Pinus brutia* ağaçlarının farklı kesit yüksekliklerindeki gövde çaplarını tahmin edilmesinde Cascade korelasyon yapısını içeren YSA yapısı uygulamış ve istatistiksel olarak başarılı tahmin sonuçları elde etmiştir.

Diamantopoulou (2006), ağaçların gövde çaplarını tahmin etmek üzere Cascade korelasyon yapısını içeren YSA modelini kullanmıştır.

Leite vd. (2011), ağaçların gövde çaplarını tahmin etmek üzere doğrusal YSA yapısını kullanarak Kozak vd. (1969) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemi ile karşılaştırılmış ve YSA ile daha başarılı ve etkin tahminler elde etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

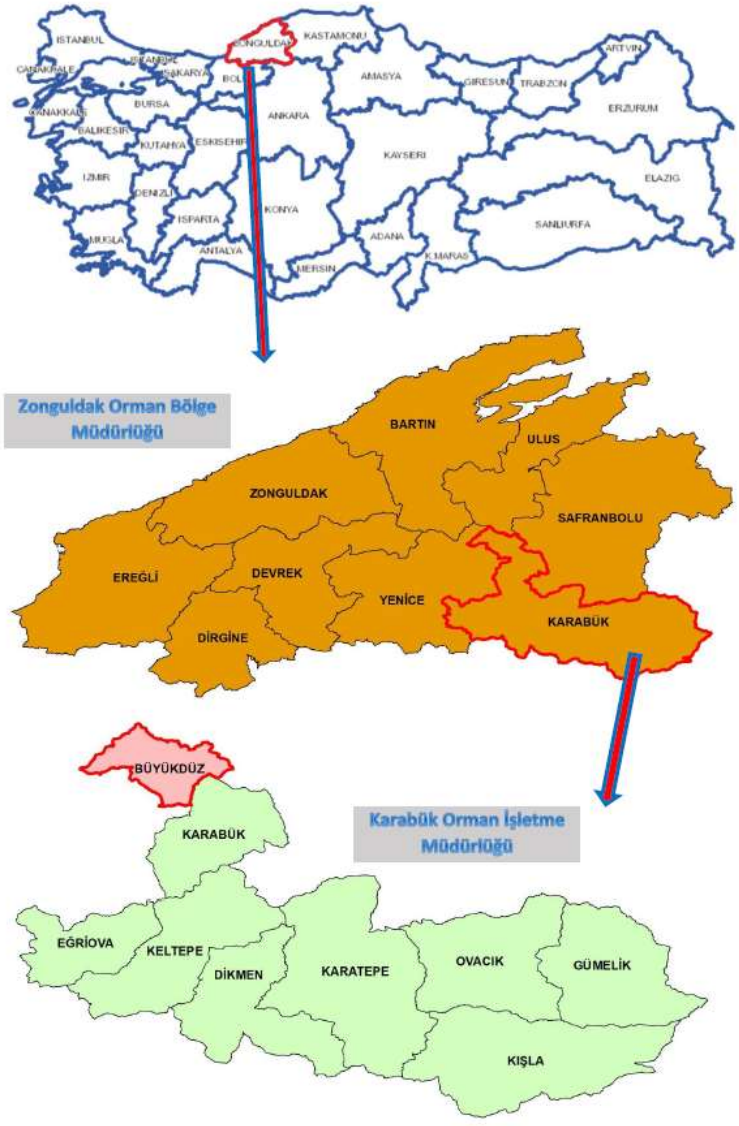
3.1. Materyal

Çalışma verileri Karabük yöresinde geniş bir yayılış alanına sahip olan Doğu kayını (*Fagus orientalis*) - Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) karışık meşcerelerinde bulunan kayın ve göknar türlerine ilişkin örnek ağaçlardan elde edilmiştir. Karabük Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı 9 adet Orman İşletme Şefliği'nden biri olan Büyükdüz Orman İşletme Şefliği'nin toplam alanı 5382,9 ha ve ormanlık alanı ise 5340,6 ha'dır (Şekil 3.1). Söz konusu ormanların yaklaşık %51'i (2708,0 ha) kayın ve göknar türlerinin oluşturduğu kayın-göknar (824,2 ha) veya göknar-kayın (1883,8 ha) karışık meşcerelerinden oluşmaktadır. Kayın-göknar karışık meşcerelerinin 1821,1 ha'ı eşityaşlı ve 62,7 ha'ı değişikyaşlı olarak, göknar-kayın meşcerelerinin ise 297,0 ha'ı eşityaşlı ve 527,2 ha'ı ise değişikyaşlı olarak işletilmektedir. Büyükdüz Orman İşletme Şefliği'nin alansal olarak oldukça yüksek miktarda kayın-göknar karışık meşcereleri içermesi ve söz konusu meşcerelerin yaş, sıklık, yetişme ortamı verim gücü vb. meşcere özellikleri bakımından önemli ölçüde çeşitlilik göstermesi nedenleriyle Karabük yöresinde yürütülen bu çalışmanın Büyükdüz Orman İşletme Şefliği ile sınırlandırılması uygun görülmüştür.

Araştırma alanında bulunan söz konusu karışık meşcerelerde meşcerelerin eşityaşlı veya değişikyaşlı olmasına bağlı olarak eşityaşlı meşcerelerde farklı gelişme çağı (a, b, c ve d), kapalılık (1, 2 ve 3 kapalı) ve bonitet sınıflarından, değişikyaşlı meşcerelerde ise farklı meşcere kuruluşu (A, B, C ve D) ve bonitet sınıflarından olmak üzere toplam 516 adet örnek ağaç (238 adet kayın ve 278 adet göknar) alınmıştır.

Verilerin elde edilmesi amacıyla canlı, düzgün, tepesi sağlam ve tek gövdeli olmasına dikkat edilerek seçilen örnek ağaçlar dip kütük yüksekliğinden (0,3 m) kesilmiştir. Kesilen örnek ağaçlar üzerinde dip kütük çapı (cm) ile göğüs yüksekliği çapı (cm) ölçülmüş ve ardından 2,30 m yüksekliğinden başlamak üzere 1'er m aralıklarla (2,30 m, 3,30 m, 4,30 m…) gövde çapları (cm) ölçülmüştür. Göğüs çapı ve gövde çapları ölçümü 90 derecelik açıyla iki kez ölçülmüş ve ortalamaları

alınarak kaydedilmiştir. Çap ölçümleri çapölçer yardımıyla ve 0,1 cm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Kesilen ağaçların boyları (m) ise şeritmetre yardımıyla 0,01 m hassasiyetinde ölçülmüştür. Alınan 238 adet kayın örnek ağacının göğüs çapları 10,1-88,5 cm ve boyları 8,5-34,0 m arasında, 278 adet göknar örnek ağacının ise göğüs çapları 10,8-100,1 cm ve boyları 7,5-35,6 m arasında değişmektedir. Kayın örnek ağaçları üzerinde farklı gövde yüksekliklerinde (0,30 m, 2,30 m, 3,30 m, …) ölçülen toplam 5300 adet gövde çapı değeri 1,1-91,4 cm arasında ve göknar örnek ağaçları üzerinde farklı gövde yüksekliklerinde ölçülen toplam 6223 adet gövde çapı değeri ise 0,5-104,0 cm arasında değişmektedir. Örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümlere ilişkin istatistiksel değerler Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı

Tablo 3.1. *Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler*

Ağaç Türü	Veri grubu	Değişkenler	n	Minimum	Maksimum	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Kayın	Model geliştirme verileri	Göğüs çapı (cm)	178	10,1	88,5	43,9	16,40
		Ağaç boyu (m)	178	8,5	33,9	22,1	6,56
		Gövde çapı (cm)	3969	1,1	91,4	27,1	16,95
	Kontrol verileri	Göğüs çapı (cm)	60	14,0	80,1	44,3	15,78
		Ağaç boyu (m)	60	8,8	34,0	22,2	6,63
		Gövde çapı (cm)	1331	1,1	82,1	27,2	17,23
	Tüm veriler	Göğüs çapı (cm)	238	10,1	88,5	44,0	16,21
		Ağaç boyu (m)	238	8,5	34,0	22,1	6,56
		Gövde çapı (cm)	5300	1,1	91,4	27,1	17,02
Göknar	Model geliştirme verileri	Göğüs çapı (cm)	208	11,4	100,1	44,4	17,39
		Ağaç boyu (m)	208	7,5	35,6	22,2	6,11
		Gövde çapı (cm)	4647	0,5	104,0	26,4	17,19
	Kontrol verileri	Göğüs çapı (cm)	70	10,8	84,7	43,5	17,19
		Ağaç boyu (m)	70	8,6	34,3	22,4	5,88
		Gövde çapı (cm)	1576	0,9	89,0	25,7	16,96
	Tüm veriler	Göğüs çapı (cm)	278	10,8	100,1	44,2	17,31
		Ağaç boyu (m)	278	7,5	35,6	22,2	6,04
		Gövde çapı (cm)	6223	0,5	104,0	26,2	17,13

Örnek ağaçlardan elde edilen veriler, gövde çapı tahminleri için YSA modellerinin ve gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesi için kullanılacak "Model geliştirme verileri" ve gerek YSA'lar ve gerekse gövde çapı denklemleri ile elde edilen sonuçlarının geçerliliğinin kontrolünde kullanılacak "Kontrol verileri" olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Bu amaçla her iki ağaç türü için de örnek ağaçların %75'inden (178 adet kayın ve 208 adet göknar) elde edilen veriler YSA modellerinin ve gövde çapı denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılırken, %25'inden (60 adet kayın ve 70 adet göknar) elde edilen veriler ise geliştirilen YSA modelleri ve gövde çapı denklemlerinin geçerliliklerinin kontrolünde kullanılmıştır. Model geliştirme ve kontrol verileri için ayrılan örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı kayın için Tablo 3.2'de ve göknar için Tablo 3.3'te verilmiştir. Bu tablolarda parantez içinde verilen sayılar kontrol verileri için ayrılan ağaç sayılarını ifade etmektedir.

Tablo 3.2. *Kayın örnek ağaçlarının çap ve boy basamaklarına dağılımı*

Çap Basamakları (cm)	Boy Basamakları (m)													Toplam
	8,0 - 9,9	10,0 - 11,9	12,0 - 13,9	14,0 - 15,9	16,0 - 17,9	18,0 - 19,9	20,0 - 21,9	22,0 - 23,9	24,0 - 25,9	26,0 - 27,9	28,0 - 29,9	30,0 - 31,9	32,0 - 33,9	
8,0 - 11,9	2													2 (-)
12,0 - 15,9	3 (1)	2												5 (1)
16,0 - 19,9	1	1		(1)										2 (1)
20,0 - 23,9	1 (1)	2 (1)	4 (1)	2	1 (1)									10 (4)
24,0 - 27,9		1 (1)	2 (1)	2 (1)	2	2	1							10 (3)
28,0 - 31,9		(1)	3 (1)	2	3 (1)	3 (1)	1 (1)	1	1					14 (5)
32,0 - 35,9		1	2 (1)	5 (1)	2 (1)	2 (1)	2 (1)	1	2 (1)	3 (1)				20 (7)
36,0 - 39,9			1	1 (1)	2	2 (1)	3 (1)	3 (1)	1 (1)	1				14 (5)
40,0 - 43,9				1 (1)	2 (1)	4 (1)	2 (1)	2 (1)	2	2	2			17 (5)
44,0 - 47,9					2	3 (1)	2	3 (1)	2 (1)	1 (1)	1	(1)		14 (5)
48,0 - 51,9						1 (1)	2 (1)	4 (1)	3 (1)	2 (1)	3 (1)	2		17 (6)
52,0 - 55,9							2	2 (1)	2 (1)	1 (1)	4 (1)	4 (1)		15 (5)
56,0 - 59,9							1	1 (1)	2	1	2 (1)	1 (1)		8 (3)
60,0 - 63,9								1	1 (1)	1	3 (1)	2		8 (2)
64,0 - 67,9									1	1 (1)	1 (1)	2		5 (2)
68,0 - 71,9									1	1	3 (1)	1 (1)	1	7 (2)
72,0 - 75,9											3 (1)	1 (1)		4 (2)
76,0 - 79,9												1 (1)		1 (1)
80,0 - 83,9												2	1 (1)	3 (1)
84,0 - 87,9													1	1 (-)
88,0 - 91,9													1	1 (-)
Toplam	7 (2)	7 (3)	12 (4)	13 (5)	14 (4)	17 (6)	16 (5)	18 (6)	18 (6)	14 (5)	22 (7)	16 (6)	4 (1)	178 (60)

Tablo 3.3. *Göknar örnek ağaçlarının çap ve boy basamaklarına dağılımı*

Çap Basamakları (cm)	Boy Basamakları (m)															Toplam
	6,0 - 7,9	8,0 - 9,9	10,0 - 11,9	12,0 - 13,9	14,0 - 15,9	16,0 - 17,9	18,0 - 19,9	20,0 - 21,9	22,0 - 23,9	24,0 - 25,9	26,0 - 27,9	28,0 - 29,9	30,0 - 31,9	32,0 - 33,9	34,0 - 35,9	
8,0 - 11,9	1	1 (1)														2 (1)
12,0 - 15,9	1	1	(1)	1												3 (1)
16,0 - 19,9		1 (1)	1	5 (1)	2 (1)	1	(1)									10 (4)
20,0 - 23,9		1	2	(1)	4 (1)	2 (1)	1 (1)	1								11 (4)
24,0 - 27,9		2	3 (1)	1	3 (1)	2 (1)	2 (1)	1 (1)								14 (5)
28,0 - 31,9			1	1 (1)	2	3 (1)	2	1 (1)	(1)							10 (4)
32,0 - 35,9				1	2 (1)	2	1 (1)	5 (1)	2 (1)	3 (1)	1					17 (5)
36,0 - 39,9					2	1 (1)	6 (1)	4 (1)	3 (1)	4 (1)	2 (1)	(1)				22 (7)
40,0 - 43,9					1 (1)	2 (1)	2	3 (1)	5 (2)	2 (1)	5 (1)	2 (1)				22 (8)
44,0 - 47,9						1	2	3 (1)	4 (1)	2 (1)	1 (1)	1 (1)	1			15 (5)
48,0 - 51,9							1 (1)	3 (1)	5 (1)	5 (1)	4 (1)	1	(1)			19 (6)
52,0 - 55,9								1 (1)	3 (1)	6 (2)	3 (1)	2	1			16 (5)
56,0 - 59,9								1	1 (1)	1	2 (1)	2 (1)	2			9 (3)
60,0 - 63,9								1	2	1 (1)	2 (1)	1	1			8 (2)
64,0 - 67,9									1 (1)	1 (1)	1	2 (1)	2			7 (3)
68,0 - 71,9										1	2 (1)	1	2 (1)			6 (2)
72,0 - 75,9											3 (1)	1	1 (1)	1		6 (2)
76,0 - 79,9											1	2		1 (1)		4 (1)
80,0 - 83,9												1	1 (1)			2 (1)
84,0 - 87,9													2		1 (1)	3 (1)
88,0 - 91,9													1			1 (-)
100,0 - 103,9															1	1 (-)
Toplam	2 (-)	6 (2)	7 (2)	9 (3)	16 (5)	14 (5)	17 (6)	24 (8)	26 (10)	26 (9)	27 (9)	16 (5)	14 (4)	2 (1)	2 (1)	208 (70)

3.2. Yöntem

Karabük yöresi kayın-göknar karışık meşcerelerinde bulunan kayın ve göknar ağaçlarının farklı gövde yüksekliklerindeki gövde çaplarının tahmininin modellenmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada (i) YSA modelleri ve (ii) Gövde çapı denklemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler ile ilgili detaylı bilgiler ve söz konusu yöntemlerin geçerliliklerinin test edilmesi ve tahmin başarılarının karşılaştırılması ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Gövde Çapı Tahminlerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Bu çalışmada gövde çapı tahminlerinin YSA ile modellenmesinde izlenen yol aşamalar halinde aşağıda açıklanmıştır.

(*i*) Öncelikle girdi ve çıktıların tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde çapının tahmin edilmek istendiği gövde yüksekliği değişkenlerine bağlı olarak gövde çaplarının tahmininin modellenmesi amaçlandığından göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliği değerleri girdileri oluştururken, gövde çapı değerleri ise çıktıyı oluşturmaktadır.

(*ii*) Girdi ve çıktıların tanımlanmasının ardından YSA yapısı tasarlanmalıdır. Bunun için YSA tipine, YSA'nın katman sayısına, katmanlardaki nöron sayılarına, kullanılacak birleştirme ve aktivasyon fonksiyonlarının formuna, kullanılacak öğrenme algoritmasına, eğitim işleminde kullanılan öğrenme ve test verilerinin dağılımına, eğitime ilişkin yineleme sayısına ve girdi ve çıktılara ilişkin veri formuna karar verilmelidir.

YSA Tipi: YSA'ların modellenmesine ilişkin çok sayıda YSA tipi olmakla birlikte bu çalışma kapsamında literatürde en çok tercih edilen "İleri Beslemeli Geri Yayılımlı YSA (Feedforward-Back Propagation ANN)" tipinin kullanılması tercih edilmiştir.

Katman Sayıları: Çalışmada bir girdi katmanı, bir ara katman ve bir çıktı katmanından oluşan çok katmanlı bir YSA yapısının modellenmesi kararlaştırılmıştır.

Katmanlardaki Nöron Sayıları: Girdi katmanı göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliği değerleri olmak üzere üç bağımsız değişkenden oluştuğu için üç nöronlu ve çıktı katmanı yalnızca gövde çapı değerlerinden (bağımlı değişken) oluştuğu için tek nöronludur. Ara katmandaki nöron sayısının belirlenmesi ile ilgili kesin bir kural bulunmamakla birlikte literatürde ara katmandaki nöron sayısının hesaplanması ile ilgili farklı seçenekler sunulmaktadır (Hamzaçebi, 2011). n girdi nöronu sayısını ve m çıktı nöronu sayısını belirtmek üzere, ara katmanda; Lippmann (1987) $2n$+1 adet, Bailey ve Thompson (1990) 0,75n adet, Wong (1991) $2n$ adet, Masters (1993) $(n*m)^{0,5}$ adet ve Tang ve Fishwick (1993) n adet nöron kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında ise farklı alternatifler oluşturabilmek için ara katmanda sabit bir nöron sayısı kullanmak yerine 2, 4, 6, 8 ve 10 adet olmak üzere beş farklı seçenek üretilmiştir.

Birleştirme Fonksiyonu: Girdi katmanından ara katmana ve ara katmandan çıktı katmanına bilgi aktarımı için kullanılan birleştirme fonksiyonu olarak toplama fonksiyonu seçilmiştir. Bu fonksiyon katmanlar arası bilgi aktarımını aşağıdaki denklem formu ile yapmaktadır.

$$net_j = \sum X_i W_{ij} + b \tag{3.1}$$

Bu denklemde;
net_j: j nöronunun toplama fonksiyonu ile elde edilen net girdisini,
X_i: i nöronunun girdisini,
W_{ij}: Birbirini izleyen katmanlardaki i ve j nöronları arasındaki ağırlık değerini,
b: Birbirini izleyen katmanlardaki i ve j nöronları arasındaki hata (bias) değerini,
i: Girdi katmanındaki (veya ara katmandaki) nöronu,
j: Ara katmandaki (veya çıktı katmanındaki) nöronu
ifade etmektedir.

Aktivasyon Fonksiyonu: YSA'larda kullanılabilecek çok sayıda aktivasyon fonksiyonu alternatifi bulunmakla birlikte çok katmanlı ağlar genellikle doğrusal olmayan ilişkilerin modellenmesi için kullanıldıklarından sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında da farklı

alternatiflerin karşılaştırılabilmesini sağlamak amacıyla doğrusal, sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları olmak üzere üç farklı aktivasyon fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bu fonksiyonların matematiksel formları aşağıdaki denklemlerde olduğu gibidir.

$$Ç(net) = net \qquad \text{(Doğrusal fonksiyon)} \qquad (3.2)$$

$$Ç(net) = \frac{1}{1+e^{-net}} \qquad \text{(Sigmoid fonksiyonu)} \qquad (3.3)$$

$$Ç(net) = \frac{2}{1+e^{-2net}} - 1 \qquad \text{(Hiperbolik tanjant fonksiyonu)} \qquad (3.4)$$

Bu denklemlerde;
Ç(net): Aktivasyon fonksiyonu ile elde edilen çıktıyı,
net: Toplama fonksiyonundan gelen net girdiyi
ifade etmektedir.

Öğrenme Algoritması: Çalışma kapsamında, YSA modellerinin eğitimi için literatürde sıklıkla tercih edilen öğrenme algoritması olan Levenberg-Marquardt algoritması tercih edilmiştir.

Öğrenme ve Test Verilerinin Dağılımı: Bu çalışma kapsamında alınan toplam 516 adet örnek ağaç (238 adet kayın ve 278 adet göknar) arasından seçilen 178 adet kayın ve 208 adet göknar örnek ağacına ilişkin veriler modellerin geliştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Model geliştirme amacıyla ayrılan ağaçlardan elde edilen toplam gövde çapı değeri kayın için 3969 ve göknar için 4647 adet olup bu sayılar YSA'ların eğitimine ilişkin veri sayısını ifade etmektedir. Daha önce de açıklandığı üzere YSA'ların eğitiminde kullanılan veriler öğrenme ve test verileri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Test verileri de kendi içlerinde ağın doğrulanması ve kontrolü için iki kısma bölünmektedir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan YSA modellerinde her iki ağaç türü için de model geliştirme verilerinin %70'i öğrenme ve kalan %30'u da test verisi olarak, test verileri de iki eşit parça halinde doğrulama (eğitim verilerinin %15'i) ve kontrol (eğitim verilerinin %15'i) verileri olarak ayrılmıştır. Buna göre; tasarlanan alternatif YSA modellerinin eğitimine ilişkin her

bir yineleme işleminde kayın türü için 2779 adet öğrenme verisi ve 595'er adet doğrulama ve kontrol verisi, göknar türü için ise 3253 adet öğrenme verisi ve 697'şer adet doğrulama ve kontrol verisi kullanılmıştır.

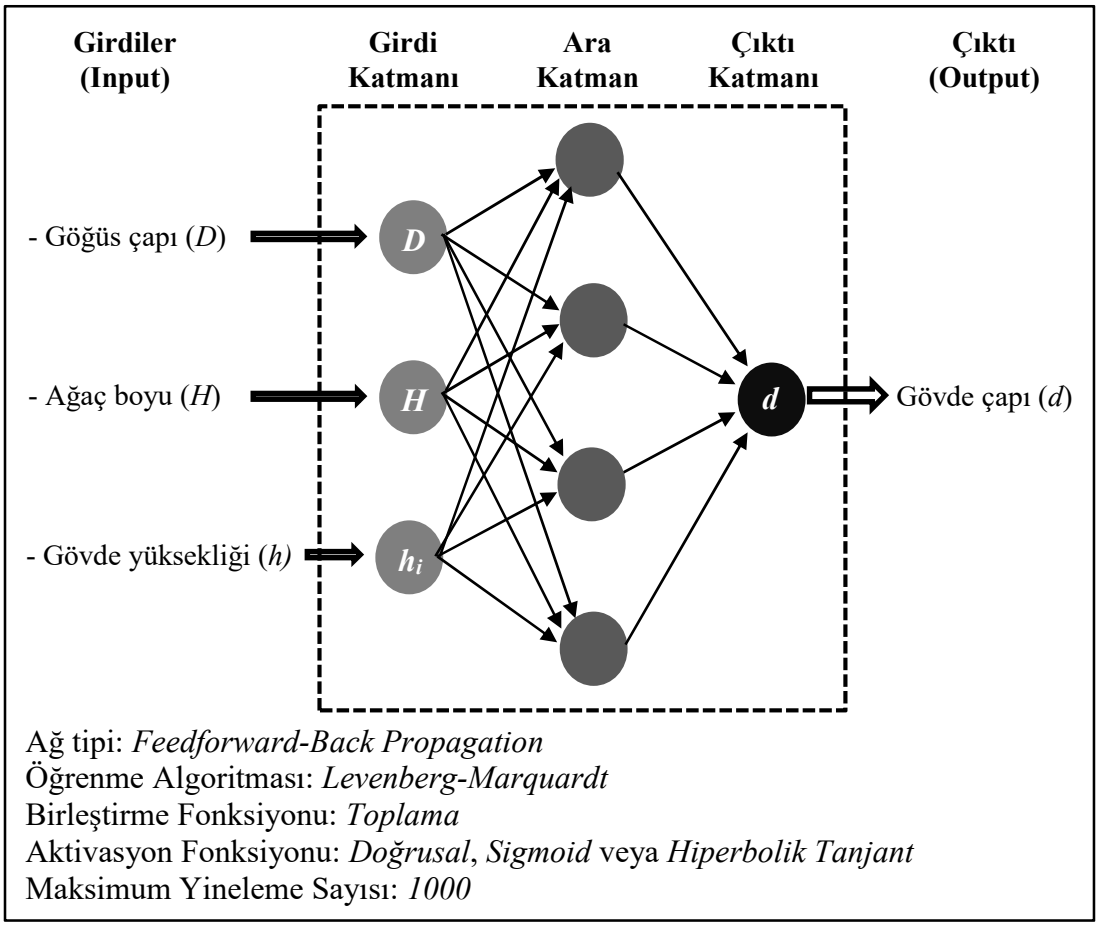
Yineleme Sayısı: YSA modellerinin eğitiminde en uygun çıktının bulunması (nihai ağırlık değerlerinin belirlenmesi) için maksimum yineleme (iterasyon) sayısının 1000 olması kararlaştırılmıştır. Ancak herhangi bir YSA bu maksimum sayıya ulaşmadan da en uygun çözümü bulabilecek ve ağın eğitimini sonlandırabilecektir.

Girdi ve Çıktılara İlişkin Veri Formu: YSA modellerinde kullanılan doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları (bu çalışma için sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları) ile elde edilen çıktılar, kullanılan fonksiyona bağlı olarak normalleştirilmiş değerler (0 ile 1 veya -1 ile 1 aralığında) olmaktadır. Bu nedenle, eğitimde kullanılacak girdi ve çıktıların da normalleştirilmiş değerler olması gerekmektedir. Verilerin normalleştirilmesi ile ilgili çok sayıda alternatif bulunmakla birlikte bu çalışma kapsamında verilerin -1 ile 1 aralığında değerler alacağı normalleştirme işlemi tercih edilmiştir. Bu işlem, gerek girdiler olan göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde çapının tahmin edileceği gövde yüksekliği değerleri ve gerekse çıktı olan gövde çapı değerleri için aşağıda verilen denklem yardımıyla yapılmıştır.

$$X_{norm} = 2\left(\frac{X_O - X_{min}}{X_{maks} - X_{min}}\right) - 1 \qquad (3.5)$$

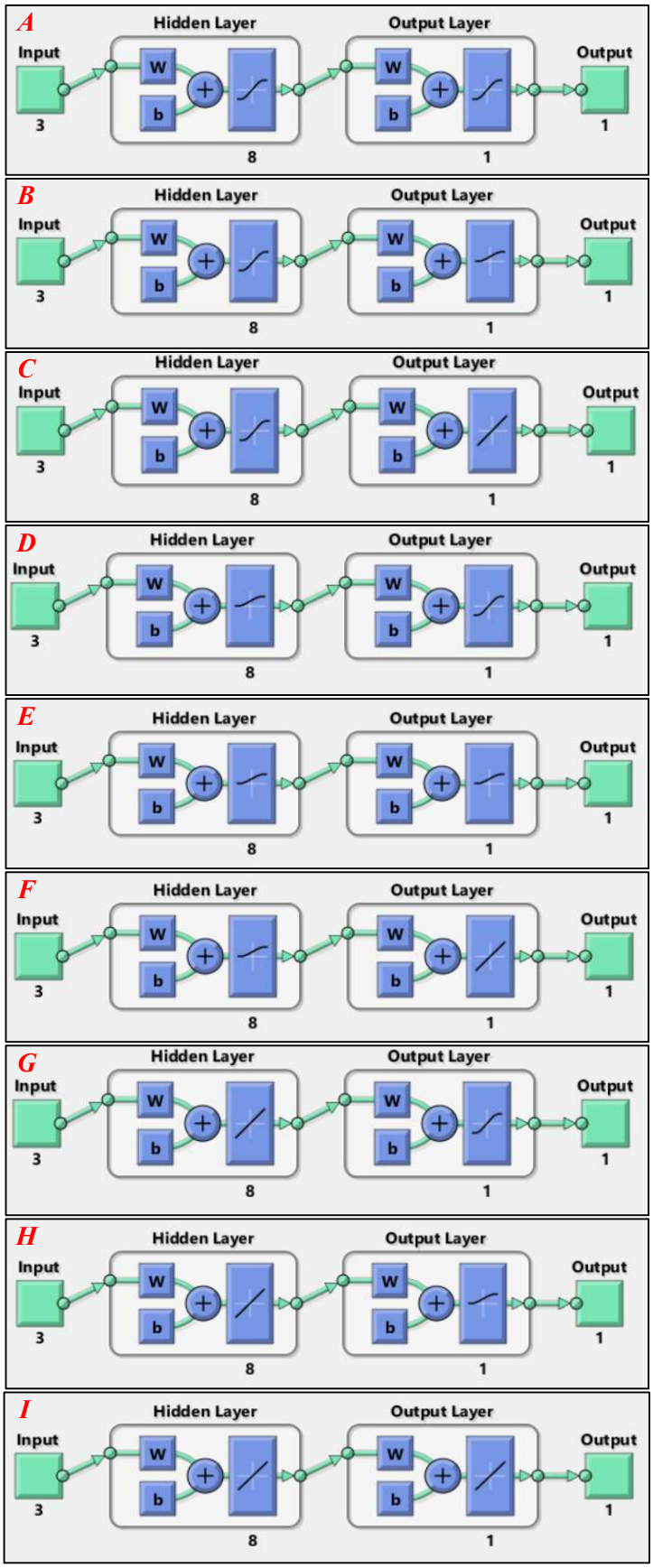
Bu denklemde;
X_{norm}: Normalleştirilmiş veri değerini,
X_O: Orijinal veri değerini,
X_{min}: Veri setine ilişkin en küçük veri değerini,
X_{maks}: Veri setine ilişkin en büyük veri değerini
ifade etmektedir.

Tasarlanan YSA modellerinin temel yapısına ilişkin diyagram, ara katmandaki nöron sayısının 4 olduğu bir örnek için Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. YSA model tasarım şeması

(*iii*) Tasarlanan alternatif YSA modellerinin eğitilmesi ve çıktılarının elde edilmesi için MATLAB yazılımının R2015a versiyonundan yararlanılmıştır (The MathWorks Inc., 2015). Bu aşamada, her iki ağaç türü için de göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliği değerlerinin girdi ve gövde çapı değerlerinin çıktı olarak tanıtıldığı çok katmanlı (girdi, ara ve çıktı katmanları) bir ileri beslemeli ve geri yayımlı YSA tipi için; öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması, maksimum yineleme sayısı olarak 1000 ve birleştirme fonksiyonu olarak toplama fonksiyonu formunun kullanımı standart olarak ayarlanarak ara katmandaki nöron sayıları için beş (2, 4, 6, 8 ve 10 adet), ara ve çıktı katmanlarındaki aktivasyon fonksiyonları için ise üçer (doğrusal fonksiyon, sigmoid fonksiyonu ve hiperbolik tanjant fonksiyonu) alternatif oluşturularak toplamda 45 farklı YSA modeli geliştirilmiş ve MATLAB programının "Neural Network Toolbox (*nntool*)" prosedürü kullanılarak bu modeller koşturulmuştur. Alternatif YSA modellerinin MATLAB programındaki model yapıları, ara katmandaki nöron sayısının 8 olduğu bir örnekle Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. YSA model yapılarının MATLAB programında görünümü

MATLAB programının dilinin İngilizce olması nedeniyle Şekil 3.3'te model yapılarına ilişkin katman isimleri İngilizcedir. Bunlardan "Hidden Layer" ara katmanı ve "Output Layer" ise çıktı katmanını ifade etmektedir. Şekil 3.3 içerisinde *A*, *B* ve *C* ile gösterilen şekillerde ara katmanın aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant fonksiyonu ve çıktı katmanının aktivasyon fonksiyonu da sırasıyla hiperbolik tanjant, sigmoid ve doğrusal fonksiyonlar, *D*, *E* ve *F* ile gösterilen şekillerde ara katmanın aktivasyon fonksiyonu sigmoid fonksiyonu ve çıktı katmanının aktivasyon fonksiyonu da sırasıyla yine hiperbolik tanjant, sigmoid ve doğrusal fonksiyonlar ve *G*, *H* ve *I* ile gösterilen şekillerde de ara katmanın aktivasyon fonksiyonu doğrusal fonksiyon ve çıktı katmanının aktivasyon fonksiyonu da yine sırasıyla hiperbolik tanjant, sigmoid ve doğrusal fonksiyonlardır. Şekil içerisinde görülen *W* değerleri ilgili katmana ilişkin ağırlık değerlerini ve *b* değerleri de aynı katmana ilişkin hataları göstermektedir. Örnek olarak *D* şekli ile gösterilen model yapısı açıklanacak olursa; bu YSA modelinde girdi katmanında bulunan üç girdi (göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliklerine ilişkin normalleştirilmiş değerler) ara katmandaki nöronlara aktarılmakta, her bir nörona gelen girdiler toplama fonksiyonu yardımıyla nöronlarda hesaplanan ağırlık değerleri (*W*) ile çarpılıp toplanarak ve bu değere yine aynı nörona ait hata (*b*) değeri eklenerek ara katmandaki nöronlara ilişkin net girdiler elde edilmekte, her bir nöronda elde edilen elde edilen net girdi ara katman için aktivasyon fonksiyonu olarak seçilen sigmoid fonksiyonu yardımıyla çıktı katmanına aktarılmakta, ara katmandan gelen bu değerler yine toplama fonksiyonu yardımıyla toplanarak çıktı katmanına ilişkin net girdi hesaplanmakta ve hesaplanan bu net girdi de çıktı katmanı için aktivasyon fonksiyonu olarak seçilen hiperbolik tanjant fonksiyonu yardımıyla YSA modelinin çıktısına dönüşmektedir. Elde edilen bu çıktı değeri de tıpkı girdi değerleri gibi normalleştirilmiş (-1 ile 1 aralığında) bir değer olduğundan gerçek çıktıların (gövde çapı tahminlerinin) elde edilebilmesi için, YSA modeli ile elde edilen çıktının aşağıdaki denklem yardımıyla gerçeğe dönüştürülmüş (normalleştirilmemiş) değerlere dönüştürülmesi gerekir.

$$X_{denorm} = \frac{(X_{output}+1)(X_{maks}-X_{min})}{2} + X_{min} \qquad (3.6)$$

Bu denklemde;

X_{denorm}: Gerçeğe dönüştürülmüş çıktı değerini,

X_{output}: YSA ile elde edilen normalleştirilmiş çıktı değerini,
X_{min}: Veri setine ilişkin en küçük çıktı değerini,
X_{maks}: Veri setine ilişkin en büyük çıktı değerini
ifade etmektedir.

Geliştirilen alternatif YSA modelleri arasından seçilen herhangi bir başarılı YSA modeli yardımı ile bağımsız bir veri setine ilişkin girdi değerleri kullanılarak çıktı üretilmesinde izlenebilecek yol aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

- Öncelikle seçilen YSA modelinin ara katmana ilişkin ağırlık (W_{ij}) ve hata değerleri (b_j) yardımıyla ara katmandaki nöronlara ilişkin birleştirme (toplama) fonksiyonu değerleri 3.1 nolu denklem ile hesaplanır.

- Ara katmanda her bir nöron için hesaplanan toplam değerler, çıktı katmanına aktarılmak üzere ara katmana ilişkin aktivasyon fonksiyonuna (3.2, 3.3 veya 3.4 nolu denklemler) tabi tutularak transfer edilecek değerler hesaplanır.

- Çıktı katmanına aktarılan transfer değerleri kullanılarak bu katmana ilişkin ağırlık ve hata değerleri yardımıyla çıktı katmanındaki nöronlara ilişkin toplama fonksiyonu değerleri yine 3.1 nolu denklem yardımıyla hesaplanır.

- Çıktı katmanı için hesaplanan toplam değer, bu katmana ilişkin aktivasyonu fonksiyonuna (3.2, 3.3 veya 3.4 nolu denklemler) tabi tutularak çıktı katmanına ilişkin çıktı değeri hesaplanır. Bu değer YSA modelinin son çıktısıdır ve modelin tahmin değerini verir.

- Çıktı katmanının çıktı (tahmin) değeri normalleştirilmiş bir değer olduğundan bu değer 3.5 nolu denklem yardımıyla gerçek (normalleştirilmemiş) çıktı değerine dönüştürülür ve gerçek tahmin değeri elde edilir.

3.2.2. Gövde Çapı Tahminlerinin Gövde Çapı Denklemleri ile Modellenmesi

Gövde çapı denklemleri, daha önce de belirtildiği gibi (*i*) Basit polinomiyal gövde çapı denklemleri, (*ii*) Parçalı gövde çapı denklemleri ve (*iii*) Değişken-şekil gövde

çapı denklemleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Sakıcı vd., 2008). Bunlardan ilk gruba giren denklemler göğüs çapı ve ağaç boyunun bir fonksiyonu olup, tüm gövdenin ortalama bir şekil katsayısı ile değiştiği varsayımıyla gövde çapı tahminlerini modellemektedirler. İkinci ve üçüncü gruptaki denklemler ise, sırasıyla gövde şeklinin belirli gövde yüksekliklerinde değiştiği ve gövde şekli değişiminin tüm gövde boyunca sürekli bir biçimde devam ettiği varsayımlarıyla gövde çapı tahminlerini modelleyen denklemlerdir.

Basit polinomiyal gövde çapı denklemlerinin gövde şeklindeki değişimi standart kabul etmesi ve bu nedenle tahmin başarılarının düşük olması nedeniyle bu tür denklemler genellikle tercih edilmemekte ve gövde çaplarının tahmin edilmesinde genellikle parçalı ve değişken-şekil gövde çapı denklemleri öne çıkmaktadır.

Parçalı gövde çapı denklemlerinde bir ağaç gövdesi toprak seviyesinden uca kadar (*i*) toprak seviyesine yakın bölüm, (*ii*) birinci bölüm ile tepe başlangıç yüksekliği arasında kalan bölüm ve (*iii*) tepe kısmındaki bölüm olmak üzere üç bölüme ayrılmakta ve ilki bölümün nayloid, ikinci bölümün paraboloit ve üçüncü bölümün de koni biçiminde olduğu varsayılmaktadır. Gövde çaplarının modellenmesinde bu bölümlerin her birindeki çap düşüşleri için ayrı denklemler geliştirilmekte ve katılma noktası adı verilen ve bölümler arası geçişleri temsil eden yapay değişkenler yardımıyla bu üç denklem birleştirilerek gövde çapı denklemi elde edilmektedir (Max ve Burkhart, 1976; Clark vd., 1991; Fang vd., 2000; Jiang vd., 2005).

Değişken-şekil gövde çapı denklemlerinde ise, ağaç gövdesinde görülen şekil değişimi bir sürekli polinomiyal denklem ile açıklanmakta ve ağaç gövdesinin dipten tepeye doğru nayloid, paraboloid ve bunlar arasındaki formlara sahip parçalardan oluştuğu düşünülerek gövde çapları modellenmektedir (Kozak, 1988; Newnham, 1992; Perez vd., 1990).

Bu çalışma kapsamında gövde çapı tahminlerinin regresyon denklemlerine bağlı olarak modellenmesinde parçalı gövde çapı denklemleri ve değişken-şekil gövde çapı denklemleri kullanılmıştır. Bu amaçla ikisi parçalı gövde çapı denklemi ve ikisi de değişken-şekil gövde çapı denklemi olmak üzere dört farklı denklem dikkate alınarak

bu denklemlerin Karabük yöresi kayın-göknar karışık meşcerelerinde bulunan kayın ve göknar ağaçlarına ilişkin gövde çapları için parametre tahminleri yapılmıştır. Parametre tahminlerinde SAS yazılımının MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute Inc., 2002).

Çalışma kapsamında değerlendirilen ilk denklem Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı denklemi olup, bu denklem gövde çapı tahminlerinin modellenmesi ile ilgili birçok araştırmada başarılı sonuçlar vermiştir (Figueiredo-Filho vd., 1996; Jiang vd., 2005; Brooks vd., 2008; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016). Bu denklem, ağaç gövdesini üç bölüme ayırarak her bir bölümünü farklı bir geometrik şekille tanımlamıştır. Buna göre, ağaç gövdesinin dibe yakın bölümünün nayloid, orta bölümünün kesik paraboloid ve tepe bölümünün da koni olduğu varsayımıyla her bir bölüm için sözü edilen farklı geometrik şekilleri tanımlayan denklemler geliştirilmiş ve geliştirilen bu denklemler de söz konusu üç bölüm arasındaki şekil değişiminin görüldüğü yükseklikleri ifade eden iki katılma noktası ile birleştirilerek bütünleşik denklem formu elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan parçalı denklemlerin ikincisi Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen denklemdir. Bu denklemin başarılı sonuçlar verdiği çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Rojo vd., 2005; Diéguez-Aranda vd., 2006; Corral-Rivas vd., 2007; Crecente-Campo vd., 2009; Pompa-García, 2009; Li ve Weiskittel, 2010; Özçelik ve Göçeri, 2015; Özçelik vd., 2016; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016). Bu denklem formunda da ağaç gövdesi üç bölüme ayrılarak her bir bölümde yer alan gövde çaplarının tahmini için geliştirilen denklemler iki katılma noktası yardımıyla tek bir denklemde birleştirilmektedir.

Gövde çaplarının modellenmesinde kullanılan bir diğer gövde çapı denklem formu olan değişken-şekil gövde çapı denklemlerinden bu çalışma kapsamında kullanılan ilk denklem Bi (2000) tarafından geliştirilen ve trigonometrik esaslara dayanan denklemdir. Birçok araştırmacı gövde çapı tahminlerinde bu denklemin başarılı sonuçlar verdiğini ifade etmiştir (Bi ve Long, 2001; Rojo vd., 2005; Pompa-García, 2009; Li ve Weiskittel, 2010; de-Miguel vd., 2012; Özçelik vd., 2016). Bi (2000) denklemi, tahmin edilmek istenen gövde çapının yerden yüksekliğinin ağaç boyuna

oranı şeklinde ifade edilebilecek olan oransal yükseklik (h/H) ile göğüs boyunun oransal yüksekliği (1,3/H) değerlerinin sinüs dönüşümlerinin doğal logaritma (*e*) tabanında oranlanmasına dayanan üssel bir fonksiyon formundadır. Bu denklemde yer alan trigonometrik ifadeler radyan cinsindendir.

Değişken-şekil gövde çapı denklemlerinden bu çalışma kapsamında kullanılan ikinci denklem ise Kozak (2004) tarafından geliştirilen denklemdir. Bu denklem de literatürde öne çıkan denklemlerdendir (Rojo vd., 2005; Diéguez-Aranda vd., 2006; Corral-Rivas, vd., 2007; Berhe ve Arnoldsson, 2008; Yang vd., 2009; Li ve Weiskittel, 2010; Rupšys ve Petrauskas, 2010; Fonweban vd., 2011; Li vd., 2012; de-Miguel vd., 2012; Gómez-García vd., 2013; Menéndez-Miguélez vd., 2014; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016).

Çalışma kapsamında değerlendirilen gövde çapı denklemlerine ilişkin matematiksel fonksiyonlar aşağıda verilmiştir.

Max ve Burkhart (1976) gövde çapı denklemi:

$$d^2 = D^2[b_1(q-1) + b_2(q^2-1) + b_3(p_1-q)^2 I_1 + b_4(p_2-q)^2 I_2] \tag{3.7}$$

$$I_i = \begin{cases} 1 & p_i \geq q \\ 0 & p_i < q \end{cases} \qquad i = 1, 2$$

Fang vd. (2000) gövde çapı denklemi:

$$d = c_1 \sqrt{H^{(k-b_1)/b_1}(1-q)^{(k-\beta)/\beta} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2}} \tag{3.8}$$

$$I_1 = \begin{cases} 1 & p_1 \leq q \leq p_2 \\ 0 & p_1 > q, p_1 < q \end{cases} \qquad I_2 = \begin{cases} 1 & p_2 < q \leq 1 \\ 0 & p_2 \geq q \end{cases} \qquad i = 1, 2$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{a_0 D^{a_1} H^{a_2 - k/b_1}}{b_1(r_0 - r_1) + b_2(r_1 - \alpha_1 r_2) + b_3 \alpha_1 r_2}} \tag{3.8a}$$

$$\beta = b_1^{1-(I_1+I_2)} b_2^{I_1} b_3^{I_2} \tag{3.8b}$$

$$\alpha_1 = (1-p_1)^{(b_2-b_1)k/b_1 b_2} \tag{3.8c}$$

$$\alpha_2 = (1 - p_2)^{(b_3 - b_2)k/b_2 b_3} \quad (3.8d)$$

$$r_0 = \left((1 - 1{,}3)/H\right)^{k/b_1} \quad (3.8e)$$

$$r_1 = (1 - p_1)^{k/b_1} \quad (3.8f)$$

$$r_2 = (1 - p_2)^{k/b_2} \quad (3.8g)$$

Bi (2000) gövde çapı denklemi:

$$d = D\left(\frac{\ln\sin\left(\frac{\pi}{2}q\right)}{\ln\sin\left(\frac{\pi}{2}b\right)}\right)^{b_0 + b_1\sin\left(\frac{\pi}{2}q\right) + b_2\cos\left(\frac{3\pi}{2}q\right) + b_3\sin\left(\frac{\pi}{2}q\right)/q + b_4 D + b_5 q\sqrt{D} + b_6 q\sqrt{H}} \quad (3.9)$$

Kozak (2004) gövde çapı denklemi:

$$d = a_0 D^{a_1} H^{a_2}\left(\frac{1-q^{1/3}}{1-b^{1/3}}\right)^{\left(b_1 q^4 + b_2\left(\frac{1}{e^{D/H}}\right) + b_3\left(\frac{1-q^{1/3}}{1-b^{1/3}}\right)^{0,1} + b_4\left(\frac{1}{D}\right) + b_5 H^{\left(1-q^{1/3}\right)} + b_6\left(\frac{1-q^{1/3}}{1-b^{1/3}}\right)\right)} \quad (3.10)$$

Bu denklemlerde;
d: Tahmin edilmek istenen gövde çapını (cm),
D: Göğüs çapını (cm),
H: Ağaç boyunu (m),
h: Tahmin edilmek istenen gövde çapının yerden yüksekliğini (m),
q: Tahmin edilmek istenen gövde çapının oransal yüksekliğini (*h/H*),
b: Oransal göğüs yüksekliğini (*1,3/H*),
p_i: Gövde şeklinin değiştiği katılım noktalarının oransal yüksekliklerini,
k: π/40000 katsayısını,
a_i ve b_i: Denklem parametrelerini
ifade etmektedir.

3.2.3. Modellerin Karşılaştırılması ve Test Edilmesi

Gövde çapı tahminleri için geliştirilen YSA modellerinin ve gövde çapı denklemlerinin tahmin başarılarının belirlenmesinde yedi farklı istatistiksel ölçütten

yararlanılmıştır. Bu ölçütler; Belirtme Katsayısı (R^2), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (*HKOK*), Ortalama Hata (*OH*), Ortalama Mutlak Hata (*OMH*), Toplam Hata Yüzdesi (*TH%*), Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (*OMH%*) ve Akaike Bilgi Ölçütü (*AIC*)'dür. Bu ölçütlere ilişkin denklemler aşağıda verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(d_i - \hat{d}_i)^2}{\sum(d_i - \bar{d}_i)^2} \tag{3.11}$$

$$HKOK = \sqrt{\frac{\sum(d_i - \hat{d}_i)^2}{n-p}} \tag{3.12}$$

$$OH = \frac{\sum(\hat{d}_i - d_i)}{n} \tag{3.13}$$

$$OMH = \frac{\sum|\hat{d}_i - d_i|}{n} \tag{3.14}$$

$$TH(\%) = \frac{\sum \hat{d}_i - \sum d_i}{\sum d_i} 100 \tag{3.15}$$

$$OMH(\%) = \frac{\sum|\hat{d}_i - d_i|}{\sum d_i} 100 \tag{3.16}$$

$$AIC = n \log\left(\frac{\sum(\hat{d}_i - d_i)^2}{n}\right) + 2p \tag{3.17}$$

Bu denklemlerde;

d_i: *i*. ağaca ilişkin ölçülen gövde çapını (cm),

$\hat{d}_i$: Geliştirilen model yardımıyla *i*. ağaca ilişkin hesaplanan gövde çapını (cm),

$\bar{d}_i$: Ölçülen ağaçlara ilişkin ortalama gövde çapını (cm),

n: Örnek sayısını,

p: Modellerdeki parametre sayısını

ifade etmektedir.

Geliştirilen herhangi bir model için bu ölçütlerden R^2'nin yüksek ve diğer ölçütlerin ise düşük olması beklenir ve modeller arası karşılaştırmalar bu beklentilere göre yapılır. Geliştirilen YSA modelleri ve gövde çapı denklemleri bu ölçütlere göre

öncelikle kendi aralarında karşılaştırılmış ve her iki grup için de başarılı bulunan modeller belirlenmiştir. Sonrasında ise her iki gruba ilişkin başarılı bulunan modeller yine bu ölçütlere göre birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Modellerin karşılaştırılmasında Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rölatif sıralama yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemde modeller, her bir istatistiksel ölçüt için aşağıdaki denklem yardımıyla en başarılıdan en başarısıza doğru 1 ile *m* (karşılaştırılan model sayısı) arasında sıralamaya tabi tutulmaktadır. Böylelikle ilgili istatistiksel ölçüt için rölatif sırası 1 olan model o ölçüte göre en başarılı ve *m* olan model de en başarısız model olmakta, diğer modeller de 1'den büyük *m*'den küçük rölatif değerler alarak sıralanmaktadır. Genel sıralamayı belirlemek için ise, her bir modele ilişkin istatistiksel ölçütler için hesaplanan rölatif sıralama değerleri toplanarak elde edilen toplam değere göre yeniden bir rölatif sıralama yapılmakta ve modellerin genel başarı sıralamaları elde edilmektedir. Rölatif sıralama yönteminin en önemli avantajı, modellere ilişkin sıralama değerlerinin rölatif değerler olması nedeniyle modellerin başarıları arasındaki yakınlık veya uzaklık durumunun ortaya konulabilmesidir. Bir başka ifade ile, standart sıralamada 1, 2, …, *m* şeklinde sıralanan modeller başarı bakımından herhangi bir gruplandırmaya tabi tutulamazken rölatif sıralamada bu değerler 1, 1.2, 2.9, …, *m* olabileceğinden rölatif sıralarındaki yakınlıklarından dolayı ilk sırada yalnızca bir model değil birkaç model birden de yer alabilecektir.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{min})}{(S_{maks} - S_{min})} \tag{3.18}$$

Bu denklemde;
R_i: i. modele ilişkin rölatif sırayı,
S_i: i. modele ilişkin istatistiksel ölçüt değerini,
S_{min}: Modeller arasındaki en düşük S_i değerini,
S_{maks}: Modeller arasındaki en yüksek S_i değerini,
m: Karşılaştırılan model sayısını
ifade etmektedir.

Yukarıda verilen denklem, karşılaştırılan istatistiksel ölçüt bakımından en düşük değere sahip modelin en başarılı ve en yüksek modelin ise en başarısız olması üzerine kurgulanmıştır. Çalışma kapsamında R^2 dışındaki tüm ölçütler için kullanılabilecek olan bu denklemin R^2 ölçtü için yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Bu düzenleme, denklemde yer alan S_{min} değerlerinin S_{maks} ile S_{maks} değerlerinin de S_{min} ile değiştirilmesi şeklindedir.

Geliştirilen YSA modellerinin ve gövde çapı denklemlerinin bağımsız bir veri grubu için geçerlilikleri, kontrol için ayrılan 60 adet kayın ve 70 adet göknar ağacına ilişkin veriler yardımıyla test edilmiştir. Bu test, geliştirilen modeller yardımıyla hesaplanan (tahmini) gövde çapı değerleri ile ölçülen (gerçek) gövde çapı değerlerinin Eşlendirilmiş Örnekler İçin t Testi ile karşılaştırılması ile yapılmıştır.

Geliştirilen modeller arasından başarılı bulunanların tahmin başarıları hata dağılım grafikleri yardımıyla görsel olarak da incelenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karabük yöresi karışık meşcerelerinde bulunan kayın ve göknar ağaçlarının gövde çapı tahminleri için tasarlanan 45 farklı YSA modeli ve geliştirilen 4 farklı gövde çapı denklemi için elde edilen bulgular, modellerin test sonuçları ve modeller arasında yapılan karşılaştırmalara ilişkin sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

4.1. Yapay Sinir Ağı Modellerine İlişkin Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliği değerlerinin girdi ve gövde çapı değerlerinin çıktı olarak kullanıldığı çok katmanlı bir ileri beslemeli ve geri yayımlı YSA tipi için; öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması, maksimum yineleme sayısı olarak 1000 ve birleştirme fonksiyonu olarak toplama fonksiyonu formunun kullanımı standart olarak belirlenerek ara katmandaki nöron sayıları için beş (2, 4, 6, 8 ve 10 adet), ara ve çıktı katmanlarındaki aktivasyon fonksiyonları için ise üçer (doğrusal fonksiyon, sigmoid fonksiyonu ve hiperbolik tanjant fonksiyonu) alternatif oluşturularak toplamda 45 farklı YSA modeli (Tablo 4.1) tasarlanmış ve MATLAB programının "Neural Network Toolbox (*nntool*)" prosedürü kullanılarak bu modeller her iki ağaç türü için de koşturulmuştur. Tasarlanan modellerin analizinde model geliştirme verilerinden yararlanılmıştır.

Geliştirilen YSA modellerine ilişkin istatistiksel ölçütler Kayın ağaç türü için Tablo 4.1'de ve göknar ağaç türü için ise Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablolar incelendiğinde her iki ağaç türü için de çıktı katmanına ilişkin aktivasyon fonksiyonunun sigmoid fonksiyonu olarak alındığı tüm YSA modellerinin başarısız tahminlerde bulunduğu ve R^2 değerlerinin düşük, hatalara ilişkin istatistiksel ölçütlerin ise oldukça yüksek değerler aldığı görülmektedir. Ara katmana ilişkin aktivasyon fonksiyonunun doğrusal fonksiyon ve çıktı katmanına ilişkin aktivasyon fonksiyonunun da hiperbolik tanjant veya sigmoid fonksiyonu olarak alındığı YSA modellerinin başarıları da kısmen düşüktür. Ancak, ara katmana ilişkin aktivasyon fonksiyonunun hiperbolik tanjant veya sigmoid fonksiyonu ve çıktı katmanına ilişkin aktivasyon fonksiyonunun da hiperbolik tanjant veya doğrusal fonksiyon olarak alındığı YSA modellerinin başarıları yüksek bulunmuştur.

Tablo 4.1. *YSA modellerine ilişkin istatistiksel ölçütler (Kayın)*

Aktivasyon Fonksiyonu		Nöron Sayısı	R^2	*HKOK*	*OH*	*OMH*	*TH(%)*	*OMH(%)*	*AIC*
Ara Katman	Çıktı Katmanı								
Hiperbolik Tanjant	Hiperbolik Tanjant	2	0,962	3,323	0,148	2,465	0,547	9,096	4158
		4	0,976	2,637	-0,031	1,937	-0,114	7,146	3376
		6	0,979	2,493	0,023	1,830	0,085	6,752	3198
		8	0,979	2,469	-0,044	1,807	-0,161	6,667	3180
		10	0,978	2,528	-0,002	1,816	-0,006	6,701	3277
	Sigmoid	2	0,637	25,076	20,551	20,886	75,820	77,057	11125
		4	0,637	25,108	20,555	20,882	75,835	77,041	11145
		6	0,666	25,670	19,145	22,103	70,634	81,548	11237
		8	0,646	25,170	20,591	20,864	75,970	76,975	11184
		10	0,643	25,202	20,580	20,857	75,928	76,948	11204
	Doğrusal	2	0,968	3,025	-0,108	2,259	-0,398	8,335	3833
		4	0,976	2,608	-0,031	1,882	-0,113	6,945	3338
		6	0,978	2,548	-0,037	1,813	-0,137	6,688	3274
		8	0,978	2,523	0,018	1,805	0,067	6,659	3254
		10	0,979	2,485	-0,033	1,775	-0,122	6,549	3218
Sigmoid	Hiperbolik Tanjant	2	0,961	3,361	0,075	2,492	0,275	9,193	4196
		4	0,976	2,608	0,030	1,903	0,111	7,020	3338
		6	0,978	2,534	-0,046	1,825	-0,171	6,734	3254
		8	0,978	2,513	-0,002	1,807	-0,008	6,668	3240
		10	0,980	2,437	0,035	1,729	0,128	6,379	3150
	Sigmoid	2	0,659	25,609	19,528	22,142	72,048	81,689	11197
		4	0,612	25,638	19,145	22,103	70,634	81,548	11217
		6	0,645	25,137	20,583	20,860	75,939	76,961	11164
		8	0,643	25,169	20,569	20,861	75,886	76,963	11184
		10	0,643	25,201	20,579	20,859	75,923	76,958	11204
	Doğrusal	2	0,968	3,015	-0,026	2,240	-0,098	8,265	3822
		4	0,977	2,587	-0,009	1,873	-0,034	6,912	3310
		6	0,978	2,519	-0,009	1,826	-0,032	6,737	3233
		8	0,978	2,527	0,051	1,803	0,189	6,653	3260
		10	0,979	2,478	0,010	1,771	0,038	6,533	3208
Doğrusal	Hiperbolik Tanjant	2	0,933	4,393	0,231	3,463	0,854	12,778	5120
		4	0,933	4,398	0,262	3,471	0,968	12,806	5139
		6	0,933	4,403	0,265	3,472	0,977	12,809	5159
		8	0,933	4,409	0,263	3,471	0,969	12,806	5179
		10	0,933	4,415	0,292	3,471	1,076	12,807	5199
	Sigmoid	2	0,601	25,113	20,522	21,101	75,712	77,848	11130
		4	0,601	25,144	20,490	21,099	75,596	77,842	11150
		6	0,602	25,176	20,493	21,102	75,606	77,852	11170
		8	0,617	25,209	20,565	21,085	75,874	77,789	11190
		10	0,593	25,243	20,507	21,123	75,659	77,931	11210
	Doğrusal	2	0,940	4,151	0,004	3,176	0,016	11,717	4924
		4	0,940	4,157	0,034	3,178	0,127	11,725	4944
		6	0,940	4,162	0,016	3,179	0,059	11,728	4964
		8	0,940	4,167	0,030	3,177	0,110	11,722	4984
		10	0,940	4,325	-0,002	3,412	-0,006	11,724	4781

Tablo 4.2. *YSA modellerine ilişkin istatistiksel ölçütler (Göknar)*

Aktivasyon Fonksiyonu		Nöron Sayısı	R^2	*HKOK*	*OH*	*OMH*	*TH(%)*	*OMH(%)*	*AIC*
Ara Katman	Çıktı Katmanı								
Hiperbolik Tanjant	Hiperbolik Tanjant	2	0,967	3,122	-0,021	2,377	-0,081	9,008	4612
		4	0,975	2,716	-0,019	2,010	-0,074	7,616	4066
		6	0,977	2,610	0,014	1,919	0,053	7,271	3920
		8	0,977	2,608	-0,059	1,929	-0,222	7,309	3933
		10	0,977	2,648	0,007	1,930	0,025	7,315	4010
	Sigmoid	2	0,601	30,797	26,768	27,024	101,442	102,412	13851
		4	0,594	30,823	26,806	26,975	101,584	102,227	13870
		6	0,594	30,857	26,813	26,975	101,612	102,225	13890
		8	0,596	30,888	26,820	26,958	101,638	102,161	13910
		10	0,598	30,921	26,820	26,952	101,636	102,139	13930
	Doğrusal	2	0,968	3,091	-0,049	2,381	-0,184	9,022	4572
		4	0,972	2,893	0,034	2,134	0,128	8,085	4321
		6	0,976	2,685	-0,031	1,991	-0,117	7,545	4036
		8	0,976	2,675	-0,036	1,983	-0,138	7,514	4036
		10	0,976	2,704	0,029	1,991	0,108	7,545	4094
Sigmoid	Hiperbolik Tanjant	2	0,967	3,122	-0,041	2,373	-0,157	8,995	4613
		4	0,973	2,847	-0,029	2,089	-0,112	7,915	4256
		6	0,977	2,630	0,003	1,945	0,013	7,372	3951
		8	0,977	2,625	-0,026	1,943	-0,100	7,364	3959
		10	0,978	2,545	-0,015	1,885	-0,057	7,142	3851
	Sigmoid	2	0,594	30,790	26,797	26,978	101,550	102,235	13850
		4	0,596	30,823	26,797	26,976	101,551	102,227	13870
		6	0,596	30,855	26,805	26,968	101,580	102,197	13890
		8	0,598	30,887	26,807	26,949	101,588	102,126	13910
		10	0,597	30,922	26,814	26,966	101,613	102,189	13930
	Doğrusal	2	0,968	3,091	-0,023	2,371	-0,088	8,985	4572
		4	0,974	2,769	0,037	2,079	0,141	7,879	4144
		6	0,976	2,682	-0,099	1,975	-0,374	7,486	4030
		8	0,976	2,648	0,032	1,963	0,120	7,438	3994
		10	0,980	2,472	0,012	1,842	0,045	6,980	3733
Doğrusal	Hiperbolik Tanjant	2	0,948	3,914	0,315	3,127	1,195	11,849	5525
		4	0,948	3,913	0,166	3,110	0,628	11,788	5540
		6	0,948	3,917	0,182	3,107	0,690	11,774	5560
		8	0,948	3,921	0,186	3,110	0,704	11,784	5579
		10	0,948	3,927	0,191	3,116	0,725	11,810	5601
	Sigmoid	2	0,520	30,848	26,757	27,297	101,399	103,444	13858
		4	0,543	30,854	26,744	27,183	101,348	103,013	13875
		6	0,544	30,888	26,743	27,182	101,345	103,010	13895
		8	0,544	30,921	26,740	27,183	101,333	103,013	13915
		10	0,551	30,955	26,783	27,176	101,498	102,986	13935
	Doğrusal	2	0,937	4,319	0,000	3,385	0,001	12,829	5922
		4	0,937	4,324	0,072	3,389	0,272	12,842	5943
		6	0,937	4,328	-0,014	3,386	-0,054	12,833	5962
		8	0,937	4,334	0,104	3,390	0,393	12,848	5983
		10	0,937	4,337	0,006	3,389	0,021	12,842	6002

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 incelendiğinde, ara katmanda ve çıktı katmanında bulunan aktivasyon fonksiyonlarına bağlı olarak istatistiksel ölçütler bakımından başarılı bulunan YSA tasarımlarında modellerdeki nöron sayısındaki artışa bağlı olarak modellerin tahmin başarılarının da arttığı, bir başka ifadeyle R^2 değerlerinin arttığı ve hatalara ilişkin diğer istatistiksel ölçütlerin ise azaldığı görülmektedir.

Geliştirilen YSA modellerine ilişkin istatistiksel ölçütlere göre yapılan rölatif sıralama değerleri kayın ağaç türü için Tablo 4.3'te ve göknar ağaç türü için Tablo 4.4'te verilmiştir. Bu tablolarda da yukarıda açıklandığı gibi çıktı katmanında aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunun kullandığı tüm YSA modelleri her iki ağaç türü için de son sıraları alan modeller olmuş ve rölatif sıralamaları kayın için 43,70 ile 45,00 arasında, göknar için ise 43,75 ile 45,00 arasında bulunmuştur. Bunlar dışında kalan diğer YSA modellerinin ise daha küçük rölatif sıralama değerlerine sahip olduğu ve kayın için 1,00 ile 5,20 arasında, göknar için ise 1,00 ile 4,20 arasında değerler aldığı görülmektedir. Çıktı katmanına ilişkin aktivasyon fonksiyonunun sigmoid fonksiyonu olduğu modeller dışında kalan YSA modellerinden ara katmana ilişkin aktivasyon fonksiyonunun doğrusal fonksiyon ve çıktı katmanına ilişkin aktivasyon fonksiyonunun da hiperbolik tanjant veya doğrusal fonksiyonu olduğu modellerin rölatif sıralamaları da kısmen düşük bulunmuş olup, bu modellerin kayın için 4,43 ile 5,20 arasında, göknar için ise 3,57 ile 4,20 arasında rölatif sıralamalara sahip olduğu belirlenmiştir. Ara katmana ilişkin aktivasyon fonksiyonunun hiperbolik tanjant veya sigmoid fonksiyonu ve çıktı katmanına ilişkin aktivasyon fonksiyonunun da hiperbolik tanjant veya doğrusal fonksiyon olarak alındığı YSA modellerinin rölatif sıralamaları ise daha yüksek bulunmuştur. Bu gruptaki YSA modelleri için rölatif sıralama değerleri kayın için 1,00 ile 2,90 arasında ve göknar için 1,00 ile 2,14 arasında değişmektedir.

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 incelendiğinde, ara katmanda ve çıktı katmanında bulunan aktivasyon fonksiyonlarına bağlı olarak rölatif olarak üst sıralarda bulunan YSA tasarımlarında modellerdeki nöron sayısındaki artışa bağlı olarak YSA modellerinin rölatif sıralarının da arttığı görülmektedir.

Tablo 4.3. *YSA modellerine ilişkin rölatif sıralama (Kayın)*

Aktivasyon Fonksiyonu		Nöron Sayısı	R_i (R^2)	R_i (HKOK)	R_i (OH)	R_i (OMH)	R_i (TH%)	R_i (OMH%)	R_i (AIC)	Toplam R_i	Genel Sıralama
Ara Katman	Çıktı Katmanı										
Hip. Tanjant	Hip. Tanjant	2	3,05	2,68	1,31	2,59	1,31	2,59	6,48	20,01	*2,87*
		4	1,45	1,38	1,06	1,45	1,06	1,45	2,23	10,08	*1,43*
		6	1,11	1,11	1,04	1,22	1,05	1,22	1,26	8,01	*1,13*
		8	1,11	1,06	1,09	1,17	1,09	1,17	1,16	7,85	*1,10*
		10	1,23	1,17	1,00	1,19	1,00	1,19	1,69	8,47	*1,19*
	Sigmoid	2	40,00	43,88	44,91	42,29	44,91	42,29	44,39	302,68	*44,04*
		4	40,00	43,94	44,92	42,28	44,92	42,28	44,50	302,85	*44,06*
		6	36,70	45,00	41,91	44,92	41,91	44,92	45,00	300,35	*43,70*
		8	38,97	44,05	45,00	42,25	45,00	42,25	44,71	302,23	*43,97*
		10	39,32	44,11	44,98	42,23	44,98	42,23	44,82	302,66	*44,03*
	Doğrusal	2	2,36	2,11	1,23	2,14	1,23	2,14	4,72	15,93	*2,28*
		4	1,45	1,32	1,06	1,33	1,06	1,33	2,02	9,59	*1,36*
		6	1,23	1,21	1,07	1,18	1,08	1,18	1,67	8,62	*1,22*
		8	1,23	1,16	1,03	1,16	1,04	1,16	1,57	8,35	*1,18*
		10	1,11	1,09	1,07	1,10	1,07	1,10	1,37	7,91	*1,11*
Sigmoid	Hip. Tanjant	2	3,16	2,75	1,16	2,64	1,16	2,64	6,69	20,20	*2,90*
		4	1,45	1,32	1,06	1,38	1,06	1,37	2,02	9,67	*1,37*
		6	1,23	1,18	1,09	1,21	1,10	1,21	1,57	8,58	*1,21*
		8	1,23	1,14	1,00	1,17	1,00	1,17	1,49	8,20	*1,15*
		10	1,00	1,00	1,07	1,00	1,07	1,00	1,00	7,14	*1,00*
	Sigmoid	2	37,50	44,88	42,73	45,00	42,73	45,00	44,78	302,62	*44,03*
		4	42,84	44,94	41,91	44,92	41,91	44,92	44,89	306,32	*44,57*
		6	39,09	43,99	44,98	42,24	44,98	42,24	44,60	302,12	*43,96*
		8	39,32	44,05	44,95	42,24	44,95	42,24	44,71	302,46	*44,01*
		10	39,32	44,11	44,97	42,23	44,97	42,24	44,82	302,67	*44,03*
	Doğrusal	2	2,36	2,09	1,05	2,10	1,05	2,10	4,66	15,42	*2,21*
		4	1,34	1,28	1,01	1,31	1,02	1,31	1,87	9,15	*1,29*
		6	1,23	1,16	1,01	1,21	1,02	1,21	1,45	8,28	*1,17*
		8	1,23	1,17	1,10	1,16	1,11	1,16	1,60	8,53	*1,20*
		10	1,11	1,08	1,02	1,09	1,02	1,09	1,32	7,72	*1,08*
Doğrusal	Hip. Tanjant	2	6,34	4,70	1,49	4,74	1,49	4,74	11,72	35,22	*5,09*
		4	6,34	4,71	1,56	4,75	1,56	4,75	11,82	35,50	*5,13*
		6	6,34	4,72	1,56	4,76	1,56	4,76	11,93	35,64	*5,15*
		8	6,34	4,73	1,56	4,75	1,56	4,75	12,04	35,74	*5,17*
		10	6,34	4,75	1,62	4,75	1,62	4,76	12,15	35,99	*5,20*
	Sigmoid	2	44,09	43,95	44,85	42,76	44,85	42,76	44,42	307,67	*44,76*
		4	44,09	44,00	44,78	42,75	44,78	42,75	44,53	307,69	*44,77*
		6	43,98	44,06	44,79	42,76	44,79	42,76	44,64	307,77	*44,78*
		8	42,27	44,13	44,94	42,72	44,94	42,72	44,74	306,47	*44,59*
		10	45,00	44,19	44,82	42,80	44,82	42,80	44,85	309,29	*45,00*
	Doğrusal	2	5,55	4,25	1,00	4,12	1,01	4,12	10,65	30,69	*4,43*
		4	5,55	4,26	1,07	4,12	1,07	4,12	10,76	30,95	*4,47*
		6	5,55	4,27	1,03	4,13	1,03	4,13	10,87	31,00	*4,47*
		8	5,55	4,28	1,06	4,12	1,06	4,12	10,98	31,17	*4,50*
		10	5,55	4,58	1,00	4,63	1,00	4,12	9,87	30,75	*4,44*

Tablo 4.4. *YSA modellerine ilişkin rölatif sıralama (Göknar)*

Aktivasyon Fonksiyonu		Nöron Sayısı	R_i (R^2)	R_i (HKOK)	R_i (OH)	R_i (OMH)	R_i (TH%)	R_i (OMH%)	R_i (AIC)	Toplam R_i	Genel Sıralama
Ara Katman	Çıktı Katmanı										
Hip. Tanjant	Hip. Tanjant	2	2,24	2,00	1,03	1,92	1,03	1,93	4,79	14,96	*2,13*
		4	1,48	1,38	1,03	1,29	1,03	1,29	2,44	9,93	*1,41*
		6	1,29	1,21	1,02	1,13	1,02	1,13	1,81	8,62	*1,23*
		8	1,29	1,21	1,10	1,15	1,10	1,15	1,86	8,85	*1,26*
		10	1,29	1,27	1,01	1,15	1,01	1,15	2,19	9,08	*1,29*
	Sigmoid	2	37,25	44,76	44,91	44,53	44,92	44,53	44,64	305,53	*43,75*
		4	37,92	44,80	44,98	44,44	44,98	44,44	44,72	306,28	*43,85*
		6	37,92	44,85	44,99	44,44	44,99	44,44	44,81	306,44	*43,88*
		8	37,73	44,90	45,00	44,41	45,00	44,41	44,89	306,35	*43,86*
		10	37,54	44,95	45,00	44,40	45,00	44,40	44,98	306,27	*43,85*
	Doğrusal	2	2,15	1,96	1,08	1,93	1,08	1,93	4,62	14,75	*2,10*
		4	1,77	1,65	1,06	1,50	1,05	1,50	3,54	12,07	*1,72*
		6	1,38	1,33	1,05	1,26	1,05	1,26	2,31	9,63	*1,37*
		8	1,38	1,31	1,06	1,24	1,06	1,24	2,31	9,61	*1,37*
		10	1,38	1,36	1,05	1,26	1,05	1,26	2,56	9,91	*1,41*
Sigmoid	Hip. Tanjant	2	2,24	2,00	1,07	1,92	1,07	1,92	4,80	15,01	*2,14*
		4	1,67	1,58	1,05	1,43	1,05	1,43	3,26	11,45	*1,63*
		6	1,29	1,24	1,00	1,18	1,01	1,18	1,94	8,84	*1,26*
		8	1,29	1,24	1,04	1,17	1,04	1,18	1,97	8,93	*1,27*
		10	1,19	1,11	1,02	1,07	1,02	1,07	1,51	8,01	*1,14*
	Sigmoid	2	37,92	44,75	44,96	44,45	44,96	44,45	44,63	306,12	*43,83*
		4	37,73	44,80	44,96	44,45	44,96	44,44	44,72	306,06	*43,82*
		6	37,73	44,85	44,98	44,43	44,97	44,43	44,81	306,19	*43,84*
		8	37,54	44,89	44,98	44,40	44,98	44,40	44,89	306,08	*43,82*
		10	37,63	44,95	44,99	44,43	44,99	44,43	44,98	306,40	*43,87*
	Doğrusal	2	2,15	1,96	1,04	1,91	1,04	1,91	4,62	14,63	*2,09*
		4	1,57	1,46	1,06	1,41	1,06	1,41	2,77	10,75	*1,53*
		6	1,38	1,32	1,16	1,23	1,16	1,23	2,28	9,77	*1,39*
		8	1,38	1,27	1,05	1,21	1,05	1,21	2,13	9,30	*1,32*
		10	1,00	1,00	1,02	1,00	1,02	1,00	1,00	7,04	*1,00*
Doğrusal	Hip. Tanjant	2	4,06	3,23	1,52	3,22	1,52	3,22	8,73	25,49	*3,64*
		4	4,06	3,23	1,27	3,19	1,27	3,19	8,79	25,01	*3,57*
		6	4,06	3,23	1,30	3,19	1,30	3,19	8,88	25,14	*3,59*
		8	4,06	3,24	1,31	3,19	1,30	3,19	8,96	25,25	*3,61*
		10	4,06	3,25	1,31	3,20	1,31	3,20	9,06	25,40	*3,63*
	Sigmoid	2	45,00	44,83	44,90	45,00	44,90	45,00	44,67	314,30	*45,00*
		4	42,80	44,84	44,88	44,80	44,87	44,80	44,74	311,74	*44,63*
		6	42,70	44,90	44,87	44,80	44,87	44,80	44,83	311,78	*44,64*
		8	42,70	44,95	44,87	44,80	44,87	44,80	44,91	311,91	*44,66*
		10	42,03	45,00	44,94	44,79	44,94	44,79	45,00	311,50	*44,60*
	Doğrusal	2	5,11	3,85	1,00	3,67	1,00	3,67	10,44	28,74	*4,11*
		4	5,11	3,86	1,12	3,67	1,12	3,67	10,53	29,09	*4,16*
		6	5,11	3,87	1,02	3,67	1,02	3,67	10,61	28,98	*4,14*
		8	5,11	3,88	1,17	3,68	1,17	3,68	10,70	29,39	*4,20*
		10	5,11	3,88	1,01	3,67	1,01	3,67	10,79	29,15	*4,17*

Yukarıda da açıklandığı gibi çıktı katmanında sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı 15 adet YSA modelinin rölatif sıralamaları her iki ağaç türünde de son sıralarda yer almış ve birbirlerine oldukça yakın değerlerler alarak kümelenmiştir. Benzer şekilde ara katmana ilişkin aktivasyon fonksiyonunun hiperbolik tanjant veya sigmoid fonksiyonu ve çıktı katmanına ilişkin aktivasyon fonksiyonunun da hiperbolik tanjant veya doğrusal fonksiyon olarak alındığı 20 adet YSA modelinin rölatif sıralamaları da yine her iki ağaç türünde de birbirlerine çok yakın değerler alarak bir küme oluşturmuştur (Tablo 4.3 ve 4.4). Karşılaştırılan toplam YSA modeli sayısının 45 olduğu düşünüldüğünde, gerek ilk sıralardaki ve gerekse son sıralardaki kümelenmeler modellere ilişkin başarı sıralamalarının yorumlanmasını zorlaştırmakta ve modellerin objektif olarak sıralanamamasına neden olmaktadır. Bu olumsuzluğun ortadan kaldırılabilmesi için her iki ağaç türü için de son sıralarda kümelenen, bir başka ifade ile 45 model arasında en başarısız bulunan 15 adet YSA modelinin hariç tutulduğu yeni bir rölatif sıralama yapılmış ve sonuçlar kayın için Tablo 4.5'te ve göknar için Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6 incelendiğinde, ara katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyonun kullanıldığı YSA modellerinin kayın için 18,36 ile 30,00 arasında ve göknar için de 24,99 ile 30,00 arasında rölatif sıralama değerleri alarak en düşük sıralarda yer aldıkları ve yine kümelendikleri görülmektedir. Ara katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant veya sigmoid fonksiyonun kullanıldığı YSA modellerinin rölatif sıralamaları ise kayın için 1,00 ile 13,75 arasında ve göknar için de 1,00 ile 10,41 arasında değişmektedir. Her iki ağaç türü için de ara katman ve çıktı katmanındaki aktivasyon fonksiyonları sabit tutularak nöron sayılarına bağlı olarak yapılan karşılaştırmada da yine nöron sayısındaki artışa bağlı olarak modellerin rölatif sıralarının üst sıralara doğru çıktığı görülmektedir.

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da karşılaştırılan YSA modeli sayısının 30 olduğu ve son sıralardaki kümelenmeler dikkate alındığında, modellere ilişkin başarı sıralamalarının objektif bir şekilde yapılmasının yine zor olduğu görülmektedir. Bu nedenle 30 model arasında en başarısız bulunan 10 adet YSA modelinin hariç tutulduğu üçüncü bir rölatif sıralama yapılmış ve sonuçlar kayın için Tablo 4.7'de ve göknar için Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.5. *YSA modellerine ilişkin 2. rölatif sıralama (Kayın)*

Aktivasyon Fonksiyonu		Nöron Sayısı	R_i (R^2)	R_i (HKOK)	R_i (OH)	R_i (OMH)	R_i (TH%)	R_i (OMH%)	R_i (AIC)	Toplam R_i	Genel Sıralama
Ara Katman	Çıktı Katmanı										
Hip. Tanjant	Hip. Tanjant	2	12,11	13,99	15,60	13,25	15,66	13,25	15,27	99,12	*13,75*
		4	3,47	3,93	3,90	4,46	3,93	4,46	4,20	28,35	*3,38*
		6	1,62	1,82	3,10	2,68	3,14	2,68	1,68	16,72	*1,68*
		8	1,62	1,47	5,20	2,30	5,20	2,30	1,42	19,51	*2,09*
		10	2,23	2,33	1,00	2,45	1,00	2,45	2,80	14,27	*1,32*
	Doğrusal	2	8,40	9,62	11,60	9,82	11,62	9,82	10,67	71,56	*9,71*
		4	3,47	3,51	3,90	3,55	3,90	3,55	3,66	25,53	*2,97*
		6	2,23	2,63	4,50	2,40	4,55	2,39	2,76	21,46	*2,37*
		8	2,23	2,26	2,60	2,26	2,65	2,26	2,47	16,75	*1,68*
		10	1,62	1,70	4,10	1,77	4,14	1,77	1,96	17,06	*1,73*
Sigmoid	Hip. Tanjant	2	12,72	14,55	8,30	13,69	8,29	13,69	15,80	87,05	*11,98*
		4	3,47	3,51	3,80	3,90	3,85	3,89	3,66	26,07	*3,05*
		6	2,23	2,42	5,40	2,60	5,47	2,60	2,47	23,20	*2,63*
		8	2,23	2,11	1,00	2,30	1,05	2,30	2,27	13,28	*1,17*
		10	1,00	1,00	4,30	1,00	4,31	1,00	1,00	13,61	*1,22*
	Doğrusal	2	8,40	9,47	3,40	9,50	3,49	9,51	10,51	54,29	*7,18*
		4	2,85	3,20	1,70	3,40	1,76	3,40	3,26	19,57	*2,10*
		6	2,23	2,20	1,70	2,61	1,70	2,61	2,17	15,24	*1,46*
		8	2,23	2,32	5,90	2,23	5,96	2,24	2,56	23,44	*2,66*
		10	1,62	1,60	1,80	1,70	1,87	1,69	1,82	12,10	*1,00*
Doğrusal	Hip. Tanjant	2	30,00	29,68	23,90	29,85	23,98	29,86	28,88	196,15	*27,97*
		4	30,00	29,75	27,00	29,98	27,07	29,99	29,15	202,94	*28,97*
		6	30,00	29,82	27,30	30,00	27,32	30,00	29,43	203,87	*29,11*
		8	30,00	29,91	27,10	29,98	27,10	29,99	29,72	203,80	*29,09*
		10	30,00	30,00	30,00	29,98	30,00	29,99	30,00	209,97	*30,00*
	Doğrusal	2	25,68	26,13	1,20	25,08	1,27	25,07	26,11	130,54	*18,36*
		4	25,68	26,22	4,20	25,11	4,28	25,11	26,39	136,99	*19,30*
		6	25,68	26,29	2,40	25,13	2,44	25,12	26,67	133,73	*18,83*
		8	25,68	26,36	3,80	25,09	3,82	25,10	26,96	136,81	*19,28*
		10	25,68	28,68	1,00	29,00	1,00	25,11	24,08	134,55	*18,95*

Tablo 4.6. *YSA modellerine ilişkin 2. rölatif sıralama (Göknar)*

Aktivasyon Fonksiyonu		Nöron Sayısı	R_i (R^2)	R_i (HKOK)	R_i (OH)	R_i (OMH)	R_i (TH%)	R_i (OMH%)	R_i (AIC)	Toplam R_i	Genel Sıralama
Ara Katman	Çıktı Katmanı										
Hip. Tanjant	Hip. Tanjant	2	9,77	11,11	2,93	11,02	2,94	11,02	12,23	61,03	*9,80*
		4	4,37	4,79	2,75	4,15	2,77	4,14	5,26	28,23	*4,24*
		6	3,02	3,15	2,29	2,44	2,26	2,44	3,39	18,99	*2,67*
		8	3,02	3,11	6,43	2,63	6,37	2,63	3,56	27,75	*4,15*
		10	3,02	3,74	1,64	2,65	1,58	2,66	4,54	19,83	*2,81*
	Doğrusal	2	9,09	10,63	5,51	11,10	5,44	11,09	11,72	64,59	*10,40*
		4	6,40	7,55	4,13	6,47	4,08	6,46	8,52	43,60	*6,84*
		6	3,70	4,31	3,85	3,79	3,82	3,79	4,87	28,14	*4,22*
		8	3,70	4,16	4,31	3,64	4,33	3,64	4,87	28,65	*4,31*
		10	3,70	4,61	3,67	3,79	3,60	3,79	5,61	28,77	*4,33*
Sigmoid	Hip. Tanjant	2	9,77	11,11	4,77	10,95	4,79	10,96	12,25	64,59	*10,41*
		4	5,72	6,83	3,67	5,63	3,70	5,62	7,68	38,85	*6,04*
		6	3,02	3,46	1,28	2,93	1,29	2,94	3,79	18,70	*2,62*
		8	3,02	3,38	3,39	2,89	3,40	2,90	3,89	22,88	*3,33*
		10	2,35	2,14	2,38	1,81	2,36	1,80	2,51	15,34	*2,05*
	Doğrusal	2	9,09	10,63	3,12	10,91	3,11	10,91	11,72	59,49	*9,54*
		4	5,05	5,62	4,41	5,44	4,40	5,44	6,25	36,61	*5,66*
		6	3,70	4,27	10,11	3,49	10,06	3,50	4,80	39,93	*6,22*
		8	3,70	3,74	3,95	3,27	3,89	3,26	4,34	26,14	*3,88*
		10	1,00	1,00	2,10	1,00	2,07	1,00	1,00	9,17	*1,00*
Doğrusal	Hip. Tanjant	2	22,58	23,42	30,00	25,07	30,00	25,06	23,90	180,04	*30,00*
		4	22,58	23,41	16,28	24,75	16,23	24,76	24,10	152,11	*25,26*
		6	22,58	23,47	17,76	24,70	17,73	24,69	24,35	155,28	*25,80*
		8	22,58	23,53	18,12	24,75	18,07	24,74	24,59	156,40	*25,99*
		10	22,58	23,62	18,58	24,87	18,58	24,87	24,87	157,99	*26,26*
	Doğrusal	2	30,00	29,72	1,00	29,91	1,00	29,91	28,98	150,51	*24,99*
		4	30,00	29,80	7,63	29,98	7,58	29,97	29,25	164,21	*27,31*
		6	30,00	29,86	2,29	29,93	2,29	29,93	29,49	153,78	*25,54*
		8	30,00	29,95	10,57	30,00	10,52	30,00	29,76	170,81	*28,43*
		10	30,00	30,00	1,55	29,98	1,49	29,97	30,00	152,99	*25,41*

Tablo 4.7. *YSA modellerine ilişkin 3. rölatif sıralama (Kayın)*

Aktivasyon Fonksiyonu		Nöron Sayısı	R_i (R^2)	R_i (HKOK)	R_i (OH)	R_i (OMH)	R_i (TH%)	R_i (OMH%)	R_i (AIC)	Toplam R_i	Genel Sıralama
Ara Katman	Çıktı Katmanı										
Hip. Tanjant	Hip. Tanjant	2	19,00	19,22	20,00	19,33	20,00	19,35	19,31	136,20	*20,00*
		4	5,00	5,11	4,77	6,18	4,79	6,18	5,11	37,14	*4,58*
		6	2,00	2,15	3,73	3,52	3,77	3,52	1,87	20,56	*2,00*
		8	2,00	1,66	6,47	2,94	6,44	2,94	1,54	24,00	*2,53*
		10	3,00	2,87	1,00	3,17	1,00	3,17	3,31	17,52	*1,52*
	Doğrusal	2	13,00	13,09	14,79	14,20	14,77	14,21	13,41	97,46	*13,97*
		4	5,00	4,52	4,77	4,81	4,76	4,82	4,41	33,09	*3,95*
		6	3,00	3,28	5,55	3,09	5,60	3,09	3,25	26,87	*2,98*
		8	3,00	2,77	3,08	2,89	3,14	2,89	2,89	20,67	*2,02*
		10	2,00	1,99	5,03	2,15	5,07	2,15	2,24	20,62	*2,01*
Sigmoid	Hip. Tanjant	2	20,00	20,00	10,50	20,00	10,45	20,00	20,00	120,95	*17,63*
		4	5,00	4,52	4,64	5,33	4,69	5,33	4,41	33,92	*4,08*
		6	3,00	2,99	6,73	3,39	6,79	3,40	2,89	29,19	*3,34*
		8	3,00	2,56	1,00	2,94	1,07	2,95	2,63	16,16	*1,31*
		10	1,00	1,00	5,29	1,00	5,28	1,00	1,00	15,58	*1,22*
	Doğrusal	2	13,00	12,89	4,12	13,72	4,23	13,73	13,21	74,91	*10,46*
		4	4,00	4,08	1,91	4,59	1,98	4,60	3,91	25,07	*2,70*
		6	3,00	2,69	1,91	3,42	1,91	3,42	2,51	18,85	*1,73*
		8	3,00	2,85	7,38	2,84	7,43	2,85	3,00	29,35	*3,37*
		10	2,00	1,84	2,04	2,05	2,12	2,04	2,05	14,15	*1,00*

Başarısız bulunan modellerin kümelenmeleri nedeniyle modellerin sıralanmalarında karşılaşılan olumsuzluğun ortadan kaldırılması için yapılan son (üçüncü) rölatif sıralama sonuçlarının yer aldığı Tablo 4.7 ve Tablo 4.8 incelendiğinde, modellerin rölatif sıralamaları arasında artık bir kümelenme olmadığı ve modellerin objektif bir şekilde karşılaştırılabileceği görülmektedir.

Kayın ağaç türü için gövde çapı tahminlerinde ilk sırayı alan, bir başka ifade ile en başarılı bulunan YSA modeli, aktivasyon fonksiyonu olarak ara katmanda sigmoid fonksiyonunun ve çıktı katmanında da doğrusal fonksiyonun kullanıldığı 10 nöronlu model olmuştur. En başarısız model ise aktivasyon fonksiyonu olarak her iki katmanda da hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı 2 nöronlu YSA modelidir. Tüm modeller arasında en başarısız bulunanlar 2 nöronlu modeller olurken, ara katman ve çıktı katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun sabit tutulduğu tüm tasarımlar için nöron sayısındaki artış genellikle modellerin rölatif sıralamasını da yukarı taşımıştır (Tablo 4.7).

Tablo 4.8. *YSA modellerine ilişkin 3. rölatif sıralama (Göknar)*

Aktivasyon Fonksiyonu		Nöron Sayısı	R_i (R^2)	R_i (HKOK)	R_i (OH)	R_i (OMH)	R_i (TH%)	R_i (OMH%)	R_i (AIC)	Toplam R_i	Genel Sıralama
Ara Katman	Çıktı Katmanı										
Hip. Tanjant	Hip. Tanjant	2	20,00	20,00	4,56	19,86	4,58	19,87	19,98	108,85	*18,57*
		4	8,31	8,13	4,17	6,92	4,21	6,92	8,19	46,85	*7,50*
		6	5,38	5,03	3,18	3,71	3,11	3,71	5,04	29,16	*4,34*
		8	5,38	4,98	12,08	4,07	12,00	4,06	5,32	47,89	*7,68*
		10	5,38	6,14	1,79	4,10	1,63	4,12	6,98	30,15	*4,52*
	Doğrusal	2	18,54	19,09	10,10	20,00	10,00	20,00	19,11	116,85	*20,00*
		4	12,69	13,31	7,14	11,29	7,05	11,28	13,70	76,46	*12,79*
		6	6,85	7,23	6,54	6,25	6,47	6,26	7,54	47,14	*7,55*
		8	6,85	6,93	7,53	5,97	7,58	5,97	7,54	48,37	*7,77*
		10	6,85	7,78	6,15	6,25	6,00	6,26	8,79	48,08	*7,72*
Sigmoid	Hip. Tanjant	2	20,00	20,00	8,52	19,72	8,58	19,75	20,00	116,57	*19,95*
		4	11,23	11,96	6,15	9,71	6,21	9,70	12,29	67,25	*11,14*
		6	5,38	5,62	1,00	4,63	1,00	4,65	5,71	27,99	*4,13*
		8	5,38	5,47	5,55	4,56	5,58	4,57	5,88	37,00	*5,74*
		10	3,92	3,13	3,38	2,52	3,32	2,51	3,55	22,32	*3,12*
	Doğrusal	2	18,54	19,09	4,96	19,65	4,95	19,66	19,11	105,96	*18,05*
		4	9,77	9,68	7,73	9,35	7,74	9,36	9,87	63,51	*10,47*
		6	6,85	7,14	20,00	5,69	20,00	5,71	7,41	72,79	*12,13*
		8	6,85	6,14	6,74	5,27	6,63	5,26	6,64	43,52	*6,90*
		10	1,00	1,00	2,78	1,00	2,68	1,00	1,00	10,47	*1,00*

Tablo 4.7'de görülebileceği gibi kayın ağaç türü için; ara katmanda hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı model tasarımlarından çıktı katmanında hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı 10 nöronlu ve doğrusal fonksiyonun kullanıldığı 10 nöronlu YSA modelleri, ara katmanda sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı model tasarımlarından ise çıktı katmanında hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı 10 nöronlu ve doğrusal fonksiyonun kullanıldığı 10 nöronlu YSA modelleri gruplara ilişkin en başarılı modeller olmuştur. İlerleyen açıklamalarda kolay hatırlanabilmesi için başarılı bulunan bu dört model başarı sırasına göre *Kn-S-L-10*, *Kn-S-HT-10*, *Kn-HT-HT-10* ve *Kn-HT-L-10* olarak isimlendirilmiştir. Bu isimlendirmede; *Kn* kayın ağaç türünü, *HT* hiperbolik tanjant fonksiyonunu, *S* sigmoid fonksiyonunu, *L* doğrusal fonksiyonu ve en son sırada yazılan rakam da ilgili YSA modeline ilişkin nöron sayısını temsil etmektedir. İsimlendirmede *HT*, *S* ve *L* sembolleri ikinci sırada yazılmışlarsa ara katmandaki ve üçüncü sırada yazılmışlarsa çıktı katmanındaki aktivasyon fonksiyonunu ifade etmektedirler.

Kayın ağaç türü için geliştirilen YSA modelleri genel olarak karşılaştırıldığında, ara katmanda kullanılan aktivasyon fonksiyonu bakımından modeller arasında çok belirgin bir ayrılış olmamış, çıktı katmanında kullanılan aktivasyon fonksiyonu bakımından ise hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı yüksek sayıda nöronlu modeller daha başarılı bulunmuştur.

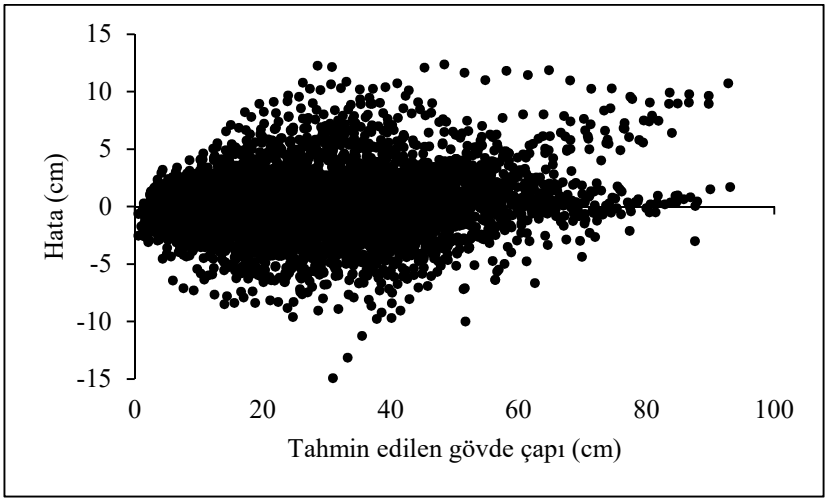
Göknar ağaç türü için gövde çapı tahminlerinde en başarılı bulunan YSA modeli, Kayın türünde olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak ara katmanda sigmoid fonksiyonunun ve çıktı katmanında da doğrusal fonksiyonun kullanıldığı 10 nöronlu modeldir. En başarısız model ise aktivasyon fonksiyonu olarak ara katmanda hiperbolik tanjant fonksiyonunun ve çıktı katmanında doğrusal fonksiyonun kullanıldığı 2 nöronlu YSA modelidir. Tüm modeller arasında en başarısız bulunanlar yine 2 nöronlu modeller olurken, ara katman ve çıktı katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun sabit tutulduğu tüm tasarımlar için nöron sayısındaki artış göknar için de genellikle yine modellerin rölatif sıralamasını yukarı taşımıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8'de görülebileceği gibi göknar ağaç türü için; ara katmanda hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı model tasarımlarından çıktı katmanında yine hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı 6 nöronlu ve doğrusal fonksiyonun kullanıldığı 6 nöronlu YSA modelleri, ara katmanda sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı model tasarımlarından ise çıktı katmanında hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı 10 nöronlu ve doğrusal fonksiyonun kullanıldığı 10 nöronlu YSA modelleri gruplara ilişkin en başarılı modeller olmuştur. İlerleyen açıklamalarda kolay hatırlanabilmesi için başarılı bulunan bu dört model başarı sıralarına göre *G-S-L-10*, *G-S-HT-10*, *G-HT-HT-6* ve *G-HT-L-6* olarak isimlendirilmiştir. İsimlendirmelerdeki semboller yukarıda kayın ağaç türüne ilişkin açıklamalarda verilmiş olup, o kısımda verilmeyen *G* sembolü göknar ağaç türünü temsil etmektedir.

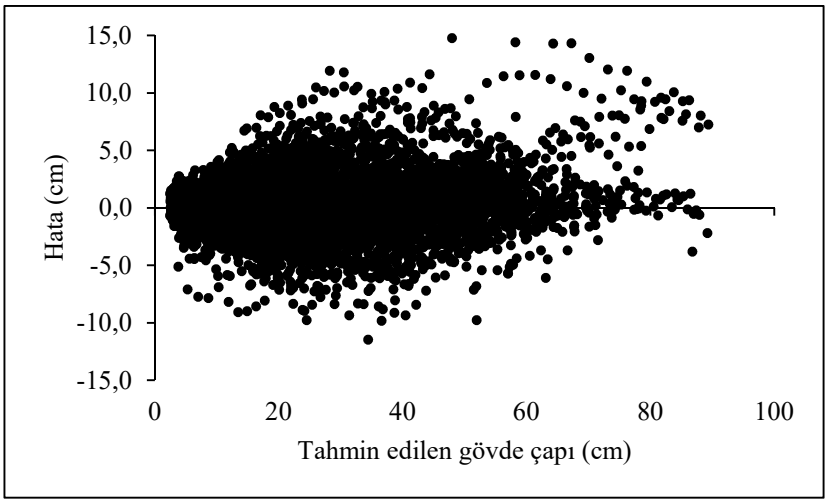
Göknar ağaç türü için geliştirilen YSA modelleri genel olarak karşılaştırıldığında, ara katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyonun kullanıldığı yüksek

sayıda nöronlu modeller daha başarılı bulunurken, çıktı katmanında kullanılan aktivasyon fonksiyonu bakımından ise belirgin bir ayrılış gözlemlenmemiştir.

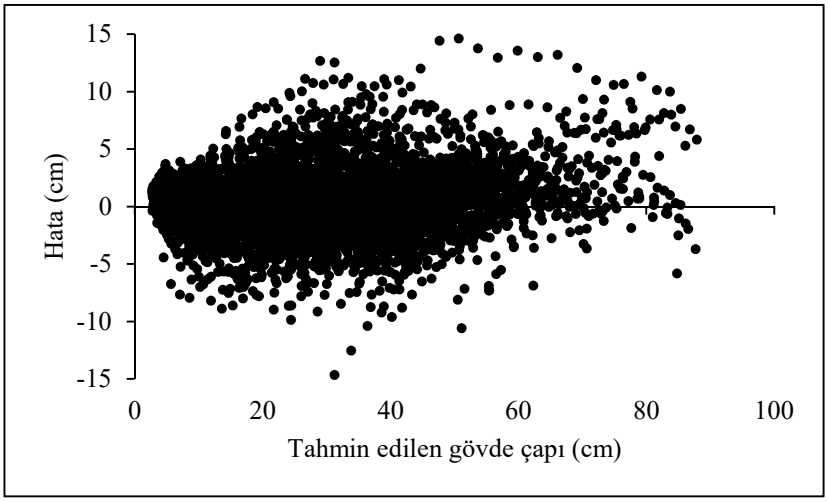
Kayın ve göknar türleri için ara ve çıktı katmanlarındaki aktivasyon fonksiyonlarına göre yapılan tasarımlar için en başarılı bulunan YSA modellerinin çalışma kapsamında ölçülen tüm veriler dikkate alınarak hesaplanan hata dağılımları kayın ağaç türü için Şekil 4-1 ile Şekil 4-4 arasında ve göknar ağaç türü için Şekil 4-5 ile Şekil 4-8 arasında verilmiştir. Hata dağılımları incelendiğinde, her iki ağaç türü için de geliştirilen YSA modellerine ilişkin hataların rastgele dağılım gösterdiği söylenebilir.



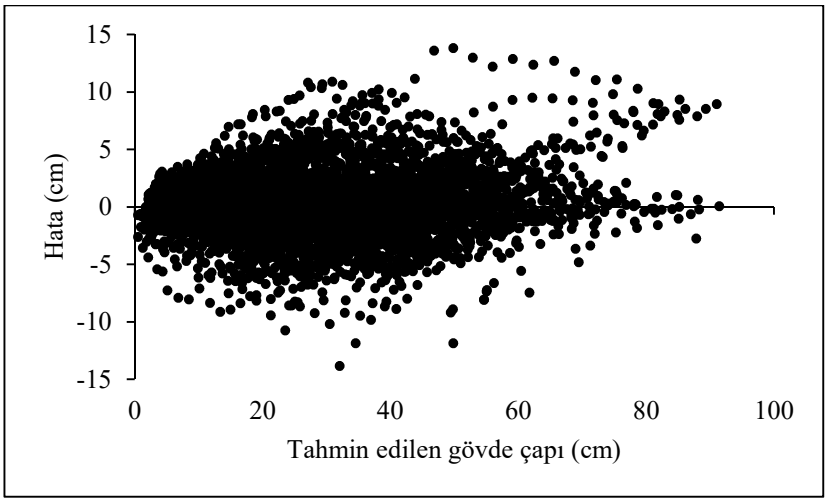
Şekil 4.1. *Kn-S-L-10* modeline ilişkin hata dağılımı



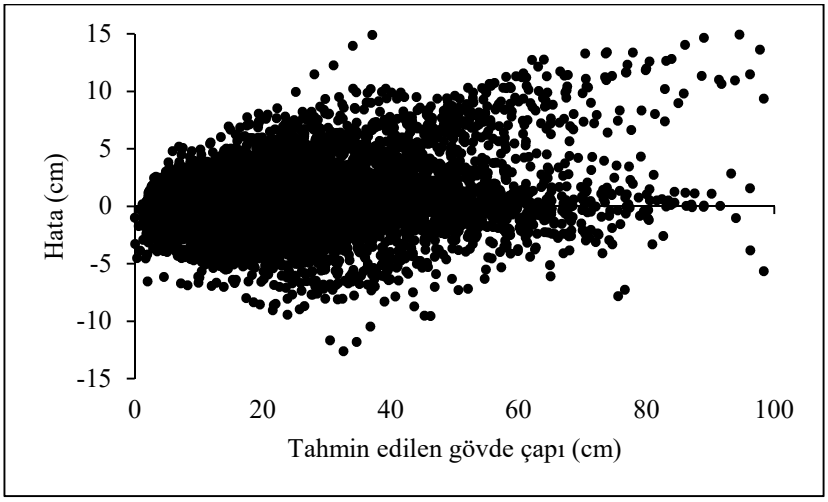
Şekil 4.2. *Kn-S-HT-10* modeline ilişkin hata dağılımı



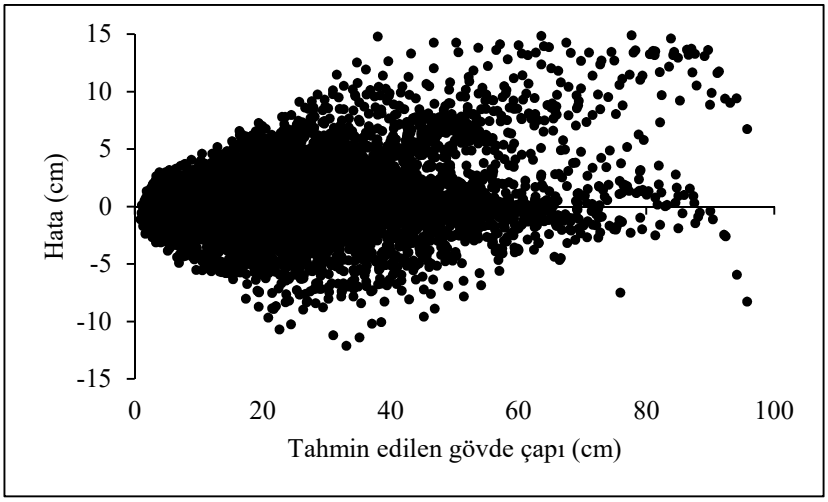
Şekil 4.3. *Kn-HT-HT-10* modeline ilişkin hata dağılımı



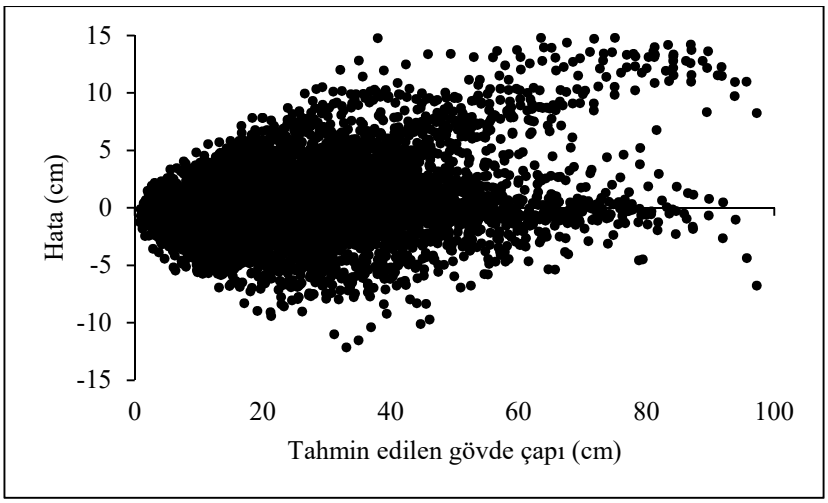
Şekil 4.4. *Kn-HT-L-10* modeline ilişkin hata dağılımı



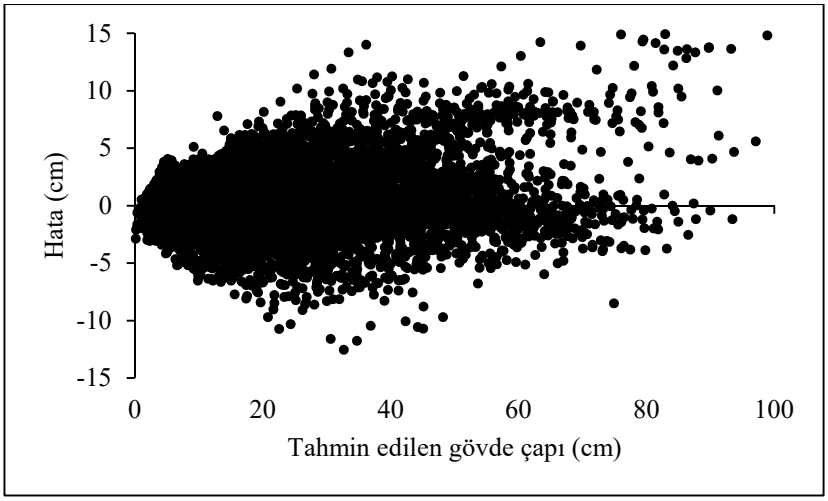
Şekil 4.5. *G-S-L-10* modeline ilişkin hata dağılımı



Şekil 4.6. *G-S-HT-10* modeline ilişkin hata dağılımı



Şekil 4.7. *G-HT-HT-6* modeline ilişkin hata dağılımı



Şekil 4.8. *G-HT-L-6* modeline ilişkin hata dağılımı

Gövde çapı değerlerinin YSA modelleri ile tahmin edilmesine ilişkin az sayıda literatür bulunmakla birlikte, bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular konuyla ilgili kısıtlı sayıdaki literatürle ve gövde çapı dışındaki diğer ağaç boyutlarına ilişkin tahminlerin yapıldığı diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Diamantopoulou ve Milios (2010) tarafından yapılan çalışmada, farklı gövde yüksekliklerindeki gövde çaplarının ayrı ayrı modellenmesi için YSA modellerinin başarıları araştırılmış ve bu çalışmada olduğu gibi YSA modelleri başarılı sonuçlar vermiştir.

Özçelik vd. (2010), gövde hacimlerinin tahmininde aralarında YSA modellerinin ve Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı denkleminin de bulunduğu modellerin başarılarını incelemiş ve bu çalışmada olduğu gibi YSA modellerinin en başarılı modeller olduğunu belirtmiştir. Özçelik vd. (2010) tarafından yapılan çalışma ile bu çalışma arasındaki bir diğer benzer sonuç ise nöron sayısının artışına bağlı olarak YSA modelinin başarısının da artmasıdır.

Leite vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, ağaçların kabuksuz gövde çaplarının tahmininde 3 farklı YSA model yapısı ile Kozak vd. (1969) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemi karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları yine YSA modellerinin tahmin başarılarının daha yüksek olduğunu ve bu modellerin Kozak vd. (1969) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemine göre daha düşük tahmin hatalarına sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmada nöron sayıları ile ilgili yapılan değerlendirmede çok katmanlı YSA modelleri için bu çalışmaya benzer sayıda nöron sayılarının yeterli olduğu belirtilmektedir. Açıklanan çalışmada elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde bu çalışmada elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Özçelik vd. (2014), ağaçların gövde çaplarının tahmini için yine 3 farklı YSA model yapısı ile Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen gövde çapı denklemini karşılaştırmıştır. Bu çalışmada da yine YSA modellerinin gövde çapı denkleminden daha başarılı gövde çapı tahminlerinde bulunduğu sonucu elde edilmiştir.

4.2. Gövde Çapı Denklemlerine İlişkin Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, gövde çaplarının ormancılık literatüründe oldukça yeni bir yöntem olan YSA modelleri ile tahmin edilmesinin yanında bu tahminler için oldukça uzun süredir kullanılan bir yöntem olan regresyon modellerinin kullanılması olanakları da araştırılmıştır. Bu amaçla, parçalı ve değişken-şekil gövde çapı denklemleri sınıflarından literatürde birçok araştırmacı tarafından tercih edilen ikişer adet gövde çapı denklemi kullanılmıştır. Söz konusu denklemler, parçalı gövde çapı denklemleri için Max ve Burkhart (1976) ve Fang vd. (2000) tarafından ve değişken-şekil gövde çapı denklemleri için de Bi (2000) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen denklemlerdir.

Çalışmaya konu dört adet gövde çapı denklemine ilişkin parametre tahminleri, model geliştirme verisi olarak ayrılan veriler kullanılarak SAS yazılımının MODEL prosedürü yardımıyla her iki ağaç türü için ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen parametre tahminleri Tablo 4.9'da verilmiştir. Denklemlerin tamamında denklemlere ilişkin katsayılar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p>0,05).

Tablo 4.9. *Gövde çapı denklemlerine ilişkin parametre tahminleri*

Ağaç Türü	Gövde Çapı Denklemi	Denklem Parametreleri								
Kayın	Max ve Burkhart (1976)	b_1	b_2	b_3	b_4	p_1	p_2			
		-2,1208	1,0206	3,5514	-0,7826	0,1915	0,3522			
	Fang vd. (2000)	a_0	a_1	a_2	b_1	b_2	b_3	p_1	p_2	
		$5,5x10^{-5}$	1,6022	1,2965	$2,3x10^{-5}$	$2,8x10^{-5}$	$3,9x10^{-5}$	0,0849	0,8546	
	Bi (2000)	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6		
		0,6484	0,1554	-0,0341	-0,3385	0,0006	0,0404	-0,0896		
	Kozak (2004)	a_0	a_1	a_2	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
		1,0910	0,9661	0,0149	0,1450	-1,4914	0,8860	5,2611	0,0295	-0,7538
Göknar	Max ve Burkhart (1976)	b_1	b_2	b_3	b_4	p_1	p_2			
		-1,4759	0,6685	3,2293	0,4849	0,1582	0,7210			
	Fang vd. (2000)	a_0	a_1	a_2	b_1	b_2	b_3	p_1	p_2	
		$5,3x10^{-5}$	1,7683	1,0903	$2,3x10^{-5}$	$2,7x10^{-5}$	$3,4x10^{-5}$	0,1573	0,7007	
	Bi (2000)	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6		
		0,0960	0,1645	-0,0252	0,0204	0,0001	0,0341	-0,0411		
	Kozak (2004)	a_0	a_1	a_2	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
		0,9963	0,9796	0,0281	0,0997	-0,7408	0,9437	0,4707	0,0054	-0,5781

Geliştirilen gövde çapı denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçütler Tablo 4.10'da verilmiştir. Tablo incelendiğinde her iki ağaç türü için de tüm denklemlerin başarılı sonuçlar verdiği, bir başka ifadeyle yüksek R^2 ve düşük hata istatistiklerine sahip oldukları görülmektedir. Denklemlere ilişkin istatistiksel ölçütler karşılaştırıldığında, kayın ağaç türü için en yüksek R^2 ve en düşük hata istatistiklerine sahip denklem Kozak (2004) tarafından geliştirilen değişken-şekil gövde çapı denklemi olurken, en düşük R^2 değerine sahip denklem Bi (2000) tarafından trigonometrik esaslara dayalı olarak geliştirilen değişken-şekil gövde çapı denklemi ve en yüksek hata istatistiklerine sahip denklem ise Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirlen parçalı denklem olmuştur. Göknar ağaç türü için en yüksek R^2 değerine sahip olan denklemin Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı denklemi olmasına karşın bu denkleme ilişkin hata istatistikleri diğer denklemlere göre daha yüksek bulunmuş, en düşük hata istatistiklerine sahip denklemin ise Kozak (2004) tarafından geliştirilen değişken-şekil gövde çapı denklemi olduğu görülmüştür. Göknar için en düşük R^2 değerine sahip gövde çapı denklemi ise yine Bi (2000) tarafından geliştirilen denklem olmuştur. Her iki ağaç türü için de Max ve Burkhart (1976) gövde çapı denklemi dışındaki diğer üç denklemin *OH* ve *TH(%)* değerlerinin oldukça düşük olduğu, Max ve Burkhart (1976) gövde çapı denkleminin ise diğer denklemlere göre daha yüksek *OH* ve *TH(%)* değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.10).

Her iki ağaç türü için gövde çapı tahminlerinde aynı denklemler dikkate alındığından, bu denklemlerin başarıları arasında türlere göre bir farklılık olup olmadığı incelendiğinde, denklemlerin benzer istatistiksel sonuçlara sahip olduğu görülmüştür (Tablo 4.10)

Parametre tahminleri yapılan gövde çapı denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçütlere göre yapılan rölatif sıralama değerleri Tablo 4.11'de verilmiştir. Tablo 4.11 incelendiğinde, tüm istatistiksel ölçütlerin birlikte değerlendirilmesi sonucu yapılan sıralamada her iki ağaç türü için de ilk sırayı Kozak (2004) tarafından geliştirilen değişken-şekil gövde çapı denkleminin ve son sırayı da Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı denkleminin aldığı görülmektedir. Başarı bakımından ikinci sırayı alan denklemler ise kayın için Bi (2000) tarafından

geliştirilen değişken-şekil gövde çapı denklemi ve göknar için Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı denklemidir.

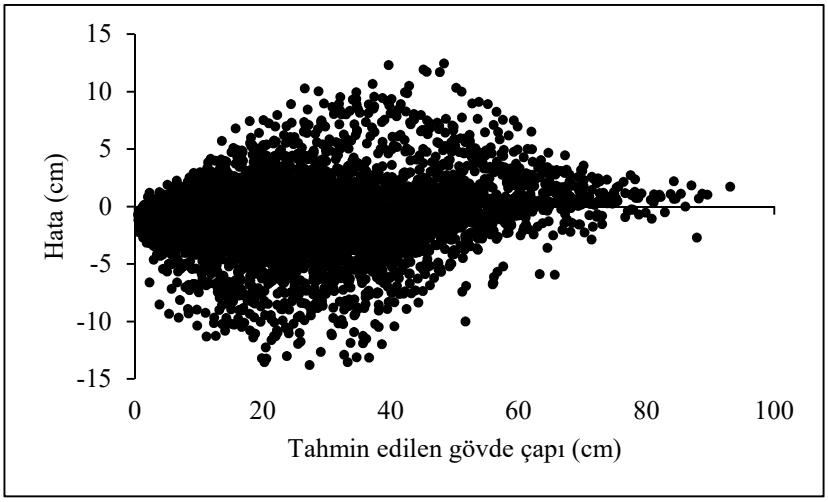
Tablo 4.10. *Gövde çapı denklemlerine ilişkin istatistiksel ölçütler*

Ağaç Türü	Gövde Çapı Denklemi	R^2	*HKOK*	*OH*	*OMH*	*TH(%)*	*OMH(%)*	*AIC*
Kayın	Max ve Burkhart (1976)	0,967	3,274	-0,990	2,369	-3,653	8,740	4098
	Fang vd. (2000)	0,970	2,935	-0,199	2,101	-0,733	7,752	3724
	Bi (2000)	0,964	2,772	-0,183	2,029	-0,676	7,486	3526
	Kozak (2004)	0,974	2,738	-0,034	1,977	-0,127	7,292	3486
Göknar	Max ve Burkhart (1976)	0,976	3,115	-0,746	2,327	-2,826	8,818	4596
	Fang vd. (2000)	0,971	2,932	0,080	2,169	0,303	8,218	4355
	Bi (2000)	0,959	2,898	-0,193	2,164	-0,730	8,202	4305
	Kozak (2004)	0,973	2,836	-0,012	2,069	-0,047	7,839	4221

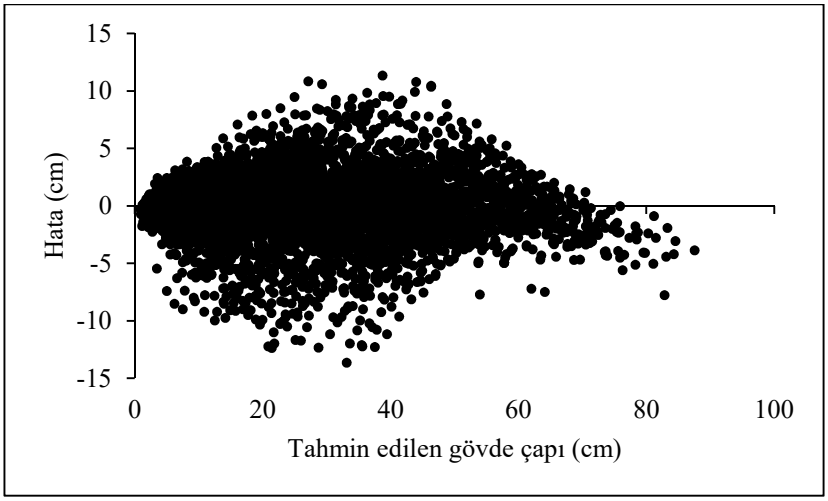
Tablo 4.11. *Gövde çapı denklemlerine ilişkin rölatif sıralamalar*

Ağaç Türü	Gövde Çapı Denklemi	R_i (R^2)	R_i *(HKOK)*	R_i *(OH)*	R_i *(OMH)*	R_i *(TH%)*	R_i *(OMH%)*	R_i *(AIC)*	*Toplam* R_i	*Genel Sıralama*
Kayın	Max ve Burkhart (1976)	3,10	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	27,10	4,00
	Fang vd. (2000)	2,20	2,10	1,52	1,95	1,52	1,95	2,17	13,40	1,96
	Bi (2000)	4,00	1,19	1,47	1,40	1,47	1,40	1,19	12,12	1,76
	Kozak (2004)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00	1,00
Göknar	Max ve Burkhart (1976)	1,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	25,00	4,00
	Fang vd. (2000)	1,88	2,04	1,28	2,16	1,28	2,16	2,07	12,87	1,92
	Bi (2000)	4,00	1,66	1,74	2,11	1,74	2,11	1,67	15,04	2,29
	Kozak (2004)	1,53	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,53	1,00

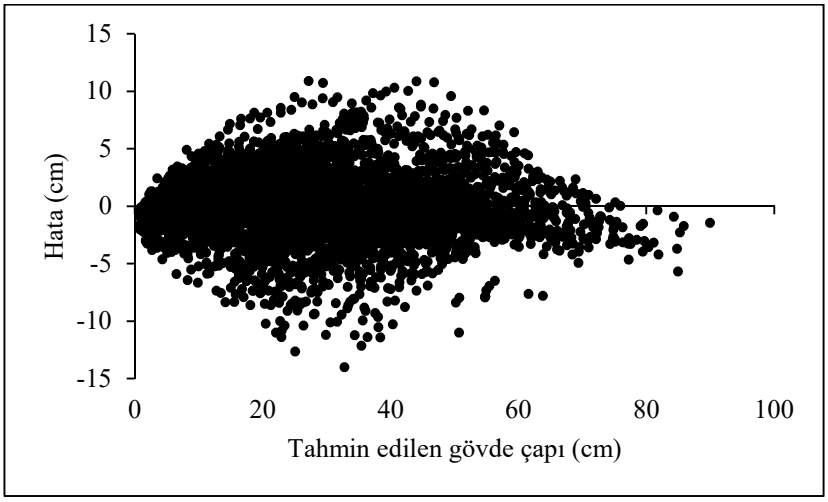
Kayın ve göknar türleri için parametre tahminleri yapılan gövde çapı denklemlerinin çalışma kapsamında ölçülen tüm veriler dikkate alınarak hesaplanan hata dağılımları kayın ağaç türü için Şekil 4-9 ile Şekil 4-12 arasında ve göknar ağaç türü için Şekil 4-13 ile Şekil 4-16 arasında verilmiştir. Hata dağılımları incelendiğinde, her iki ağaç türü için de geliştirilen gövde çapı denklemlerine ilişkin hataların rastgele dağılım gösterdiği söylenebilir.



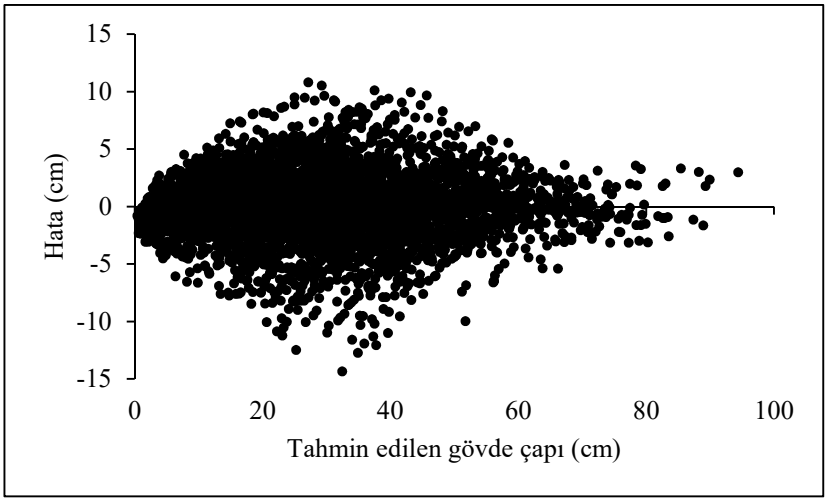
Şekil 4.9. Max ve Burkhart (1976) denklemi için hata dağılımı (Kayın)



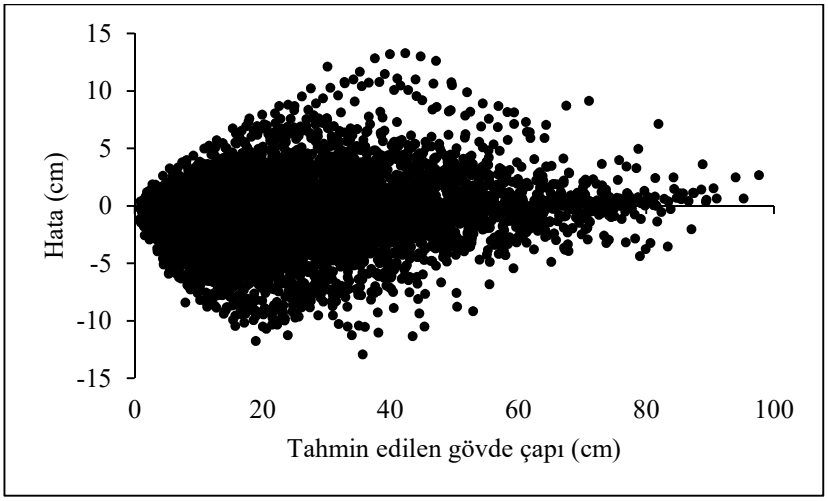
Şekil 4.10. Fang vd. (2000) denklemi için hata dağılımı (Kayın)



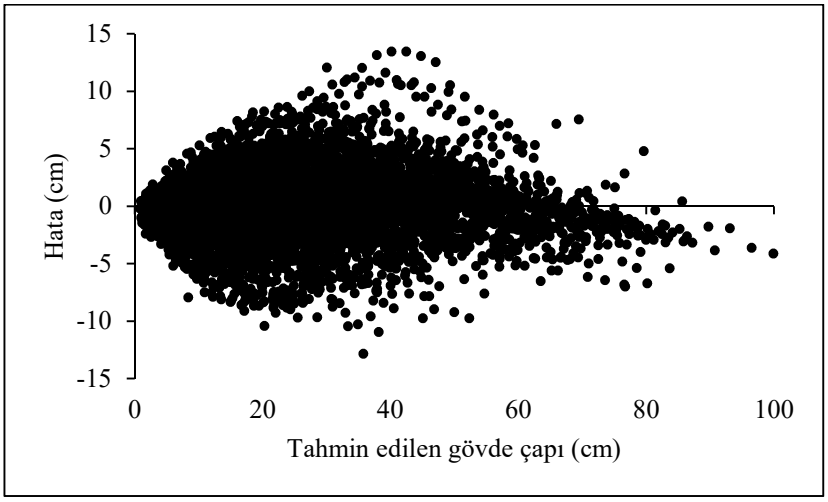
Şekil 4.11. Bi (2000) denklemi için hata dağılımı (Kayın)



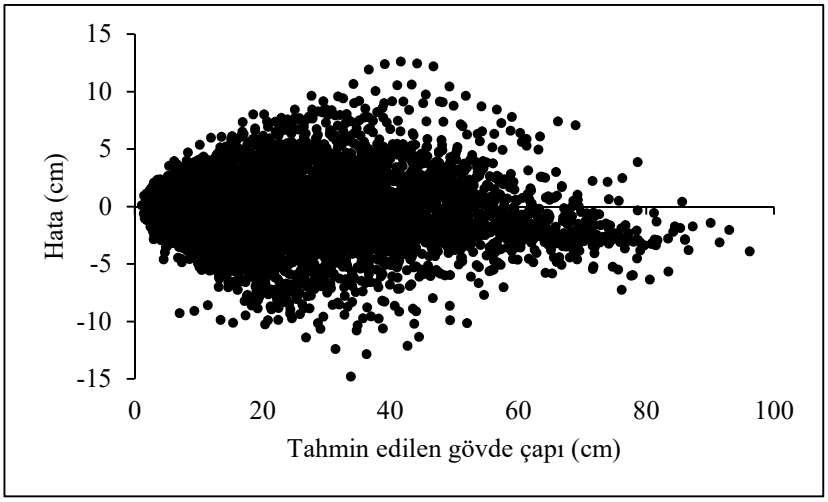
Şekil 4.12. Kozak (2004) denklemi için hata dağılımı (Kayın)



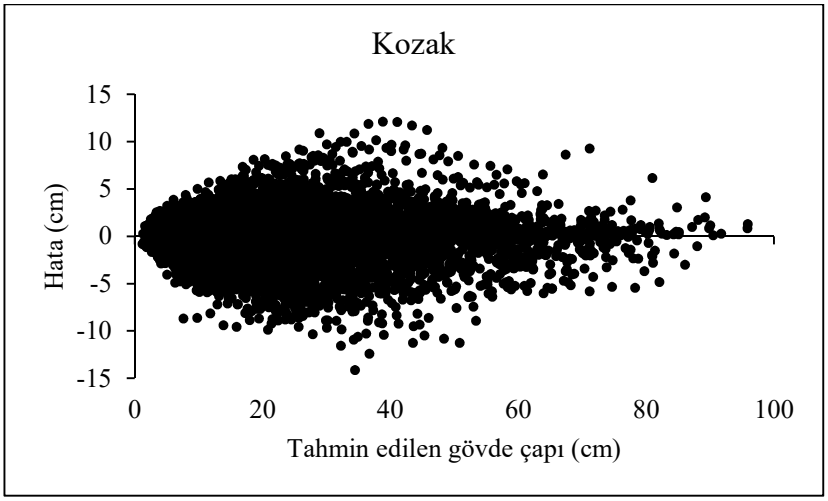
Şekil 4.13. Max ve Burkhart (1976) denklemi için hata dağılımı (Göknar)



Şekil 4.14. Fang vd. (2000) denklemi için hata dağılımı (Göknar)



Şekil 4.15. Bi (2000) denklemi için hata dağılımı (Göknar)



Şekil 4.16. Kozak (2004) denklemi için hata dağılımı (Göknar)

4.3. Modellerin Testine ve Karşılaştırılmasına İlişkin Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında tasarlanan 45 farklı YSA modeline ilişkin rölatif sıralamalara göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda başarılı tahminlerde bulunduğu belirlenen 20 YSA modelinin geçerliliklerinin kontrolü amacıyla her iki ağaç türü için kontrol verileri olarak ayrılan veriler kullanılarak yapılan Eşlendirilmiş Örnekler İçin t Testi sonuçları Tablo 4.12'de verilmiştir. Test sonuçları, kayın ağaç türü için *Kn-HT-HT-2* ve *Kn-HT-L-2* modellerinin ve göknar ağaç türü için de *G-S-L-6* modelinin dışında kalan tüm YSA modellerinin tahminleri ile ölçülen gerçek değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadığını göstermiştir (p>0,05).

Tablo 4.12. *YSA modellerine ilişkin eşlendirilmiş t testi sonuçları*

Ağaç Türü					
Kayın			Göknar		
YSA Modeli	*t*	*p*	YSA Modeli	*t*	*p*
Kn-HT-HT-2	-2,816	0,005*	*G-HT-HT-2*	0,469	0,639
Kn-HT-HT-4	0,743	0,458	*G-HT-HT-4*	0,490	0,624
Kn-HT-HT-6	-0,583	0,560	*G-HT-HT-6*	-0,368	0,713
Kn-HT-HT-8	1,118	0,264	*G-HT-HT-8*	1,540	0,124
Kn-HT-HT-10	0,040	0,968	*G-HT-HT-10*	-0,168	0,866
Kn-HT-L-2	2,251	0,024*	*G-HT-L-2*	1,072	0,284
Kn-HT-L-4	0,744	0,457	*G-HT-L-4*	-0,798	0,425
Kn-HT-L-6	0,922	0,357	*G-HT-L-6*	0,783	0,434
Kn-HT-L-8	-0,457	0,648	*G-HT-L-8*	0,934	0,350
Kn-HT-L-10	0,845	0,398	*G-HT-L-10*	-0,725	0,468
Kn-S-HT-2	-1,401	0,161	*G-S-HT-2*	0,904	0,366
Kn-S-HT-4	-0,726	0,468	*G-S-HT-4*	0,706	0,480
Kn-S-HT-6	1,155	0,248	*G-S-HT-6*	-0,088	0,930
Kn-S-HT-8	0,057	0,954	*G-S-HT-8*	0,688	0,491
Kn-S-HT-10	-0,901	0,368	*G-S-HT-10*	0,405	0,685
Kn-S-L-2	0,553	0,580	*G-S-L-2*	0,513	0,608
Kn-S-L-4	0,228	0,820	*G-S-L-4*	-0,918	0,359
Kn-S-L-6	0,220	0,826	*G-S-L-6*	2,517	0,012*
Kn-S-L-8	-1,283	0,199	*G-S-L-8*	-0,819	0,413
Kn-S-L-10	-0,262	0,793	*G-S-L-10*	-0,326	0,744

**: $p<0,05$*

Tablo 4.12 incelendiğinde, ara ve çıktı katmanlarında kullanılan aktivasyon fonksiyonlarına göre yapılan gruplandırmalarda kayın ağaç türü için en başarılı bulunan *Kn-S-L-10*, *Kn-S-HT-10*, *Kn-HT-HT-10* ve *Kn-HT-L-10* modelleri ile göknar ağaç türü için en başarılı bulunan *G-S-L-10*, *G-S-HT-10*, *G-HT-HT-6* ve *G-HT-L-6* modellerinin tahminlerinin bağımsız kontrol verileri ile yapılan analizler sonucunda gerçek değerlerden istatistik olarak farksız olduğu görülmektedir ($p>0,05$).

Çalışma kapsamında tasarlanan YSA modelleri ile karşılaştırılmak üzere parametre tahminleri yapılan dört adet gövde çapı denkleminin geçerliliklerinin kontrolü amacıyla her iki ağaç türüne ilişkin kontrol verileri yardımıyla yapılan Eşlendirilmiş Örnekler İçin t Testi sonuçları Tablo 4.13'te verilmiştir. Test sonuçlarına göre, her iki ağaç türü için de Max ve Burkhart (1976) gövde çapı denklemi ile yapılan

tahminler gerçek değerlere göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterirken (p<0,05), Fang vd. (2000), Bi (2000) ve Kozak (2004) denklemlerinin tahminleri gerçek değerler ile benzer sonuçlara sahip olmuştur (p>0,05).

Tablo 4.13. *Gövde çapı denklemlerine ilişkin eşlendirilmiş t testi sonuçları*

Gövde Çapı Denklemi	Kayın		Göknar	
	t	*p*	*t*	*p*
Max ve Burkhart (1976)	9,435	0,000*	9,868	0,000*
Fang vd. (2000)	-0,251	0,802	-1,816	0,067
Bi (2000)	-0,465	0,642	1,102	0,270
Kozak (2004)	-1,774	0,076	-1,414	0,158

**: p<0,05*

Çalışma kapsamında geliştirilen YSA modelleri ve gövde çapı denklemleri arasından, yapılan rölatif sıralamalara göre üst sıralarda yer alan ve bağımsız bir veri grubu için geçerliliklerinin analizi sonucunda da başarılı bulunan YSA modelleri ile gövde çapı denklemleri birbirleri ile karşılaştırılarak gövde çapı tahminlerinde YSA modellerinin regresyon denklemlerine göre performansı ortaya konulmuş ve çalışma alanı için kayın ve göknar ağaç türlerinin gövde çapı tahminlerinde kullanılacak en başarılı model belirlenmiştir. Bu karşılaştırmada kullanılan istatistiksel ölçüt değerleri Tablo 4.14'te ve bu ölçütlere göre yapılan rölatif sıralamalar ise Tablo 4.15'te verilmiştir.

Her iki ağaç türü için de YSA modellerine ilişkin istatistiksel ölçüt değerleri ile gövde çapı denklemlerine ilişkin değerler karşılaştırıldığında, YSA modellerine ilişkin R^2 değerlerinin daha yüksek ve hatalara ilişkin istatistiksel ölçütlerin ise daha düşük olduğu görülmektedir (Tablo 4.14). Rölatif sıralamalar incelendiğinde, yine her iki ağaç türü için de karşılaştırılan YSA modellerinin tamamının gövde çapı denklemlerinden daha üst sıralarda yer aldığı, bir başka ifadeyle gövde çapı tahminlerinde YSA modellerinin gövde çapı denklemlerine göre daha başarılı olduğu söylenebilir (Tablo 4.15). Geliştirilen YSA modelleri ve gövde çapı denklemleri kendi aralarında karşılaştırıldığında ise kayın ağaç türü için *Kn-S-HT-10* YSA modelinin ve göknar için *G-S-L-10* YSA modelinin gövde çapı tahminlerinde en başarılı modeller olduğu görülmüştür.

Tablo 4.14. *En başarılı modellere ilişkin istatistiksel ölçütler*

Ağaç Türü	Model	R^2	*HKOK*	*OH*	*OMH*	*TH(%)*	*OMH(%)*	*AIC*
Kayın	YSA Modelleri							
	Kn-HT-HT-10	0,978	2,621	-0,002	1,951	-0,006	6,701	3173
	Kn-HT-L-10	0,979	2,576	-0,036	1,906	-0,122	6,549	3118
	Kn-S-HT-10	0,980	2,526	0,037	1,857	0,128	6,379	3055
	Kn-S-L-10	0,979	2,569	0,011	1,902	0,038	6,533	3109
	Gövde Çap Denklemleri							
	Fang vd. (2000)	0,970	2,935	-0,199	2,101	-0,733	7,752	3724
	Bi (2000)	0,964	2,772	-0,183	2,029	-0,676	7,486	3526
	Kozak (2004)	0,974	2,738	-0,034	1,977	-0,127	7,292	3486
Göknar	YSA Modelleri							
	G-HT-HT-6	0,977	2,610	0,014	1,919	0,053	7,271	3920
	G-HT-L-6	0,976	2,685	-0,031	1,991	-0,117	7,545	4036
	G-S-HT-10	0,978	2,545	-0,015	1,885	-0,057	7,142	3851
	G-S-L-10	0,980	2,472	0,012	1,842	0,045	6,980	3733
	Gövde Çap Denklemleri							
	Fang vd. (2000)	0,971	2,932	0,080	2,169	0,303	8,218	4355
	Bi (2000)	0,959	2,898	-0,193	2,164	-0,730	8,202	4305
	Kozak (2004)	0,973	2,836	-0,012	2,069	-0,047	7,839	4221

Tablo 4.15. *En başarılı modellere ilişkin rölatif sıralamalar*

Ağaç Türü	Model	R_i (R^2)	R_i *(HKOK)*	R_i *(OH)*	R_i *(OMH)*	R_i *(TH%)*	R_i *(OMH%)*	R_i *(AIC)*	*Toplam* R_i	*Genel Sıralama*
Kayın	YSA Modelleri									
	Kn-HT-HT-10	1,75	2,39	1,00	3,31	1,00	2,41	2,06	13,92	1,77
	Kn-HT-L-10	1,38	1,73	2,04	2,20	1,96	1,74	1,57	12,61	1,56
	Kn-S-HT-10	1,00	1,00	2,07	1,00	2,01	1,00	1,00	9,07	1,00
	Kn-S-L-10	1,38	1,63	1,27	2,11	1,26	1,67	1,48	10,81	1,28
	Gövde Çap Denklemleri									
	Fang vd. (2000)	4,75	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	46,75	7,00
	Bi (2000)	7,00	4,61	6,51	5,23	6,53	5,84	5,22	40,94	6,08
	Kozak (2004)	3,25	4,11	1,97	3,95	2,00	4,99	4,87	25,14	3,56
Göknar	YSA Modelleri									
	G-HT-HT-6	1,86	2,80	1,07	2,41	1,07	2,41	2,80	14,42	2,09
	G-HT-L-6	2,14	3,78	1,63	3,73	1,63	3,74	3,92	20,58	2,99
	G-S-HT-10	1,57	1,95	1,10	1,79	1,11	1,79	2,14	11,44	1,65
	G-S-L-10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00	1,00
	Gövde Çap Denklemleri									
	Fang vd. (2000)	3,57	7,00	3,25	7,00	3,26	7,00	7,00	38,09	5,56
	Bi (2000)	7,00	6,56	7,00	6,91	7,00	6,92	6,52	47,90	7,00
	Kozak (2004)	3,00	5,75	1,00	5,17	1,02	5,16	5,71	26,80	3,90

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Karabük yöresi Doğu kayını-Kazdağı göknarı karışık meşcerelerinde bulunan her iki ağaç türü için ayrı ayrı olmak üzere göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliği değerleri yardımıyla ilgili gövde yüksekliğindeki gövde çaplarının tahmin edilmesinde YSA modellerinin başarılarını araştırmak üzere farklı yapılarda YSA modelleri geliştirilmiştir. Bunun yanında, literatürde sıklıkla kullanılan dört farklı gövde çapı denklemi (Max ve Burkhart, 1976; Fang vd., 2000; Bi, 200; Kozak, 2004) için de parametre tahminleri yapılarak YSA modellerinin bu denklemlerle karşılaştırılması sağlanmıştır.

Ara katmanda kullanılan aktivasyon fonksiyonu, çıktı katmanında kullanılan aktivasyon fonksiyonu ve ara katmanda kullanılan nöron sayısına bağlı olarak geliştirilen YSA modelleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, her iki ağaç türü için de ara katmanda sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı modeller en başarılı ve doğrusal fonksiyonun kullanıldığı modeller ise en başarısız modeller olmuştur. Çıktı katmanında kullanılan aktivasyon fonksiyonu olarak ise hiperbolik tanjant ve doğrusal fonksiyonların kullanıldığı modeller başarılı olurken sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı modeller başarısız bulunmuştur. Nöron sayıları bakımından da yine her iki ağaç türünde de YSA modelindeki nöron sayısı arttıkça modellerin başarısının arttığı görülmüştür. YSA modelleri ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar literatürle de uyum göstermektedir.

Geliştirilen YSA modelleri ara ve çıktı katmanlarında kullanılan aktivasyon fonksiyonlarına göre gruplandırıldıklarında, ara ve çıktı katmanlarında hiperbolik tanjant fonksiyonlarının kullanıldığı grupta kayın için 10 ve göknar için 6 nöronlu, ara katmanda hiperbolik tanjant ve çıktı katmanında doğrusal fonksiyonlarının kullanıldığı grupta kayın için 10 ve göknar için 6 nöronlu, ara katmanda sigmoid ve çıktı katmanında hiperbolik tanjant fonksiyonlarının kullanıldığı grupta her iki tür için 10 ve ara katmanda sigmoid ve çıktı katmanında doğrusal fonksiyonlarının kullanıldığı grupta ise yine her iki tür için 10 nöronlu modeller tahmin başarıları en yüksek modeller olmuştur.

Geliştirilen gövde çapı denklemleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, her iki ağaç türü için de Kozak (2004) tarafından geliştirilen değişken-şekil gövde çapı denkleminin en başarılı ve Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı denkleminin en başarısız denklemler olduğu belirlenmiştir.

YSA modelleri ile gövde çapı denklemlerinin başarıları arasında yapılan karşılaştırmada ise model tasarım gruplarında başarılı bulunan tüm YSA modellerinin her iki ağaç türünde de gövde çapı denklemlerinden daha başarılı sonuçlar verdiği, gövde çapı denklemlerinin ise YSA modellerine göre daha alt sıralarda kaldığı görülmüştür. Bu sonuca göre Karabük yöresi Doğu kayını-Kazdağı göknarı karışık meşcerelerinde bulunan ağaçlara ilişkin gövde çapı tahminlerinde YSA modellerinin başarı ile kullanılabileceği ve bu modeller yardımıyla yapılacak gövde çapı tahminlerinin gövde çapı denklemlerine ilişkin tahminlerden daha yüksek doğruluğa sahip olacağı söylenebilir.

Geliştirilen alternatif YSA modelleri arasından seçilen herhangi bir başarılı YSA modeli kullanılarak bağımsız bir veri setine ilişkin girdi değerleri ile çıktı üretilmesinde izlenecek yol, normalleştirilmiş göğüs çapı 0,3369, normalleştirilmiş ağaç boyu 0,5082 ve gövde çapının hesaplanmak istendiği normalleştirilmiş gövde yüksekliğinin -0,5152 olduğu bir kayın ağacının bu yükseklikteki gövde çapını belirlemek üzere aktivasyon fonksiyonu olarak ara katmanda sigmoid fonksiyonunu ve çıktı katmanında hiperbolik tanjant fonksiyonunu kullanan ve basit ve anlaşılır olması açısından ara katmanda 2 nöron içeren örnek bir model için aşağıda aşamalar halinde açıklanmıştır.

*(*i) Öncelikle YSA modelinin ara katmanına ilişkin ağırlık (W_{ij}) ve hata değerleri (b_j) yardımıyla ara katmandaki nöronlara ilişkin birleştirme (toplama) fonksiyonu değerleri hesaplanır. Verilen örnek için ara katmanın ağırlık değerlerinin gövde çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliği için sırasıyla 1. nöronda 0,2474, -3,1945 ve 3,3584 ve 2. nöronda 0,5385, 0,0638 ve -0,6164 olarak, hata değerlerinin ise 1. nöronda -4,5522 ve 2. nöronda -3,7099 olarak elde edilmiş olduğu düşünülürse nöronlara ilişkin toplama değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$net_1 = 0{,}2474 * 0{,}3369 + (-3{,}1945) * 0{,}5082 + 3{,}3584 * (-0{,}5152) - 4{,}5522 = -7{,}822544$$

$$net_2 = 0{,}5385 * 0{,}3369 + 0{,}0638 * 0{,}5082 + (-0{,}6164) * (-0{,}5152) - 3{,}7099 = -3{,}17849$$

(*ii*) Ara katmanda her bir nöron için hesaplanan toplam değerler, çıktı katmanına aktarılmak üzere sigmoid fonksiyonu olarak seçilen aktivasyon fonksiyonuna tabi tutularak transfer edilecek değerler hesaplanır.

$$Ç(net_1) = \frac{1}{1+e^{-(-7{,}822544)}} = 0{,}000400$$

$$Ç(net_2) = \frac{1}{1+e^{-(-3{,}178487)}} = 0{,}039983$$

(*iii*) Çıktı katmanına aktarılan değerler bu katmana ilişkin ağırlık (W_{ij}) ve hata değerleri (b_j) yardımıyla çıktı katmanındaki nöronlara ilişkin toplama fonksiyonu değerleri hesaplanır. Verilen örnek için çıktı katmanının ağırlık değerlerinin 1. nöron için -43,1755 ve 2. nöron için 34,9260 olarak, hata değerinin ise -1,4299 olarak elde edilmiş olduğu düşünülürse çıktı katmanına ilişkin toplama değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$net_Ç = (-43{,}1755) * 0{,}000400 + 34{,}9260 * 0{,}039983 - 1{,}4299 = -0{,}050724$$

(*iv*) Çıktı katmanı için hesaplanan toplam değer, dış dünyaya aktarılmak üzere hiperbolik tanjant fonksiyonu olarak seçilen aktivasyon fonksiyonuna tabi tutularak çıktı değeri hesaplanır.

$$Ç(net_ç) = \frac{2}{1+e^{-2(-0{,}050724)}} - 1 = -0{,}050681$$

(*v*) Çıktı olarak hesaplanan değer normalleştirilmiş bir değer olduğundan bu değerin gerçek (normalleştirilmemiş) çıktı değerine dönüştürülmesi gerekir. Veri setine ilişkin en düşük ve en yüksek gövde çapı değerlerinin sırasıyla 0,9 cm ve 89,0 cm olduğu düşünülürse açıklanan bu örnek YSA modeli ile tahmin edilecek olan gövde çapı değeri aşağıdaki gibi hesaplanarak işlem sonuçlandırılır.

$$d = \frac{(-0{,}050681+1)(89{,}0-0{,}9)}{2} + 0{,}9 = 42{,}7\ cm$$

6. ÖNERİLER

Karabük yöresinde geniş bir yayılış alanına sahip Doğu kayını-Kazdağı göknarı karışık meşcerelerinde bulunan kayın ve göknar ağaçlarının farklı gövde yüksekliklerindeki gövde çaplarının belirlenmesi, bu ağaçlardan elde edilecek ürün çeşitlerinin ağaçlar dikili haldeyken ortaya konulabilmesi açısından oldukça önemlidir. Gövde çaplarının tahmininde ise gövde çapı denklemlerine alternatif olarak geliştirilen ve söz konusu denklemlerden daha yüksek tahmin başarısına sahip olduğu belirlenen YSA modelleri kullanışlı bir alternatif yöntemdir. İlgili tahminler için gerek kayın ve gerekse göknar ağaçları için bu çalışma kapsamında başarılı bulunan YSA modelleri kulanılabilir.

YSA modelleri ile gövde çapı tahminlerine ilişkin çalışma sayısının artırılarak YSA modellerinin diğer ağaç türlerine ilişkin gövde çapı tahminlerinde kullanım olanaklarının da araştırılması oldukça önemlidir. YSA ile ilgili bu konuda yapılacak olan çalışmalarda ayrıca, tasarlanacak YSA modellerinde farklı öğrenme algoritmalarının ve farklı YSA tiplerinin kullanımının ve ayrıca ara katman sayısı ve ara katmandaki nöron sayılarının artırılmasının tahmin başarısı üzerine olan etkilerinin de araştırılması konu ile ilgili literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

Çalışma kapsamında elde edilen bilgiler ışığında, gövde çapı tahminleri için tasarlanacak yeni YSA modellerinde aktivasyon fonksiyonu olarak ara katmanda doğrusal fonksiyonun ve çıktı katmanında ise sigmoid fonksiyonunun kullanılmamaları gerektiği söylenebilir. Bunun yanında, yine aynı amaçla tasarlanacak YSA modellerinde nöron sayısının da en az 6 olması gerektiği ifade edilebilir.

YSA modellerinin, gövde çapı dışındaki ağaç boyutlarının tahmininde kullanım olanaklarının araştırılması da ormancılık literatürü açısından önemlidir. Bu konuda yapılacak araştırmalar sonucunda elde edilecek bulgular söz konusu tahminler için yeni bir alternatif olarak YSA modellerinin kullanılabilirliği konusunda önemli bilgiler verecektir.

KAYNAKLAR

Abbasi, B., Rabelo, L., & Hosseinkouchack, M. (2008). Estimating parameters of the three-parameter Weibull distribution using a neural network. *European Journal of Industrial Engineering*, *2*(4), 428-445.

Alemdağ, Ş. (1962). *Türkiye'deki kızılçam ormanlarının gelişimi, hasılat ve amenajman esasları.* Ankara: Ormancılık Araştırma Enstitüsü.

Alemdağ, Ş. (1967). *Türkiye'deki sarıçam ormanlarının kuruluşu, verim gücü ve bu ormanların işletilmesinde takip edilecek esaslar.* Ankara: Ormancılık Araştırma Enstitüsü.

Akalp, T. (1978). *Türkiye'deki Doğu ladini (Picea orientalis L.) ormanlarında hasılat araştırmaları.* İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını.

Anonim (1985). *Kayın, El kitabı dizisi: 1*. Ankara: Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.

Anşin, R. (2001). *Tohumlu bitkiler: Gymnospermae (Açık Tohumlular).* I. Cilt, III. Baskı, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Anşin, R., & Özkan, Z. C. (2006). *Tohumlu bitkiler (Spermatophyta) odunsu taksonlar*. 3. Baskı, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını.

Arslan, M., & Çelem, H. (2001). *Ankara'nın egzotik ağaç ve çalıları*. Ankara: TÜBİTAK.

Arias-Rodil, M., Diéguez-Aranda, U., Puerta, F. R., López-Sánchez, C. A., Líbano, E. C., Obregón, A. C., & Castedo-Dorado, F. (2015). Modeling and localizing a stem taper function for *Pinus radiata* in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, *45*(6), 647-658.

Asan, Ü. (1984). *Kazdağı göknarı (Abies equi-trojani Aschers, et Sinten.) ormanlarının hasılat ve amenajman esasları üzerine araştırmalar*. İstanbul: Taş Matbaası.

Ashraf, M. I., Zhao, Z., Bourque, C. P. 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*(12), 1162–1171.

Ashraf, M. I., Meng, F. R., Bourque, C. P. A., & MacLean, D. A. (2015). A novel modelling approach for predicting forest growth and yield under climate change. *PLoS ONE*, *10*(7).

Atalay, F. A. (2014). Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı Meşcereleri İçin Gövde Profili Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Çankırı.

Atkinson, P. M., & Tatnall, A. R. L. (1997). Neural networks in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, *18*(4), 699–709.

Bailey, D., & Thompson, D. M. (1990). Developing neural-network applications. *AI Expert*, *5*(9), 33-41.

Barrio-Anta, M, Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G., & Von Gadow, K. (2007). Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*, *64*(5), 511-520.

Barth, A., & Holmgren, J. (2013). Stem taper estimates based on airborne laser scanning and cut-to-length harvester measurements for pre-harvest planning. *International Journal of Forest Engineering*, *24*(3), 161–169.

Barth, A., Möller, J. J., Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hedberg, R., & Söderman, U. (2015). A Swedish case study on the prediction of detailed product recovery from individual stem profiles based on airborne laser scanning. *Annals of Forest Science*, *72*(1), 47–56.

Baynazoğlu, F. (2014). Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşcereleri İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Çankırı.

Behre, E. C. (1923). Preliminary notes on studies of tree form. *Journal of Forestry*, *21*(5), 507-511.

Bennet, F. A., & Swindel, B. F. (1972). Taper curves for planted slash pine. *USDA Forest Service*, *Research Note*, *SE-179*.

Bennet, F. A., Lloyd, F. T., Swindel, B. F., & Whitehorn, E. W. (1978). Yields of veneer and associated products from unthinned, old-fiend plantations of slash pine, in The North Florida and Sounth Georgia Flatwoods. *USDA Forest Service*, *Research Paper*, *SE-176*.

Berhe, L., & Arnoldsson, G. (2008). Tree taper models for *Cupressus lusitanica* plantations in Ethiopia. *Southern Forests*, *70*(3), 193–203.

Bhering, L. L., Cruz, C. D., Peixoto, L. A., Rosado, A. M., Laviola, B. G., & Nascimento, M. (2015). Application of neural networks to predict volume in eucalyptus. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *15*(3), 125-131.

Bi, H. (2000). Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalypts. *Forest Science*, *46*(3), 397-407.

Bi, H., & Long, Y. (2001). Flexible taper equation for site-specific management of *Pinus radiata* in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, *148*(1-3), 79-91.

Bielak, K., Dudzinska, M., & Pretzsch, H. (2014). Mixed stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) can be more productive than monocultures. Evidence from over 100 years of observation of long-term experiments. *Forest Systems*, *23*(3), 573-589.

Biging, G. S. (1984). Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *Forest Science*, *30*(4), 1103-1117.

Blackard, J. A., & Dean, D. J. (1999). Comparative accuracies of artificial neural networks and discriminant analysis in predicting forest cover types from cartographic variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, *24*(3), 131-151.

Bolat, F., & Ercanlı, İ. (2016). Using artificial neural network in describing diameter distribution in an even-aged forest. *International Forestry Symposium*, 536-541, Kastamonu.

Bozkuş, H. F., & Carus, S. (1997). Toros göknarı (*Abies clicica* Carr.) ve sedir (*Cedrus libani* Link.)'in çift girişli gövde hacim tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *Seri A*, *47*(1), 51-70.

Brooks, J. R., Jiang, L., & Clark, A. (2007). Compatible stem taper, volume and weight equations for young longleaf pine plantations in Southwest Georgia. *Southern Journal of Applied Forestry*, *31*(4), 187-191.

Brooks, J. R., Jiang, L., & Ozçelik, R. (2008). Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *Forest Ecology and Management*, *256*(1-2), 147-151.

Bruce, D., Curtis, R. O., & Vancoevering, C. (1968). Development of a system of taper and volume tables for red alder. *Forest Science*, *14*(3), 339-350.

Bueno-López, S. W., & Bevilacqua, E. (2012). Nonlinear mixed model approaches to estimating merchantable bole volume for *Pinus occidentalis*. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *5*(5), 247-254.

Burkhart, H. E. (1977). Cubic-foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. *Southern Journal of Applied Forestry*, *1*(2), 7-9.

Burkhart, H. E., & Walton, S. B. (1985). Incorporating crown ratio into taper equations for loblolly pine trees. *Forest Science*, *31*(2), 478-484.

Cai, S., Kang, X., & Zhang, L. (2012). Simulation of trunk diameter distribution for three broadleaved trees based on artificial neural networks. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, *4*, 520-527.

Cao, Q. V., Burkhart, H. E., & Max, T.A. (1980). Evaluating of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science*, *26*(1), 71-80.

Carus, S., & Su, Y. (2014). Antalya–Korkuteli yöresi kızılçam ağaçlandırmaları için tek ve çift girişli ağaç hacim tablosunun düzenlenmesi ve mevcut tablolar ile kıyaslanması. *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 574-584, Isparta.

Carus, S., Memiş, İ., Kündü, K., & Alem, Ö. (2016). Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağaçlandırması için tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, *17*(1), 37-42.

Castellanos, A., Blanco, A. M., & Palencia, V. (2007). Applications of radial basis neural networks for area forest. *International Journal Information Theories & Applications*, *14*(3), 218-222.

Castro, R. V. O., Soares, C. P. B., Leite, H. G., Lopes de Souza, A., Nogueira, G. S., & Martins, F. B. (2013). Individual growth model for Eucalyptus stands in Brazil using artificial neural network. *ISRN Forestry*, *2013*.

Clark, A., Souter, R. A., & Schlaegel, B. E. (1991). Stem profile equations for southern tree species. *USDA Forest Service*, *Research Paper*, *SE-282*.

Claughton-Wallin, H., & McVicker. F. (1920). The Jonson "Absolute Form Quotient" as an expression of taper. *Journal of Forestry*, *18*(4), 346-357.

Clutter, J. L. (1980). Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *Forest Science*, *26*(1), 117-120.

Coble, D. W., & Wiant, H. V. (2000). Centroid method: comparison of simple and complex proxy tree taper functions. *Forest Science*, *46*(4), 473-477.

Corne, S. A., Carver, S. J., Kunin, W. E., Lennon, J. J., & Van Hees, W. W. V. (2004). Predicting forest attributes in southeast Alaska using artificial neural networks. *Forest Science*, *50*(2), 259–276.

Corral-Rivas, J. J., Diéguez-Aranda, U., Rivas, S. C., & Dorado, F. C. (2007). A merchantable volume system for major pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forest Ecology and Management*, *238*(1-3), 118–129.

Crecente-Campo, F., Alboreca, A. R., & Diéguez-Aranda, U. (2009). A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Annals of Forest Science*, *66*(8), 808.

Çalışkan, A., & Yeşil, A. (1996). BüyükdüzAaraştırma Ormanı sarıçam-göknar-kayın karışık meşcerelerinde bulunan sarıçam için tek ve çift girişli hacim tablosu. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *46*(1), 39-50.

Çalışkan, E., & Acar, H. H. (2006). Yapay zeka tekniklerinin odun hammaddesi üretiminde kullanılması üzerine bir değerlendirme. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, *7*(1), 51-59.

Daquitaine, R., Saint-Andre, L., & Leban, J. M. (1999). *Product properties prediction-improved utilisation in the forestry-wood chain applied on spruce sawnwood: Modelling stem properties distribution.* Final Report Sub-task A2.1. Nancy.

de-Miguel, S., Mehtätalo, L., Shater, Z., Kraid, B., & Pukkala, T. (2012). Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Canadian Journal of Forest Research*, *42*(7), 1383-1394.

Demaerschalk, J. P. (1972). Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science*, *18*(3), 241-245.

Demaerschalk, J. P. (1973). Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Canadian Journal of Forest Research*, *3*(1), 90-94.

Demirkır, C., Kahraman, H. T., & Çolakoğlu, G. (2014). Kontrplaklarda yapışma direnci modellenmesinde meta-buluşsal yapay sinir ağları tekniklerinin kullanılması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *15*(1), 20-32.

Diamantopoulou, M. J. (2005a). Artificial neural networks as an alternative tool in pine bark volume estimation. *Computers and Electronics in Agriculture*, *48*(3), 235–244.

Diamantopoulou, M. J. (2005b). Total tree volume estimation using artificial neural network models. *Increasing Work Efficiency in Agriculture, Horticulture and Forestry*, *XXXI CIOSTA-CIGR V Congress*, 140-147, Hohenheim.

Diamantopoulou, M. J., Papamichail, D. M., & Antonopoulos, V. Z. (2005). The use of a neural network technique for the prediction of water quality parameters. *Operational Research*, *5*(1), 115-125.

Diamantopoulou, M. J. (2006). Tree-bole volume estimation on standing pine trees using cascade correlation artificial neural network models. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *8*.

Diamantopoulou, M. J., Milios, E., Doganos, D., & Bistinas, I. (2009). Artificial neural network modeling for reforestation design through the dominant trees bole-volume estimation. *Natural Resource Modeling*, *22*(4), 511-543.

Diamantopoulou, M.J. (2010). Filling gaps in diameter measurements on standing tree boles in the urban forest of Thessaloniki, Greece. *Environmental Modelling & Software*, *25*(12), 1857-1865.

Diamantopoulou, M. J., & Milios, E. (2010). Modelling total volume of dominant pine trees in reforestations via multivariate analysis and artificial neural network models. *Biosystems Engineering*, *105*(3), 306–315.

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 diamater distribution using least squares and artifical neural networks methods. *Biosystems Engineering*, *133*, 33-45.

Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G., & Rojo, A. (2006). Compatible taper function for Scots pine Plantations in nortwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, *36*(5), 1190–1205.

Eler, Ü. (1977). Ağaç serveti envanteri yapılması amacıyla meşcere tipi ayrımı üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.* İstanbul.

Eler, Ü. (2013). *Dendrometri*. Isparta: SDÜ Basımevi.

Elmas, Ç. (2007). *Yapay zeka uygulamaları.* Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Eraslan, İ. (1954). *Trakya ve bilhassa Demirköy mıntıkası meşe ormanlarının amenajman esasları hakkında araştırmalar*. Ankara: OGM Yayını.

Eraslan, İ. (1963). Türkiye'de orman envanterinin geçmişi ve bugünkü durumu. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *Seri B*, *13*(2), 17-45.

Eraslan, İ., & Kalıpsız, A. (1967). *Belgrad Ormanlarının amenajmanında uygulanan envanter metotları*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Ercanlı, İ., Güvendi, E., Güney, D., Günlü, A., & Altun, L. (2008). Sinop yöresi Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarına ilişkin tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *8*(1), 14-25.

Ercanlı, İ., Kurt, A. K., & Bolat, F. (2014). Adana-Feke kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesinde bazı varyans yapılarının karşılaştırılması. *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 585-591, Isparta.

Ercanlı, İ., Kurt, A. K., & Bolat, F. (2015a). Mersin-Tarsus yöresi karaçam ağaçlandırmaları için gövde profil denklemlerinin otoregresif modelleme Tekniği ile geliştirilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, *1*(1-2), 8-14.

Ercanlı, İ., Kahriman, A., & Bolat, F. (2015b). Applications of artificial neural network for predicting the relationships between height and age for Oriental beech. *10th International Beech Symposium*, 6-7, Kastamonu.

Ercanlı, İ., Kahriman, A., & Yavuz, H. (2016). Predicting Oriental spruce and Scots pine tree diameter incremen based on artificial neural network located in mixed Oriental spruce-Scots pine stands at Trabzon and Giresun furest district. *International Forestry Symposium*, 554-558, Kastamonu.

Ercanlı, İ., & Bolat, F. (2017). Diameter distribution modeling based on artificial neural networks for Kunduz forests, *International Symposium on New Horizons in Forestry*, 238-241, Isparta.

Ercanlı, İ., & Şenyurt, M. (2017). Bozalan ve Çubuk yöresi sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ağaçları için gövde çapı denklemlerinin farklı otoregresif modelleme Yaklaşımları ile geliştirilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, *3*(1), 50-59.

Esteban, L. G., Fernández, F. G., & de Palacios, P. (2009). MOE prediction in *Abies pinsapo* Boiss. timber: Application of an artificial neural network using non-destructive testing. *Computers & Structures*, *87*(21-22), 1360–1365.

Evcimen, B. S. (1963). *Türkiye sedir ormanlarının ekonomik önemi, hasılat ve amenajman esasları*. Ankara: OGM Yayınları.

Fang, Z., & Bailey, R. L. (1999). Compatible volume and taper models with coefficients for tropical species on Hainan Island in Southern China. *Forest Science*, *45*(1), 85-100.

Fang, Z., Borders, B. E., & Bailey, R. L. (2000). Compatible volume taper models for loblolly and slash pine based on system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, *46*(1), 1-12.

Farrar, R. M. (1987). Stem profile functions for predicting multiple product volumes in natural longleaf pines. *Southern Journal of Applied Forestry*, *11*(3), 161-167.

Farrar, R. M., & Murphy, P. A. (1988). A versatile volume-defining function for natural loblolly pine trees. *USDA Forest Service*, *Research Paper*, *SO-243*.

Fırat, F. (1973). *Dendrometri*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Figueiredo-Filho, A., Borders, B. E., & Hitch, K. L. (1996). Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology Management*, *83*(1-2), 39-46.

Fonweban, J., Gardiner, B., Macdonald, E., & Auty, D. (2011). Taper functions for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Northern Britain. *Forestry, 84*(1), 49–60.

Gómez-García, E., Crecente-Campo, F., & Diéguez-Aranda, U. (2013). Selection of mixed-effects parameters in a variable–exponent taper equation for birch trees in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*, *70*(7), 707-715.

Gordon, A. (1983). Comparison of compatible polynomial taper equations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, *13*(2), 146-155.

Goulding, C. J., & Murray, J. C. (1976). Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, *5*(3), 313-322.

Griess, V. C., & Knoke, T. (2011). Growth performance, windthrow, and insects: meta-analyses of parameters influencing performance of mixedspecies stands in boreal and Northern temperate biomes. *Canadian Journal of Forest Reseacrh*, *41*(6), 1141-1159.

Guan, B. T., & Gertner, G. (1991). Modeling red pine tree survival with an artificial neural network. *Forest Science*, *37*(5), 1429-1440.

Guan, B. T., Gertner, G. Z., & Parysow, P. (1997). A framework for uncertainty assessment of mechanistic forest growth models: a neural network example. *Ecological Modelling*, *98*(1), 47-58.

Gülen, İ. (1959). Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) hacim tablosu. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *Seri A*, *9*(1), 97-112.

Güner, A. (2012). *Türkiye bitkileri listesi (Damarlı Bitkiler).* İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları.

Günlü, A., & Ercanlı, İ. (2017). Evaluating some artificial neural networks and multiple linear regression model for predicting carbon of pure Oriental beech stand in Göldağı forests, *International Symposium on New Horizons in Forestry*, 257-259, Isparta.

Güntekin, E., Cengiz, Y., Aydoğan, T., Aydın, T. Y. & Özdamar, İ. H. (2014). Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) kerestesinde elastikiyet modülünün doğrusal modelleme ve yapay sinir ağları ile tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18*(2), 64-68.

Hamzaçebi, C. (2011). *Yapay sinir ağları tahmin amaçlı kullanımı Matlab ve Neurosolutions uygulamalı*. Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım.

Hasenauer, H., Merkl, D., & Weingartner, M. (2001). Estimating tree mortality of Norway spruce stands with neural networks. *Advances in Environmental Research*, *5*(4), 405-414.

Hasenauer, H., & Kindermann, G. (2002). Methods for assessing regeneration establishment and height growth in uneven-aged mixed species stands. *Forestry*, *75*(4), 385–394.

Haykin, S. (1999). *Neural Networks: a comprehensive foundation* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Hojer, A. (1903). *Growth of Scots pine and Norway spruce*. Stockholm: Bilaga till. Loven, F.A. om vara barrskorar.

Honer, T. G. (1967). *Standard volumes and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada*. Ottawa, Ontario: Forest Management Research and Service Institute.

Huang, S., Price, D., Morgan, D., & Titus, S. (1999). Validation of ecoregion-based taper equations for white spruce in Alberta. *The Forestry Chronicle*, *75*(2), 281-292.

Jensen, J. R., Qiu, F., & Ji, M. (1999). Predictive modelling of coniferous forest age using statistical and articial neural network approaches applied to remote sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, *20*(14), 2805- 2822.

Jiang, L., Brooks, J. R., & Wang, J. (2005). Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in west Virginia. *Forest Ecology and Management*, *213*(1-3), 399-409.

Kahriman, A., Sönmez, T., & Şahin, A. (2017). Antalya ve Mersin yöresi kızılçam meşcereleri için ağaç hacim tabloları. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *17*(1), 9-22.

Kalıpsız, A. (1962). *Doğu kayınında artım büyüme araştırmaları*. Ankara: OGM Yayını.

Kalıpsız, A. (1984). *Dendrometri.* İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Kapucu, F. (1988). Doğu Karadeniz Bölgesinde doğal karışık meşcereler, kuruluşları ve kavranmasında kimi parametrelerin uygulanması. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *38*(1), 102-117.

Kayacık, H. (1963). Türkiye çamları ve bunların coğrafi yayılışları üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *Seri A*, *13*(1), 1-17.

Klos, R. J., Wang, G. G., Dang, Q. L., & East, E. W. (2007). Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. *Western Journal of Applied Forestry*, *22*(3), 163-170.

Kozak, A., Munro, D. D., & Smith, J. H. G. (1969). Taper functions and their applications in forest inventory. *The Forestry Chronicle*, *45*(4), 278-283.

Kozak, A. (1988). A variable-exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research*, *18*(11), 1363-1368.

Kozak, A. (1997). Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. *Canadian Journal of Forest Research*, *27*(5), 619-629.

Kozak, A. (2004). My last words on taper equations. *The Forestry Chronicle*, *80*(4), 507–515.

Kurt, A. K. (2014). Tarsus Orman İşletme Müdürlüğü Sınırları İçerisinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme Yaklaşımı İle Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Çankırı.

Kumaş, G. (2015). Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde Yayılış Gösteren Kızılçam Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Profili Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Artvin.

Leduc, D. J., Matney, T. G., Belli, K. L., & Baldwin, V. C. (2001). Predicting diameter distributions of longleaf pine plantations: A comparison between artificial neural networks and other accepted methodologies. *Southern Research Station RS*, *25*, 1-18.

Lee, W. K., Seo, J. H., Son, Y. M., Lee, K. H., & Von Gadow, K. (2003). Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management*, *172*(1), 69-77.

Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?. *Ecology*, *74*(6), 1659–1673.

Leite, H. G., da Silva, M. L. M., Binoti, D. H. B., Fardin, L., & Takizawa, F. H. (2011). Estimation of inside-bark diameter and heartwood diameter for *Tectona grandis* Linn. trees using artificial neural networks. *European Journal of Forest and Research*, *130*(2), 263–269.

Leites, L. P., & Robinson, A. P. (2004). Improving taper equations of loblolly pine with crown dimensions in a mixed-effects modeling framework. *Forest Science*, *50*(2), 204-212.

Li, R., & Weiskittel, A. R. (2010). Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region. *Annals of Forest Science, 67*(3), 302.

Li, R., Weiskittel, A., Dick, A. R., Kershaw, J. A., & Seymour, R. S. (2012). Regional stem taper equations for eleven conifer species in the Acadian region of North America: development and assessment. *Northern Journal of Applied Forestry*, *29*(1), 5–14.

Liao, W., Nogami, K., & Imanaga, M. (1998). An application of neurogenetic algorithm system to individual tree growth model. *Journal of Forest Research*, *3*(2), 79-84.

Lippmann, R. P. (1987). An introduction to computing with neural nets. *IEEE Assp Magazine*, *4*(2), 4-22.

Liu, C. J. (1980). Log volume estimating with spline approximation. *Forest Science*, *26*(3), 361-369.

Liu, C., Zhang, L., Davis, C. J., Solomon, D. S., Brann, T. B. & Caldwell, L. E. (2003). Comparison of neural networks and statistical methods in classification of ecological habitats using FIA data. *Forest Science, 49*(4), 619-631.

Loetsch, F., Zöhrer, F., & Haller, K. (1973). *Forest inventory*. *Volume 2*. München: BLV Verlagsgesellschaft.

Masters, T. (1993). *Practical neural network recipes in C++*. New York: Academic Press.

Matney, T. G., Hodges, J. D., Sullivan, A. D., & Ledbetter, J. R. (1985). Tree profile and volume ratio equations for sweetgum and cherrybark oak trees. *Southern Journal of Applied Forestry*, *9*(4), 222-227.

Max, T. A., & Burkhart, H. E. (1976). Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, *22*(3), 283-289.

Menéndez-Miguélez, M., Canga, E., Álvarez-Álvarez, P., & Majada, J. (2014). Stem taper function for sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice stands in northwest Spain. *Annals of Forest Science*, *71*(7), 761-770.

Meydan Aktürk, G. (2006). Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) İçin Trigonometrik Gövde Çapı Denkleminin Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.

M'Hirit, O., & Postaire, J. G. (1985). A Nonparametric technique for taper function estimation. *Canadian Journal of Forest Research*, *15*(5), 862-871.

Mısır, N., & Mısır, M., .(2004). Developing double-entry tree volume table for Ash in Turkey. *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, *5*(2), 135-144.

Miraboğlu, M. (1955). *Göknarlarda şekil ve hacim araştırmaları*. İstanbul: OGM Yayını.

Muhairwe, C. K. (1999). Taper Equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the north coast in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, *113*(2-3), 251-269.

Newnham, R. M. (1988). A variable-form taper function. *Forestry Canada Petawawa National Forestry Institute*, *Information Report*, *PI-X-83*.

Newnham, R. M. (1992). Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, *22*(2), 210-223.

Nunes, M. H., & Görgens, E. B. (2016). Artificial intelligence procedures for tree taper estimation with in a complex vegetation mosaic in Brazil. *PLoS ONE*, *11*(5).

OGM (2013). *Orman atlası*. Ankara: OGM Yayını.

OGM (2015). *Türkiye orman varlığı*. Ankara: OGM Yayını.

Özcan, K. (1986). Seçme ormanlarının beklentisi. *Orman Teknikerleri Derneği Dergisi*, Haziran, *9*.

Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Wiant, H.V., & Brooks, J. R. (2008). Comparative study of standard and modern methods for estimating tree bole volume of three species in Turkey. *Forest Products Journal*, *58*(6), 73-81.

Özçelik, R. (2010). Sarıçam için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modeli. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 358-366, Artvin.

Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Brooks, J. R., & Wiant, H. V. (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., & Alkan, H. (2011). Okaliptüs ağaçlandırmaları için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi. *I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 720-730, Kahramanmaraş.

Özçelik, R., Brooks, J. R., & Jiang, L. (2011). Modeling stem profile of Lebanon cedar, Brutian pine and Cilicica fir in Southern Turkey using nonlinear mixed-effects models. *European Journal of Forest Researc*h, *130*(4), 613-621.

Özcelik, R., & Brooks, J. R. (2012). Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Annals of Forest Science*, *69*(1), 105-118.

Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., & Kırış, R. (2012). Burdur yöresi kızılçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *13*(2), 85-91.

Özçelik, R., & Bal, C. (2013). Effects of adding crown variables in stem taper and volume predictions for black pine. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *37*(2), 231-242.

Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Crecente-Campo, F., & Eler, U. (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. (2014a). The use of tree crown variables in over-bark diameter and volume prediction models. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *7*(3), 132-139.

Özçelik, R., Yavuz, H., Gürlevik, N., Karatepe, Y., & Kırış, R. (2014b). Sedir ağaç türü için yetişme ortamı bazlı gövde çapı ve gövde hacim modellerinin geliştirilmesi. *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 592-600, Isparta.

Özçelik, R., & Göçeri, M. F. (2015). Compatible merchantable stem volume and taper equations for Eucalyptus plantations in East Mediterranean Region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 39*(6), 851-863.

Özçelik, R., & Yaşar, Ü. (2015). Sinop Yöresi Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) meşcereleri için gövde çapı modelinin karışık etkili modelleme tekniği ile geliştirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, *16*(2), 86-95.

Özçelik, R., & Crecente-Campo, F. (2016). Stem taper equations for estimating merchantable volume of Lebanon cedar trees in the Taurus Mountains, Southern Turkey. *Forest Science*, *62*(1), 78-91.

Özçelik, R., & Karaer, K. (2016). Eğirdir Yöresi doğal kızılçam ve karaçam meşcereleri için ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *66*(1), 59-74.

Özçelik, R., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Cañellas, I., & Crecente-Campo F. (2016). Development of ecoregion-based merchantable volume systems for *Pinus brutia* Ten. and *Pinus nigra* Arnold. in southern Turkey. *Journal of Forestry Research*, *27*(1), 101–117.

Özçelik, R., & Cao, Q. V. (2017). Evaluation of fitting and adjustment methods for taper and volume prediction of black pine in Turkey. *Forest Science*, *63*(4), 349–355.

Özçelik, R., & Çevlik, M. (2017). Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, *18*(1), 37-48.

Özçelik, R., & Dirican, O. (2017). Individual taper models fornatural cedar and Taurus fir mixed stands of Bucak Region, Turkey. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, *67*(2), 243-261.

Özçelik, R., Sarıtaş, A., & Arias-Rodil, M. (2017). Doğu ladini için gövde çapı modelinin karışık etkili yaklaşım ile geliştirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, *18*(2), 110-118.

Özkurt, A. (2000). Okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) için hacim tablosu. *Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, *6*, 87-105.

Öztemel, E. (2006). *Yapay sinir ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık.

Paruelo, J. M., & Tomasel, F. (1997). Prediction of functional characteristics of ecosystems: a comparison of artificial neural networks and regression models. *Ecological Modelling*, *98*(2-3), 173-186.

Parresol, B. R., Hotvedt, J. E., & Cao, Q. V. (1987). A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian Journal of Forest Research*, *17*(3), 250-259.

Perez, D. N., Burkhart, H. E., & Stiff, C. T. (1990). A variable-form taper function for *Pinus oocarpa* Schiede in central Honduras. *Forest Science*, *36*(1), 186-191.

Pompa-García, M., Corral-Rivas, J. J., Hernández-Díaz, J. C., & Álvarez-González, J. G. (2009). A system for calculating the merchantable volume of oak trees in the northwest of the state of Chihuahua, Mexico. *Journal of Forestry Research*, *20*(4), 293–300.

Poudel, K. P., & Cao, Q. V. (2013). Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, *59*(2), 243-252.

Pretzsch, H., & Schütze, G. (2014). Size-structure dynamics of mixed versus pure forest stands. *Forest Systems*, *23*(3), 560-572.

Real, P. L., Moore, J. A., & Newberry, J. D., (1989). Principal components analysis of tree stem profiles. *Canadian Journal of Forest Research*, *19*, 1538-1542.

Reed, D. D., & Green, E. J. (1984). Compatible stem taper and ratio equations. *Forest Science*, *30*(4), 977-990.

Rodríguez, F., Lizarralde, I., & Bravo, F. (2015). Comparison of stem taper equations for eight major tree species in the Spanish Plateau. *Forest Systems*, *24*(3), 034.

Rojo, A., Perales, X., Sánchez-Rodríguez, F., Álvarez-González, J. G., & Von Gadow, K. (2005). Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). *European Journal of Forest Research*, *124*(3), 177–186.

Rupšys, P., & Petrauskas, E. (2010). Development of q-exponential models for tree height, volume and stem profile. *International Journal of the Physical Sciences*, *5*(15), 2369-2378.

Saatçioğlu, F. (1971). *Orman ağacı tohumları*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını.

Sakıcı, O. E. (2002). Kastamonu Yöresi Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmulleriana* (Mattf.)) Meşcerelerinde Gövde Profili, Hacim ve Hacim Oran Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.

Sakıcı, O. E., & Yavuz, H. (2003). Ilgaz Dağı göknar meşcereleri için hacim fonksiyonları. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *3*(2), 219-232.

Sakıcı, O. E., Mısır N., Yavuz H., & Mısır M. (2008). Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Reearch*, *23*(6), 522-533.

Saraçoğlu, N. (1991). Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn. subsp. *barbata* (C.A. Mey) Yalt.) gövde hacim ve biyokütle tablolarının düzenlenmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *41*(1), 117-139.

SAS Institute Inc. (2002). SAS Version 9.0. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Schmoldt, D. L., Li, P., & Abbott, L. A. (1997). Machine vision using artificial neural networks with local 3D neighborhoods. *Computers and Electronics in Agriculture*, *16*(3), 255–271.

Sharma, M., & Oderwald, R. G. (2001). Dimensionally compatible volume and taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*, *31*(5), 797–803.

Sharma, M., & Burkhart, H. E. (2003). Selecting a level of conditioning for the segmented polynomial taper equation. *Forest Science*, *49*(2), 324-330.

Sharma, M., & Zhang, S. Y. (2004). Variable-exponent taper equations for jack pine, black pine, and balsam fir in eastern Canada. *Forest Ecology and Management*, *198*(1-3), 39-53.

Sharma, M., & Parton, J. (2009). Modeling stand density effects on taper for jack pine and black spruce plantations using dimensional analysis. *Forest Science*, *55*(3), 268-282.

Sterba, H., del Rio, M., Brunner, A., & Condes, S. (2014). Effects of species proportion definition on the evaluation of growth in pure vs. mixed stands. *Forest Systems*, *23*(3), 547-559.

Sun, O., Eren, M. E., & Orpak, M. (1978). *Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması*. Ankara: TÜBİTAK.

Sweda, T. (1988). A theoretical stem taper curve (II). *Journal of Japanese Forestry Society*, *70*(5), 199-205.

Şahin, D. (2012). Karaçam Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacmi Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.

Şenyurt, M., Ercanlı, İ., & Saraçoğlu, Ö. (2014). Batı Karadeniz yöresi sarıçam meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin Karışık Etkili Modelleme ile geliştirilmesi, *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 601-607, Isparta.

Şenyurt, M., Ercanlı, İ., Yavuz, H., & Kahriman, A. (2015). Predicting stand yield parameters based on artificial neural network for Oriental beech in Kestel forests, Bursa, *10th International Beech Symposium*, 34-35, Kastamonu.

Tang, Z., & Fishwick, P. A. (1993). Feedforward neural nets as models for time series forecasting. *ORSA Journal on Computing, 5*(4), 374-385.

Tang, X., Pérez-Cruzado, C., Fehrmann, L., Álvarez-González, J. G., Lu, Y., & Kleinn, C. (2016). Development of a compatible taper function and stand-level merchantable volume model for Chinese fir plantations. *PLoS ONE*, *11*(1).

Tasissa, G., & Burkhart, H. E. (1998). An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of loblolly pine. *Forest Ecology and Management*, *103*(1), 87-101.

The MathWorks Inc. (2015). MATLAB Version R2015a. Natick, Massachusetts.

Thérien, G., & Camiré, C. (1986). Use of taper curve solved by an algebraic method in silvicultural research. *The Forestry Chron*icle, *62*(6), 529-532.

Thomas, C. E., & Parresol, B. R. (1991). Simple, flexible, trigonometric taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*, *21*(7), 1132-1137.

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*(3), 305–311.

Trincado, G., & Burkhart, H. E. (2006). A generalized approach for modeling and localizing stem profile curve. *Forest Science*, *52*(6), 670-682.

URL-1, 2018. The Plant List (*Fagus*), 01.03.2018 tarihinde www.theplantlist.org/browse/A/Fagaceae/Fagus/ adresinden alınmıştır.

Vahedi, A. A. (2016). Artifical neural networks application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. *Biomass and Bioenergy*, *88*, 66-76.

Warner, B., & Misra M. (1996). Understanding neural networks as statistical tools. *The American Statistician*, *50*(4), 284-293.

Wong, F. S. (1991). Time series forecasting using backpropagation neural networks. *Neurocomputing*, *2*(4), 147-159.

Yaltırık, F., & Efe, A. (2000). *Dendroloji Ders Kitabı (Gymnospermae-Angiospermae).* İstanbul: İ.Ü. Film Merkezi Matbaası.

Yang, Y., Huang, S., & Meng, S. X. (2009). Development of a tree-specific stem profile model for white spruce: a nonlinear mixed model approach with a generalized covariance structure. *Forestry, 82*(5), 541-555.

Yavuz, H. (1995). Uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. *K.T.Ü. Orman Fakültesi Bahar Yarıyılı Seminerleri*, Trabzon.

Yavuz, H. (1999). Taşköprü yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *23*(5), 1181-1188.

Yavuz, H., & Saraçoğlu, N. (1999). Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *23*(Ek5), 1275-1282.

Yavuz, H., & Sakıcı, O. E. (2002). Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi. *Orman Amenajmanı'nda Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyomu*, 233-241, İstanbul.

Yavuz, S., & Deveci, M. (2012). İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağın performansına etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *40*, 167-187.

Yurtseven, İ., Serengil, Y., & Özhan, S. (2013). Meşe kayın karışık meşceresinde yapay sinir ağları kullanılarak intersepsiyonun tahmin edilmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *63*(1), 19-25.

Zakrzewski, W. T. (1999). A mathematically tractable stem profile model for jack pine in Ontario. *Northern Journal of Applied Forestry*, *16*(3), 138-143.

Zhang, Q. B., Hebda, R. J., Zhang, Q. J., & Alfaro, R. I. (2000). Modeling tree-ring growth responces to climatic variables using artificial neural networks. *Forest Science*, *46*(2), 229-239.

Zhang, M., Kang, X., Cai, S., & Zhang, L. (2013). Age distributions of two tree species by simulation of BP neural network system. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, *5*(9), 355-361.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Gülay ÖZDEMİR

Doğum Yeri ve Yılı : Karabük / 1992

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : gulayunal_92@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Mustafa Yazıcı Lisesi (2010)

Lisans : Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü (2014)

Yayınları

Sakıcı, O.,E. & Özdemir, G. (2017). Stump diameter and diameter at breast height relationships for Oriental beech and Kazdağı fir at mixed stands in Karabük. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 17*(2), 298-306.