

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AĞAÇ HACİM TAHMİNLERİNİN ÇOK DEĞİŞKENLİ UYARLANABİLİR  
REGRESYON EĞRİLERİ TEKNİĞİ İLE ELDE EDİLMESİ**

**Burak ÖZDEMİR**

**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇANKIRI**

**2024**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Burak ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “Ağaç Hacim Tahminlerinin Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri Tekniği ile Elde Edilmesi” adlı tez çalışması 23.08.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. İlker ERCANLI

**Jüri Üyeleri** :

**Başkan** : Prof. Dr. İlker ERCANLI

**Üye** : Doç. Dr. Muammer ŞENYURT

**Üye** : Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ersoy YILMAZ**

**Enstitü Müdürü**

**ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Ağaç Hacim Tahminlerinin Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri Tekniği ile Elde Edilmesi**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (23/08/2024).

**Burak ÖZDEMİR**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AĞAÇ HACİM TAHMİNLERİNİN ÇOK DEĞİŞKENLİ UYARLANABİLİR REGRESYON EĞRİLERİ TEKNİĞİ İLE ELDE EDİLMESİ

Burak ÖZDEMİR

Çankırı Karatekin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlker ERCANLI

Bu çalışmada, Ülkemizin önemli sahip türlerinden olan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)'ın Giresun Orman Bölge Müdürlüğü, Koyulhisar Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Sisorta Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan sarıçam meşcerelerindeki ağaçların hacimlerini tahmin etmek üzere tek girişli ve çok girişli ağaç hacim modelleri Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri Tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada ağaçların toplam gövde hacimlerini tahmin etmek üzere kullanılan MARS modellerinin geliştirilmesinde R yazılım dili (R Core Team 2017) ile kodlanmış "Earth" paketi kullanılmış ve eğitimler geliştirilmiştir. Yapılan eğitimler ile tek girişli MARS modeline ilişkin başarı ölçütleri; OMH= 0.06617, HKOK= 0.10524, HKOK%= % 16.93902, AIC= -181.787, BIC= -128.592, Bias=  $5.12 \times 10^{-9}$ , Bias%= %  $8.25 \times 10^{-7}$ , THY= %  $9.74 \times 10^{-7}$ , OMHY= % 10.6510 ve  $R^2= 0.9736$  olarak elde edilirken, çift girişli MARS modeline ilişkin başarı ölçütleri ise; OMH= 0.03665, HKOK= 0.06932, HKOK%= % 11.15764, AIC= -216.238, BIC= -163.043, Bias=  $4.28 \times 10^{-6}$ , Bias%= % 0.00069, THY= % 0.00099, OMHY= % 5.8994 ve  $R^2= 0.9885$  olarak hesaplanmıştır. Ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesinde geleneksel bir yöntem olan çoğul regresyon modelleri göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenen MARS modelleri ile hem tek girişli hem de çift girişli hacim tahminlerine ilişkin giderek artan pozitif eğrisel gelişimi gösteren ve bu böylece beklenen büyüme kanuniyetleri ile uyumlu sonuçlar veren bir trend ortaya konulmuştur. Böylece MARS modellerinin başarı durumları yanında büyüme kanuniyetleri ile de çelişmeyen tahminler sunabildiği sonucuna varılmıştır. MARS modellerinde önemli bir konu olan düğüm noktaları da tek girişli tahminlerinde 23 cm, 31 cm ve 38 cm değerleri olarak elde edilirken, çift girişli MARS modeli ile elde edilen ağaç boyu için 12.0815 m'lik boy düğüm noktası ve 19 cm, 32 cm ve 42 cm'lik çap düğüm noktaları elde edilmiştir.

2024, 62 Sayfa

**ANAHTAR KELİMELER:** Hacim, MARS, Tahmin, Düğüm noktaları, Sarıçam

## ABSTRACT

Master of Science Thesis

### OBTAINING TREE VOLUME PREDICTION WITH MULTIVARIATE ADAPTIVE REGRESSION SPLINES TECHNIQUE

Burak ÖZDEMİR

Çankırı Karatekin University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Forest Engineering

Advisor: Prof. Dr. İlker ERCANLI

In this study, single-entry and double-entry tree volume models were developed using the Multivariate Adaptive Regression Curves Technique to estimate the volume of trees in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands located within the boundaries of Sisorta Forest Management Plannig Unit, Koyulhisar Forest Enterprise, Giresun Forest District Directorate. In this study, the "Earth" package, coded with the R programming language (R Core Team 2017), was used to develop and train MARS models for estimating the total stem volumes of the trees. The performance metrics obtained for the single-entry MARS model through the training are as follows: RMSE = 0.06617, MAE = 0.10524, MAE% = 16.93902%, AIC = -181.787, BIC = -128.592, Bias =  $5.12 \times 10^{-9}$ , Bias% =  $8.25 \times 10^{-7}$ %, MAPE =  $9.74 \times 10^{-7}$ %, MSE = 10.6510, and  $R^2 = 0.9736$ . For the double-entry MARS model, the performance metrics are: RMSE = 0.03665, MAE = 0.06932, MAE% = 11.15764%, AIC = -216.238, BIC = -163.043, Bias =  $4.28 \times 10^{-6}$ , Bias% = 0.00069%, MAPE = 0.00099%, MSE = 5.8994, and  $R^2 = 0.9885$ . It has been determined that MARS models, which have been found to provide more successful results than traditional multiple regression models, show a positive increasing trend in both single-entry and double-entry volume estimates. This trend demonstrates an increasingly positive curvilinear development that aligns with expected growth patterns. Therefore, it has been concluded that MARS models not only have a high level of accuracy but also produce estimates that are consistent with growth principles. In MARS models, an important aspect is the identification of knot points. For single-entry predictions, the knot points were determined to be at 23 cm, 31 cm, and 38 cm. For the double-entry MARS model, a height knot point was found at 12.0815 m, and diameter knot points were identified at 19 cm, 32 cm, and 42 cm.

**2024, 62 pages**

**Keywords:** Volume, MARS, Prediction, Knot points, Scots pine

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Ağaç Hacim Tahminlerinin Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri Tekniği ile Elde Edilmesi” adlı bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tez çalışması olarak hazırlanmıştır. Başlangıç aşamasından, çalışmanın sonlandırılmasına kadar geçen sürede yardım ve desteklerini esirgemeyen herkese sonsuz teşekkür ederim.

İlk olarak çalışma konusunun seçiminden, çalışmanın sonlandırılmasına kadar her aşamada desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesinden sıkça yararlandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. İlker ERCANLI'ya, Doç. Dr. Muammer ŞENYURT'a ve Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN'e ve ayrıca bu çalışma verilerinin elde edilmesinde emeği geçen Koyulhisar Orman İşletme Müdürlüğü, Sisorta Orman İşletme Şefliği personeli iken Orman Muhafaza Memuru Emre YAĞIZ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Son olarak bütün hayatım boyunca beni hem maddi hem de manevi olarak destekleyen ve her durumda yanımda olduklarını bildiğim aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

**Burak ÖZDEMİR**

**Çankırı, Ağustos 2024**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	v
KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	7
2.1. Materyal .....	7
2.2. Yöntem .....	11
2.2.1. Ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi .....	11
2.2.2. Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri tekniği.....	14
2.2.3. Ağaç hacim tahminlerinin karşılaştırılması.....	18
2.2.4. Ağaç hacim denklemlerinin denetimi .....	19
3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	21
3.1. Regresyon Denklemlerine İlişkin Sonuçlar.....	21
3.2. MARS Modellerine İlişkin Sonuçlar.....	27
3.3. Hacim Modellerinin Denetimine İlişkin Sonuçlar.....	32
4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	34
KAYNAKLAR .....	41
EK .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	62

## SİMGELER DİZİNİ

m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
m <sup>3</sup>	Metreküp
ha	Hektar
$\Sigma$	Toplam
d	Göğüs çapı
h	Ağaç boyu
V	Gövde hacmi
Log	10 tabanında logaritma
b <sub>0</sub> ,b <sub>1</sub> ,...	Denklem katsayıları

## KISALTMALAR DİZİNİ

OMH	Ortalama Mutlak Hata
HKOK	Hata Kareler Ortalamasının Karekökü
HKOK%	Yüzde Hata Kareler Ortalamasının Karekökü
OH	Ortalama Hata
OH%	Yüzde Ortalama Hata
$R^2$	Belirtme Katsayısı
THY	Toplam Hata Yüzdesi
OMHY	Ortalama mutlak hata yüzdesi
AIC	Akaike Bilgi Ölçütü
BIC	Bayesian Bilgi Ölçütü
df	Düzeltilme Faktörü
MARS	Multivariate Adaptive Regression Splines

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çalışma alanının coğrafik konumu .....	8
Şekil 2.2. Ağaç hacim denklemlerinin ve MARS modellerinin geliştirilmesinde (I.) ve uygunluğunun test edilmesinde (II.) kullanılan veri sınıflarına ilişkin göğüs çapı-hacim ilişkisi.....	10
Şekil 2.3. Farklı Düğüm Sayılarına sahip Mars modelleri .....	15
Şekil 3.1. Tek girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminlerinin göğüs çapına göre değişimi .....	26
Şekil 3.2. Çift girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi.....	26
Şekil 3.3. Tek girişli MARS modelinin Excel programında uygulamasından bir görüntü .....	28
Şekil 3.4. Çift girişli MARS modelinin Excel programında uygulamasından bir görüntü .....	30
Şekil 3.5. Tek girişli MARS modeli ile elde edilen hacim tahminlerinin göğüs çapına göre değişimi.....	31
Şekil 3.6. Çift girişli MARS modeli ile elde edilen hacim tahminlerinin göğüs çapı ile birlikte ağaç boyuna göre değişimi .....	32

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Verilere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler .....	9
Çizelge 3.1. Kullanılan tek ve çift girişli denklemlere ilişkin parametre tahminleri .....	23
Çizelge 3.2. Denklemlere ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri .....	24
Çizelge 3.3. Denklemlere ilişkin hesaplanan başarı ölçütlerine ilişkin rölatif sıra değerleri .....	25
Çizelge 3.4. Tek girişli MARS modeline ilişkin parametre değerleri ile çeşitli istatistikler.....	29
Çizelge 3.5. Çift girişli MARS modeline ilişkin parametre değerleri ile çeşitli istatistikler.....	29
Çizelge 3.6. MARS modellerine ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri .....	31
Çizelge 3.7. Ağaç hacim denklemlerinin ve modellerinin denetimine ilişkin sonuçlar.....	33

## 1.GİRİŞ

Ormanlar, yenilenebilir bir kaynak olarak, doğal kaynaklarımızın en önemlilerinden birisidir (Köse 1994). Son yüzyılda, çevre kirliliğinin artışı, asit yağmurları, küresel iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilikteki azalma, nüfus artışı ve şehirleşme gibi faktörler, orman alanlarının aşırı ve dengesiz bir şekilde azalmasına yol açmaktadır. Bu durum, ekosistemlerin sürdürülebilirliğini tehdit etmekte ve orman kaynaklarının uzun vadeli korunması açısından ciddi sorunlar yaratmaktadır (Asan vd. 2001). Böylece, doğal kaynak olarak oldukça önem taşıyan ormanlardan sürekli ve optimal bir şekilde yararlanabilmek için bu doğal kaynakların planlı bir şekilde yönetilmesi ve işletilmesi önemli bir gereklilik taşımaktadır (Asan 2000).

Orman planlamasında en önemli unsurlarından birisi de, orman alanlarının sahip olduğu mevcut ağaç servetinin belirlenmesidir. Bu süreçte kullanılan en önemli veri kaynağı ise orman envanteridir. Orman envanteri, ormanların yapıları ve kaynakları hakkında sağladığı ayrıntılı bilgilerle, sürdürülebilir orman yönetimi ve planlama açısından kritik bir rol oynamaktadır. Orman envanteri, sayım, ölçüm ve değerlendirme yoluyla orman işletmelerinde meydana gelen üretim miktarlarının ölçülmesi olarak ifade edilebilir (Kalıpsız 1999). Özellikle, orman envanterinin ana bileşeni olan ağaç serveti ve artışı, ormanların en önemli ekonomik katkısıdır. Ağaç serveti, orman işletmelerinin temel girdisi ve varoluşlarını temsil eden bir unsurdur (Yavuz ve Saraçoğlu 1999, Kapucu 2004). Ormanlarımız, orman amenajman planları doğrultusunda işletilmekte olup, orman kaynaklarından sağlanan servetin büyük bir kısmını ağaç hacmi oluşturmaktadır. Ağaç hacminin belirlenmesi, orman kaynaklarının ekonomik değerinin ortaya konmasında ve sürdürülebilir orman yönetimi hedeflerinin gerçekleştirilmesinin denetlenmesinde önemli bir ölçüt olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, orman amenajman planlarının hazırlanmasında, özellikle meşcere hacminin tahmin edilmesi büyük bir önem taşır. Bir ormandaki mevcut ağaç kaynaklarının tahmin edilmesi, orman amenajman planlarının hazırlanması ve üretim süreçlerinin planlanması açısından hayati bir öneme sahiptir. Dolayısıyla, doğru ve güvenilir ağaç serveti tahminleri, orman kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamak için kritik bir rol oynar (Firat 1973, Kalıpsız 1999).

Ağaç servetini oluşturan meşcere hacmi, ormancılıkta sadece ana ürünün miktarını belirlemede değil, aynı zamanda karbon birikiminin hesaplanmasında da temel alınan bir değişkendir. Orman Amenajman Yönetmeliği'nde ayrıntıları verilen ormanların karbon stokları hesaplanmasında, meşcerelerin ağaç serveti değerleri ve BEF dönüşüm faktörleri kullanılmaktadır. Bu bakımdan, meşcere hacmi, ormanın ana ürünü olmanın ötesinde, karbon birikiminin ve dolayısıyla orman-iklim değişikliği ilişkilerinin de değerlendirilmesinde son derece önemlidir. Ormancılık literatürü değerlendirildiğinde, ağaçların hacminin tahmini için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve uygulandığı görülebilir. Bu yöntemler arasında hem pratik olmaları hem de belirli düzeyde başarılı tahmin başarıları sunmaları ile en yaygın olarak kullanılan yöntem, "Ağaç Hacim Tabloları" yöntemidir. Bu yöntem, ağaçların göğüs çapı ve boyu gibi temel değişkenler ile ağaç hacimleri arasındaki ampirik ilişkileri esas alır. Ağaç hacim tabloları, bu ilişkileri kullanarak ağaçların hacim tahminlerini pratik ve güvenilir bir şekilde elde etmeyi sağlar ve orman kaynaklarının yönetiminde önemli bir araç olarak kabul edilir. (Kalıpsız 1999, Kapucu 2004). Bu bakımdan, bu yöntemin temel avantajı, doğrudan ölçümü zor olan ağaç hacminin, nispeten kolay ölçülebilen ağaç özellikleri olan göğüs çapı ve boy ölçümlerini kullanılarak tahmin edilmesidir.

Ağaç Hacim Tabloları yöntemi, göğüs çapı ve boyu gibi ağaç özellikleri ile gövde hacimleri arasındaki ilişkilerden elde edilen bir tablo olup, istatistiksel bir metot olan Regresyon Analizi ile üretilen Regresyon Denklemlerini kullanarak ağaç hacminin tahmin edilmesine dayanır (Fırat 1973, Loetsch *et al.* 1973). Bir Regresyon modeli olan ağaç hacim denklemleri ve bu denklemlerin tablolaştırılmış hali olan ağaç hacim tabloları, ağaçların göğüs çapına ve boyuna göre ağaçların hacmini pratik bir şekilde ve belirli bir doğrulukla tahmin etmekte ve bu şekilde de orman envanterlerinin daha doğru ve güvenilir bir şekilde yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu denklemler, ormancılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılan önemli bir tahmin aracıdır. Ormancılıkta bilgisayar teknolojilerinin kullanımının öne çıkmadığı 1940'lı yıllarda, bir şablon üzerinde elle ağaçların hacimleri ile göğüs çapları ve ağaç boyları arasındaki ilişkiler dengelemeye çalışılmış ve çizimlere dayalı "Grafik Yöntem" adı verilen bir yöntem kullanılmıştır (Yavuz 1995, Şentürk 1997). Bu dönemde, teknolojinin sınırlı olması nedeniyle görsel ve manuel yöntemler yaygın bir şekilde uygulanmıştır. Ancak,

bilgisayar teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, kompleks hesaplamalar gerektiren karmaşık regresyon denklemlerinin kullanımı mümkün hale gelmiş ve bu sayede ağaç hacmi tahminlerinde daha hassas ve doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Bu denklemler, ağaç hacmini tahmin etmede içerdikleri bağımsız değişken sayısına göre: (1) Tek Girişli Ağaç Hacim Tabloları (Sadece göğüs çapını bağımsız değişken olarak içeren tablolar), (2) Çift Girişli Ağaç Hacim Tabloları (Göğüs çapı ile birlikte ağaç boyunu da bağımsız değişken olarak içeren tablolar) ve (3) Çok Girişli Ağaç Hacim Tabloları (Göğüs çapı ve ağaç boyuna ek olarak üçüncü bir değişkeni de içeren tablolar: örneğin ağaç boyunun belirli bir oranına, örneğin % 30, karşılık gelen yükseklikteki gövde çapı ya da yerden 7 metre yüksekliğindeki gövde çapı gibi) olmak üzere üç temel sınıfta gruplandırılabilir (Kapucu vd. 2002).

Ağaç hacim tahminlerinin orman amenajmanında büyük bir öneme sahip olmaları nedeniyle, ülkemizdeki asli ağaç türlerimiz için ağaç hacim denklemleri ve tabloları, ilk olarak ülke geneli için geliştirilmiştir. Ülke geneli için geliştirilen genel ağaç hacim denklemleri ve tabloları yanında, bölgesel ve yöresel ağaç hacim denklemleri ve tabloları da geliştirilmiştir. Bu denklemlerin geliştirilmesinde kullanılan yöntemler zamanla değişmiştir. Meşe (Eraslan 1954), Anadolu karaçamı (Gülen 1959, Kalıpsız 1963), Doğu kayını (Kalıpsız 1962), Toros sediri (Evcimen 1963) ve Okaliptus (Fırat ve Kalıpsız 1963, Özkurt 2000) gibi bazı türler için grafik metotlar kullanılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda ise göknar (Miraboğlu 1955), sarıçam (Erkin 1956, Alemdağ 1967, Pehlivan 2010, Şenyurt vd. 2011, Ölmez 2018), kızılçam (Alemdağ 1962), Doğu ladini (Akalp 1978), karakavak (Birler vd. 1983), Kazdağı göknarı (Asan 1984), göknar (Saraçoğlu 1988, Sakıcı ve Yavuz 2003), kızılğaç (Saraçoğlu 1998), dişbudak (Şentürk 1997), sarıçam-Uludağ göknarı-Doğu kayını değişik yaşlı karışık meşcereleri (Durkaya 2004), titrekavak (Bayburtlu 2007), sahil çamı (Ercanlı vd. 2008), sedir (Özçelik ve Çevlik 2017) ve karaçam (Sakıcı vd. 2018) gibi birçok ağaç türü için regresyon analizi yöntemi kullanılarak ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir.

Ağaç hacim denklemleri, regresyon analizinin uygulanması ile elde edilebilen regresyon modelleri olup, bu regresyon analizinin gerçekleştirilmesinde istatistik biliminin gerekli kıldığı çeşitli varsayımların sağlanması durumunda doğru ve güvenilir tahminler

sunabilirler (Searle *et al.* 1992, İyit vd. 2006). Bu varsayımlar; regresyon denklemlerinin sunduğu tahminlerin gözlem değerlerinden farkı olarak hesaplanabilen hataların (errors, residuals) dağılımının normal bir dağılım göstermesi, bu hatalara ilişkin varyansların tahmin değerlerinin değişimine göre homojen olması (Homoscedasticity), zamana (temporal data) ve konuma (Longitudinal data) bağlı olarak oluşabilecek bir korelasyon sonucu hataların da ilişkili olmaması (olması durumunda otokorelasyon problemi söz konusu olur) ve ayrıca bağımsız değişkenler arasında bir ilişkinin olmaması (olması durumunda multicollineratiy söz konusu olur) olarak ifade edilebilir (Orhunbilge 2002). Özellikle, Ağaç hacim denklemine temel olan kesilmiş ağaçların gövdesi boyunca farklı yüksekliklerdeki ölçülen gövde çapı değerleri birleştirilerek oluşturulan bu veri setlerinde ise, "otokorelasyon" veya "serikorelasyon" olarak adlandırılan bir ağaç üzerinde ölçülen gövde çapı verilerinin ve dolayısıyla tahminlere ilişkin hataların birbirine bağımlı olduğu bir durum söz konusu olmaktadır (Leites and Robinson 2004). Bu gibi ilişkili veriler, hiyerarşik ya da kümelenmiş veri yapıları olarak adlandırılmaktadır (Searle *et al.* 1992, İyit vd. 2006). Bu hiyerarşik veri yapılarında, ağaçların gövdesi üzerinde herhangi bir noktada yapılan ölçümün, bir sonraki ölçüm noktasında elde edilecek çap değerine olan etkisi, bu ağaçların farklı gövde gelişimlerine sahip olmaları nedeniyle ağaçtan ağaca değişkenlik göstermektedir. Bu durum, ağaçlardaki çap özelliği dikkate alındığında, ormancılık biliminin uygulanmasında olağan ve beklenen bir sonuç iken, bu çap özelliğine ilişkin bu özellik, istatistik biliminin bir konusu olan regresyon analizinin temel varsayımlarından biri olan verilerin bağımsızlık ilkesi ihlal edilmesine ve otokorelasyon probleminin oluşmasına neden olmaktadır. Ağaç hacim denklemi geliştirmek için seçilen örnek ağaçlar, kendi içlerinde homojen, kendi aralarında ise heterojen bir hiyerarşik ve kümelenmiş veri yapısı özelliği göstermeleri ile oluşan otokorelasyon problemi, regresyon analizi ile elde edilecek regresyon modellerine ilişkin parametrelerin güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edilmesine neden olmaktadır. Böylece, bu tür veri yapılarının dikkate alınması ve uygun analiz yöntemlerinin uygulanması, elde edilen tahminlerin doğruluğunu artıracak ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır (Searle *et al.* 1992, İyit vd. 2006). Ancak, ormancılık ve biyolojik gibi çevre bilimlerinde, ağaçlara ilişkin biyometrik verilerde bu varsayımlar sağlanamamaktadır (Doğanay 2007). Elde edilen ölçümlerin birbiri ile ilişkili olmadığı

ve veri gruplarının benzer (homojen) varyansa sahip olduğu varsayımı üzerine dayanan regresyon modelleri, hiyerarşik yapıdaki kümelenmiş verilerin modellenmesinde yanlı (bias) sonuçlar verebilmektedir (İyit vd. 2006). Searle *et al.* (1992) ve Ye (2005)'e göre, hiyerarşik bir özellik gösteren kümelenmiş bu gibi verilerle geliştirilen regresyon modellerinin parametrelerine ilişkin güven aralıklarının sistematik bir hata ile tahmin edildiği ve böylece regresyon modellerinin sonuçlarının güvenilirliğinin azaldığı ve hatalı tahminlerin elde edildiği ifade edilmiştir (İyit vd. 2006).

Son yıllarda, istatistiksel varsayımların karşılanmasını gerektirmeyen ve karmaşık ilişkilerin modellemesinde etkin tahminler sunabilen veri madenciliği uygulamalarından nonparametrik yöntemlerin kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Bu yöntemler arasında öne çıkan bir yaklaşım, Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇURE) tekniğidir. Bu teknik, İngilizce literatürde "Multivariate Adaptive Regression Splines" (MARS) olarak adlandırılmakta olup, birçok bilimsel çalışmada MARS kısaltması tercih edilmektedir. Bu çalışmada da söz konusu kısaltma kullanılacaktır. 1991 yılında Stanford Üniversitesi'nde fizik ve istatistik alanlarında çalışmalar yapmış olan Jerome Friedman (Freidman 1991) tarafından geliştirilen MARS algoritması, en küçük kareler yöntemine dayanan standart regresyon tekniklerine benzer şekilde bir tahmin modeli üretirken, standart regresyon tekniklerinden farklı olarak, modelin geliştirme sürecinde herhangi bir istatistik varsayımına gerek duymaz. Ayrıca değişkenlerin sürekli (kantitatif, ölçüm değişkeni) veya kesikli (kalitatif, kategorik değişken) olması gibi değişken tipi tekniğin uygulanabilirliğinde önemli değildir (Özfallı 2008, Ünal 2009). MARS algoritmasının önemli diğer bir özelliği de, aralarında doğrusal olmayan ilişkiler bulunan değişkenler arasındaki ilişkileri, değişkenlerin belirli aralıkları için katsayıları değişen denklemler ile parça parça olmak üzere basit ve başarılı bir şekilde açıklayabilmesidir (Örekeci vd. 2010, Oğuz 2014).

Bu algoritma, model yapısı içinde açıklayıcı (bağımsız) değişkenlerin belirli değerlerine tekabül edecek farklı katsayılara sahip doğru parçalarını (splines) temel fonksiyonlar olarak esas alarak parçalı ve esnek bir model geliştirme stratejisine dayanmaktadır (Sevgenler 2019, Çanga ve Boğa 2020). Böylece regresyon analizindeki değişkenlerin doğrusal olmayan değişimleri dikkate alınarak, modelin esnekliğinin artırılması ve veri

setindeki ilişkilerin daha etkin ve başarıyla temsil edilmesi ve modellenmesi amaçlanır. Bu avantajları ile birlikte, MARS algoritmasının ekonomi, biyoloji, tıp, ziraat, pazarlama gibi birçok alanda çok sayıda uygulaması söz konusu iken, ormancılıktaki çalışmalar oldukça sınırlı sayıda kalmıştır. Ülkemizde, Karadaş vd. (2017), Çelik vd. (2017), Çelik ve Boydak (2020), Çanga vd. (2019), Çanga ve Boga (2019), Yerlikaya (2008), Tatlıdil ve Demirağ (2014), Şevgin (2020), Oktar and Yüksel (2016), Kartal vd. (2018), Kan (2011), Akyol (2011), Tunay (2001), Örekici vd. (2005), Tunay (2011), Kuter vd. (2012), Doğan vd. (2012), Örekici vd. (2010), Öztürk ve Sevinç (2013), Kuter (2014), Orhan vd. (2018), Eyduran (2016), Karadaş vd. (2017), Karadaş vd. (2017b), Akkuş (2017), Eyduran ve Türkoğlu (2017), Celik vd. (2018), Eyduran vd. (2017a), Eyduran vd. (2017b), Eyduran vd. (2017c), Eyduran vd. (2017d), Eyduran vd. (2018), Aytekin vd. (2018), Ertürk (2018), Ertürk vd. (2018), Nacar vd. (2018), Celik ve Yılmaz (2018), Aksoy vd. (2018), Aksoy vd. (2018b), Tosun (2021), Nacar vd. (2021), Nacar vd. (2022), Zaborski vd. (2018), Eyduran vd. (2019a), Eyduran vd. (2019b), çalışmalarında, MARS yöntemini kullanarak çeşitli özelliklerin tahmin edilmesine ilişkin modeller geliştirmişlerdir. Ormancılık alanında ise, González-Rodríguez and Diéguez-Aranda (2020) ve Guerra-Hernández vd. (2021), yetiştirme ortamı verim gücü olan bonitet endeksinin çeşitli ekolojik değişkenlerle tahmininde ve Ou vd. (2019), ağaçların çap artımlarını çeşitli tek ağaç ve meşcere özellikleri ve iklim özellikleri ile tahmininde, MARS yöntemini kullanmışlardır.

Orman işletmelerinin sermayelerinin önemli bir kısmını oluşturan ağaç servetinin tahmininde, standart regresyon yöntemleri yanında, MARS algoritmaları gibi veri madenciliğinin önemli ve öne çıkan tekniklerinin kullanım olanaklarının ve başarısının araştırılması gerekmektedir. Bu bakımdan, bu çalışmanın amacı; Giresun Orman Bölge Müdürlüğü, Koyulhisar İşletme Müdürlüğü, Sisorta Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösteren Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim modellerinin (denklemlerinin) ve tablolarının MARS yöntemi ile geliştirilme olanaklarının araştırılması ve ağaç hacim tahmin başarısının ve etkinliğinin artırılmasıdır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Materyal

Bu çalışmada kullanılan veriler, Giresun Orman Bölge Müdürlüğü, Koyulhisar İşletme Müdürlüğü, Sisorta Orman İşletme Şefliği sınırları içinde bulunan Sarıçam meşcerelerinden toplanmıştır (Şekil 2.1). Toplamda, 238 örnek ağaç üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu örnek ağaçların çalışma alanındaki hacim gelişimine ilişkin varyansı iyi bir şekilde ortaya koyacak şekilde farklı çaplarda ve boylarda seçilmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca bu örnek ağaçların, bozuk tepelere, kusurlara (tepe kırıklığı, çatallanma, kuruma vb.) sahip olmamaları, böcekler tarafından zarar görmemiş olmaları, mantar hasarı yaşamamış olmaları ve özellikle çeşitli sebeplerden dolayı dip çürüklüğüne uğramamış olmalarına dikkat edilmiştir.

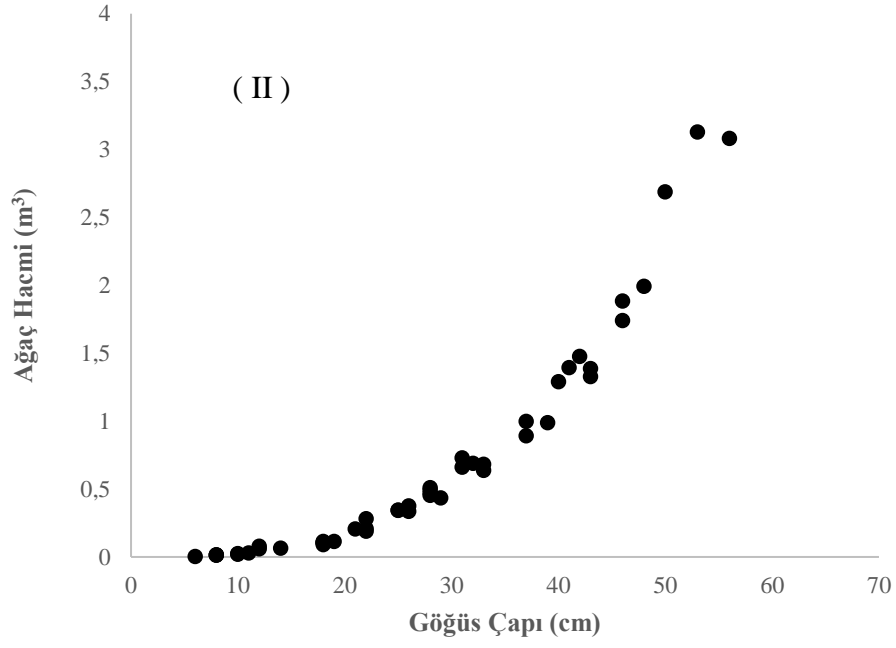
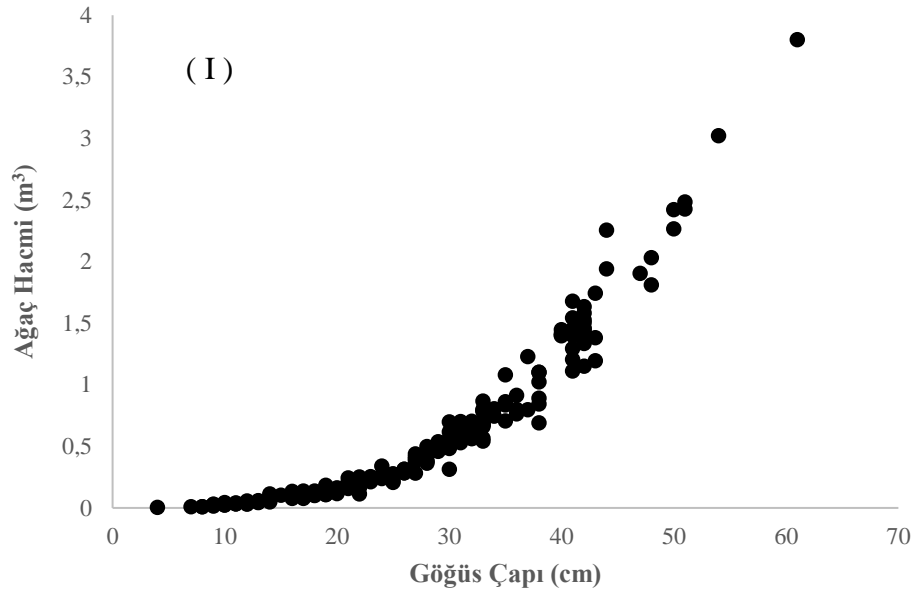
Çalışma kapsamında yer alan örnek ağaçlar, başlangıçta 0.3 metrelik dip kütük yüksekliğinden kesilmiş ve bu kısımda kabuklu gövde çapı ölçülmüştür. Daha sonra, şerit metre kullanılarak 1 metre aralıklarla kabuklu gövde çap ölçümleri yapılmıştır; bu kapsamda, 1.30 metrede ilk ölçüm alınmış, ardından 2 metre aralıklarla devam edilerek 3.30, 5.3, 7.3, 9.3, 11.3 metre gibi düzenli aralıklarla çap ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaçlarla ilgili istatistiksel bilgiler Çizelge 2.1'de sunulmuştur.



**Çizelge 2.1** Verilere ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler

		<b>Göğüs çapı (cm)</b>	<b>Boy (m)</b>	<b>Hacim (m<sup>3</sup>)</b>
Model	Minimum	4.00	5.20	0.0028
	Maksimum	61.00	29.69	3.8014
	Ortalama	27.87	15.16	0.6213
	Standart			
	Sapma	11.16	4.89	0.6490
Test	Minimum	6.00	6.09	0.0052
	Maksimum	56.00	24.84	3.1286
	Ortalama	27.48	16.38	0.6941
	Standart			
	Sapma	13.33	7.98	0.8048

Bu çalışmada kullanılan veriler, ağaç hacim denklemlerine ilişkin parametrelerin tahmin edilmesi ve bu denklemlerin verilerin alındığı meşcerelere uygunluğunun test edilmesi amacıyla iki guruba rastgele olarak ayrılmıştır. İlk veri sınıfında, mevcut toplam verinin %80'ini (n=190) temsil ederken, ikinci veri sınıfında ise mevcut toplam verinin %20'sini (n=48) oluşturmaktadır. Şekil 2.2'de ise, ağaç hacmi denkleminin oluşturulmasına (I.) ve test edilmesine (II.) ilişkin verilerin gövde çapı-hacim ilişkisi sunulmuştur.



**Şekil 2.2** Ağaç hacim denklemlerinin ve MARS modellerinin geliştirilmesinde (I.) ve uygunluğunun test edilmesinde (II.) kullanılan veri sınıflarına ilişkin göğüs çapı-hacim ilişkisi

## 2.2 Yöntem

### 2.2.1 Ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi

Bu araştırmada, ağaçların göğüs çapına (tek girişli) ve göğüs çapı ile birlikte boyuna (çift girişli) göre hacimlerini tahmin etmek üzere Sisorta Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösteren sarıçam meşçelerinden alınmış örnek ağaçlar kullanılmıştır. Ağaçların hacim gelişimindeki değişkenliği temsil etmek üzere çeşitli göğüs çapı ve boy sınıflarında seçilmiş toplam 238 adet örnek ağaç kesilmiş ve gövde boyunca ölçümler yapılmıştır. Kesilen her ağacın gövdesi boyunca ilk 0.3 metre ve 1.3 metre yükseklikteki ölçümler ile birlikte 2 metre aralıklarla gövde çapı ölçümleri yapılmıştır.

Bu veriler, örnek ağaçların hacimlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Bu hacim hesabında her bir örnek ağaç; dip kütük, 2 metrelik seksiyonlar ve uç parça olmak üzere üç ayrı bölüme ayrılmıştır. Her bölümün hacmi ayrı ayrı hesaplanmış ve sonrasında toplanarak toplam gövde hacmi elde edilmiştir. Bölümlerin Hacim Hesaplanması:

- Dip Kütük: Dip kütüğün hacmi, silindir formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Bu formülde, dip kütüğün taban çapı ( $d_{0.3}$ ) ve yüksekliği (0.3 m) kullanılmıştır.
- 2 metrelik Seksiyonlar: Gövde seksiyonları, eşit uzunluklarda 2 metrelik parçalara ayrılmıştır. Her bir seksiyonun hacmi, "Huber" formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Bu formülde, seksiyonun uzunluğunun ortasındaki çapı ve seksiyon uzunluğu (2 metre) kullanılmıştır.
- Uç Parça: Uç parçanın hacmi, koni formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Bu formülde, uç parçanın taban çapı ( $d_{uç}$ ) ve yüksekliği ( $h_{uç}$ ) kullanılmıştır.

Ağaçların hacim hesaplarında, Denklem (2.1), (2.2) ve (2.3) kullanılmıştır: Aşağıda, ağaç hacimlerinin hesaplanmasında kullanılan formüller yer almaktadır:

$$\text{Dip kısım için; } V_{dip} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0.3}^2 \cdot 0.3 \quad (2.1)$$

$$\text{Uç kısmı için; } V_{uç} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{uç}^2 \cdot h_{uç} \quad (2.2)$$

$$\text{Seksiyon hacimleri için Huber formülü; } V_{\text{seksiyon}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{1.3}^2 + \dots + d_n^2) \cdot 2 \quad (2.3)$$

Ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesinde bir sonraki adım; ağaç hacimlerinin tahmin edilmesi için ağaç hacim denklemlerinin parametrelerinin ve bazı istatistiklerinin hesaplanmasıdır. Tek girişli denklemler göğüs çapına, çift girişli denklemler ise göğüs çapı ve boyuna dayanır. Bu denklemlerin geliştirilmesinde, istatistiksel bir yöntem olan Regresyon Analizi kullanılmıştır. Bu denklem yapısında, ağaçların gövde hacim değişkeni (yukarıdaki dendrometri formülleri ile hesaplanan) bağımlı değişken olarak kabul edilirken, daha kolay ölçülebilen göğüs çapı ve ağaç boyu değişkenleri de bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır.

Regresyon modellerini geliştirmek üzere, Şentürk (1997) ve Yavuz (1999) gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen farklı tek ve çift girişli hacim denklemleri kullanılmıştır. Tek girişli hacim tahminleri için 6 farklı Denklem (2.4)-(2.9) ve çift girişli ağaç hacim tahminleri için de 15 farklı Denklem (2.10)-(2.25) geliştirilmiştir. Bu denklemlere ilişkin katsayılar, katsayıların önem düzeyleri ve diğer istatistiksel analizler SPSS 15.0 paket programı kullanılarak elde edilmiştir (SPSS 15.0 Inc. 2010).

Tek girişli ağaç hacim fonksiyonları;  $V = f(d)$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 \quad (2.4)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 \quad (2.5)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) \quad (2.6)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d \quad (2.7)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) \quad (2.8)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot (\log d)^4 \quad (2.9)$$

Çift girişli ağaç hacim fonksiyonları;  $V = f(d, h)$

$$V = b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.10)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.11)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot d^2 + b_4 \cdot h + b_5 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.12)$$

$$V = b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot h \quad (2.13)$$

$$V = b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot d^2 + b_4 \cdot h^2 + b_5 \cdot (d \cdot h^2) + b_6 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.14)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot d^2 + b_4 \cdot h + b_5 \cdot (d \cdot h) + b_6 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.15)$$

$$V = b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot d^2 + b_4 \cdot (d \cdot h) + b_5 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.16)$$

$$V = b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot \log h + b_4 \cdot (\log h)^2 \quad (2.17)$$

$$V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot d^2 + b_4 \cdot h^2 + b_5 \cdot (d \cdot h^2) + b_6 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.18)$$

$$V = b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot d^2 + b_4 \cdot h + b_5 \cdot (d \cdot h) + b_6 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.19)$$

$$V = b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot d + b_4 \cdot d^2 + b_5 \cdot (d \cdot h) + b_6 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.20)$$

$$V = b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot d^2 + b_4 \cdot h^2 + b_5 \cdot (d \cdot h^2) + b_6 \cdot (d^2 \cdot h^2) \quad (2.21)$$

$$V = b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot (d \cdot h) + b_4 \cdot (d^2 \cdot h) \quad (2.22)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot \log h \quad (2.23)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot \log h + b_4 \cdot (\log d)^4 \quad (2.24)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \cdot (\log d)^4 + b_4 \cdot \log h + b_5 \cdot (\log h)^4 \quad (2.25)$$

Burada;

V : gövde hacmini (m<sup>3</sup>)

d : göğüs çapını (cm)

h : ağaç boyunu (m)

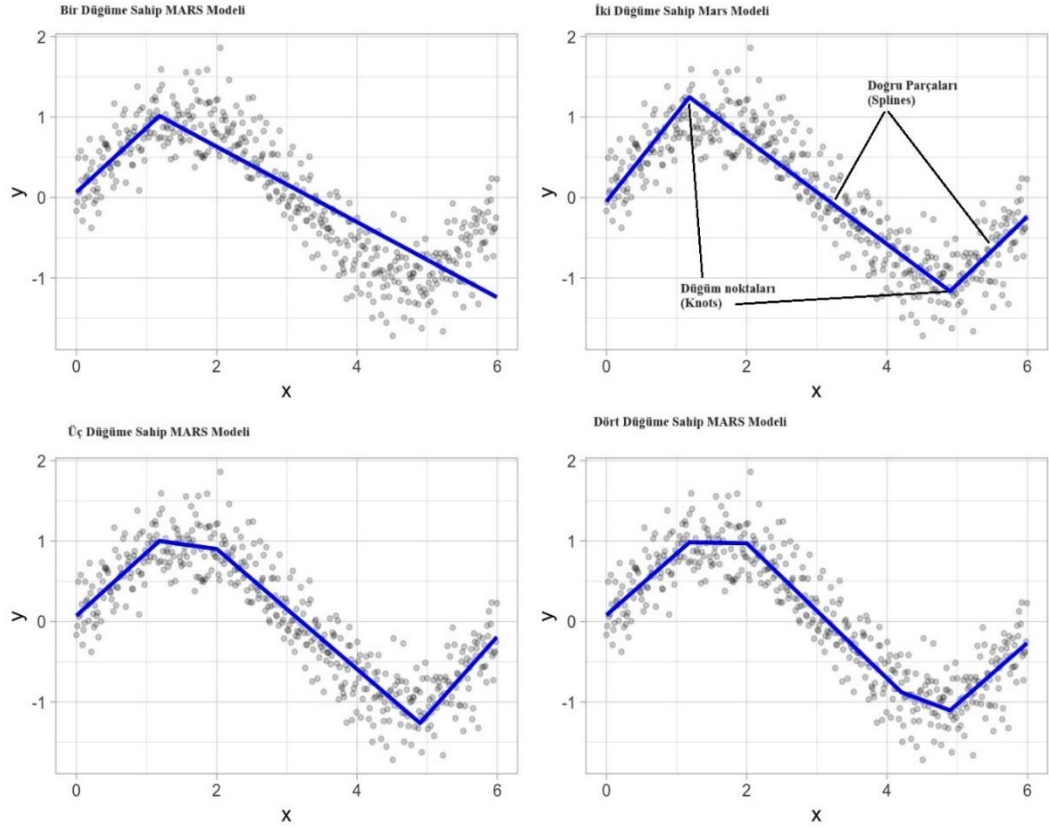
log : 10 tabanında logaritmayı

b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, ..b<sub>k</sub>: denklem katsayılarını göstermektedir.

df : düzeltme faktörü



gösteren dönüm noktaları da aslında bir bakıma düğüm noktası niteliğindedir. Bu örnekte olduğu gibi, belirli özelliklerin gelişim trendlerinde önemli bir değişimi ifade eden düğüm noktalarının biyolojik kanuniyetler açısından yorumlanması ve değerlendirmesi, MARS yönteminin ortaya koyduğu bulgular ile mümkün olabilmektedir.



**Şekil 2.3** Farklı düğüm sayılarına sahip Mars modelleri (Github 2024)

MARS modelleri, bağımsız değişkenlerin farklı aralıklarında tanımlanan temel fonksiyonların (splines) düğüm noktalarında (knots) birleştirilmesiyle oluşan bir model yapısına sahiptir (Friedman 1991, Özfalcı 2008, Oğuz, 2014). MARS modellerinin söz konusu bu genel eşitliği ise, aşağıdaki Denklem (2.26)'de gösterin temel fonksiyon ile ifade edilebilir;

$$Y = \beta_0 + \sum_{k=1}^k a_k \cdot (\beta_k \cdot X_t) + \varepsilon_i \quad (2.26)$$

Bu eşitlikte,  $\beta_0$ : sabit katsayı,  $k$ : düğüm sayısı,  $a_k$  :  $k$ . temel fonksiyona ilişkin katsayı,  $\beta_k \cdot X_t$ :  $t$ . Bağımsız değişken için  $k$ . temel fonksiyonu ve  $\varepsilon_i$  ise; model hatasını göstermektedir. Genel eşitlik içindeki en önemli fonksiyon bileşenleri de (Örekici vd. 2005, Çanga ve Boğa 2020);

$$\beta_k \cdot X_t = \text{maksimum}(0, x - k) = \begin{cases} x - k, & x > k, \\ 0, & x \leq k \end{cases} \quad (2.27)$$

ya da

$$\beta_k \cdot X_t = \text{maksimum}(0, k - x) = \begin{cases} k - x, & x < k, \\ 0, & x \geq k \end{cases} \quad (2.28)$$

gibi Denklem (2.27) ve Denklem (2.28) ile ifade edilebilir. Burada, fonksiyon bileşenlerinin iki şekilde tanımlanması, özellikle MARS modellerinde ayna görüntüsü özelliğini ifade eder ki, bu durum ilgili değişkenlerin belirli bir düğüm noktasından sonra bağımlı değişkende artan ya da azalan bir trendi temsil etmesine ve tahmine imkân tanır (Eyduran vd. 2017b, Özfalcı 2008, Ünal 2009). Böylece, bazı bağımlı değişkenlere ilişkin, örneğin artım değerleri gibi, çan eğrisi biçiminde bir noktaya kadar artıp, bu nokta MARS modellerindeki düğüm noktalarından birisidir, bu düğüm noktasından sonra da artımın azaldığı değişimler MARS modelleri ile modellenebilmekte ve temsil edilebilmektedir.

MARS modellerinin geliştirme süreçleri, iki aşamada gerçekleşmektedir (Özfalcı 2008, Ünal 2009, Orhun vd. 2018, Oğuz 2014). İlk aşamada, ileri adım algoritması esas olup, modelin karmaşıklığı en yüksek dereceye sahip oluncaya kadar mümkün olan tüm temel fonksiyon bileşenleri modele dahil edilir. Temel fonksiyonlar, tek bir değişkene dayalı dönüşümleri veya çoklu değişkenler arasındaki etkileşimleri temsil eden fonksiyonlardır. Tüm değişkenler ve değişken kombinasyonları tek tek ele alınarak modeldeki bağımsız değişkenlerin etkileşimleri ve doğrusal olmayan dönüşümleri hesaba katılır. Ayna temel fonksiyonu, kesitlere ilişkin eğimin düğüm noktasına değiştiği ve ilgili noktada eğitim sıfır olduğu bir noktayı temsil eder. 2. Aşama olan geri adım algoritması ise, ayrıca model budama süreci olarak da adlandırılıp, anlamlı

değişkenler ile etkileşimlerini belirleyen hata miktarını minimize ederek en başarılı modeli oluşturmayı amaçlar (Ünal 2009). Bu budama süreci hem hata terimini hem de model karmaşasını hesaba katan geliştirilmiş çapraz geçerlilik (GCV) tekniği ile yapılır (Ünal 2009, Eyduran vd. 2019a). Bu süreç, modelin karmaşıklığını ve genelleme yeteneğini dengeleyen en uygun temel fonksiyon kümesini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu iki aşamalı işlem, karmaşık ve esnek bir model yapısı oluştururken, modelin genelleme yeteneğini de korur. Model geliştirme sürecinde önem taşıyan geliştirilmiş çapraz geçerlilik (GCV) değeri, aşağıdaki Denklem (2.29) ile hesaplanır (Eyduran vd. 2017b, Çanga ve Boğa 2020).

$$GCV = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\left(1 - \frac{M + d \cdot \frac{(M-1)}{2}}{N}\right)^2} \quad (2.29)$$

Bu formülde, N: toplam veri sayısını,  $y_i$ : gözlem değerini (ağaçların bölümlenme yöntemi ile hesaplanan hacmini),  $\hat{y}_i$ : MARS modeli ile tahmin edilen ağaçların hacim değerini, M: temel fonksiyon sayısı, d: 2 ile 3 arasında değer alabilen (Akkuş 2017) maliyet-karmaşıklık ölçüsü değeridir.

Bu çalışmada ağaçların toplam gövde hacimlerini tahmin etmek üzere kullanılan MARS modellerinin geliştirilmesinde R yazılım dili (R Core Team 2024) ile kodlanmış “Earth” paketi kullanılmış (Milborrow 2011) ve eğitimler geliştirilmiştir. MARS eğitimlerinin gerçekleştirilmesinde, aşırı uyum sorununu azaltmak üzere ceza parametresi, -1,  $\text{penalty}=-1$ , olarak alınmıştır. Ayrıca, MARS eğitimlerinde çapraz doğrulama (cross-validation) kullanılmış, literatürde genellikle tercih edilen değer olan verilerin 10 eşit parçaya ayrıldığı eğitim esas alınmış, bunun için de  $\text{ncv}$  parametresi 10 olarak atanmıştır. MARS eğitimlerinin 1. aşamada elde edilen maksimum model temel fonksiyon sayısının sadeleştirilmesinde ve azaltılmasında ise, yukarıda formülü verilmiş olan (formül 29) “ $\text{pmethod}=\text{cv}$ ” geliştirilmiş çapraz geçerlilik algoritması uygulanmıştır. Bu eğitimlerde, küçük “ $\text{nprune}$ ” (istenilen terim sayısı) ile büyük “ $\text{nk}$ ” (maksimum terim sayısı) sayısı, literatürde sıklıkla kullanılan 50 ve 100 değeri olarak atanmıştır. MARS gibi çeşitli veri madenciliği metotlarına ilişkin model geliştirme uygulamalarında, bir çok kez tekrarlanan eğitimler, modellerin stabilitesini sağlayan ve

başarısını artıran süreçler olup, bu çalışmada da R yazılım dilinde kodlanan “For ..... Next” döngüsü (loop) ile en az 1000 kez eğitimler gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.3. Ağaç hacim tahminlerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, hacim tahmin fonksiyonlarının başarı durumlarını karşılaştırmak üzere on farklı başarı ölçütü kullanılmıştır. Bu ölçütler şunlardır: (1) Ortalama Mutlak Hata (OMH), (2) Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK), (3) Yüzde Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK%), (4) Ortalama Hata (Bias), (5) Yüzde Ortalama Hata (Bias%), (6) Belirtme Katsayısı ( $R^2$ ), (7) Toplam Hata Yüzdesi (THY), (8) Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY), (9) Akaike Bilgi Ölçütü (AIC) ve (10) Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) değerleridir. Bu ölçütler kullanılarak yapılan değerlendirmede, OMH, HKOK, HKOK%, Bias, Bias%, THY, OMHY, AIC ve BIC değerlerinin olabildiğinde düşük olması ve Belirtme Katsayısı ( $R^2$ ) değerinin ise 1'e yakın olması durumunda modelin hacim tahmininde başarılı olduğu esas alınmıştır.

Kullanılan bu başarı ölçüt değerlerinin formülleri, Denklem (2.30)-(2.39)'de verilmiştir.

$$OMH = \sum_{i=1}^n |V_i - \hat{V}_i| / n \quad (2.30)$$

$$HKOK = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2 / (n - k)} \quad (2.31)$$

$$HKOK\% = \left( \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2 / (n - k)} \right] / \bar{V}_i \right) \cdot 100 \quad (2.32)$$

$$Bias = \sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i) / n \quad (2.33)$$

$$Bias\% = \left( \left[ \sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i) / n \right] / \bar{V}_i \right) \cdot 100 \quad (2.34)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)} \quad (2.35)$$

$$THY = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \hat{V}_i - \sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \right] \cdot 100 \quad (2.36)$$

$$OMHY = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{V}_i - V_i|}{\sum_{i=1}^n V_i} \cdot 100 \quad (2.37)$$

$$AIC = n \cdot \ln(HKOK) + 2 \cdot k \quad (2.38)$$

$$BIC = n \cdot \ln(HKOK) + n \cdot \ln(k) \quad (2.39)$$

Burada, n: veri sayısını, k: parametre sayısını,  $\hat{V}_i$  : hacim denklemi ile tahmin edilen hacim değeri,  $V_i$  : ölçülen hacim değeri,  $\bar{V}$ : ölçülen ortalama ağaç hacim değerlerini göstermektedir.

Ağaç hacim denklemlerinin ve modellerinin ağaç hacim tahminlerindeki başarı durumlarının karşılaştırılmasında, tüm başarı kriterlerini içeren bir başarı değerlendirmesi esas alınmıştır. Bu değerlendirmede, rölatif sıralama yöntemi (Poudel ve Cao 2013) kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda kullanılan standart karşılaştırmada, belirli bir kritere göre başarılı kabul edilen hacim denklemleri 1 numarayla, başarısız olanlar ise 2 ve devam eden numaralarla sıralanmıştır. Ancak, rölatif sıralama yöntemi, başarı kriterlerinin birbirine olan farkları da göz önünde bulundurarak daha etkin bir değerlendirme yapmaktadır (Özçelik ve Çevlik, 2017, Özdemir 2018). Bu yöntemle elde edilen rölatif sıra değeri, Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen aşağıdaki Denklem (2.40) ile hesaplanmıştır.

$$R_i = 1 + \frac{(m-1) \cdot (S_i - S_{min.})}{(S_{max.} - S_{min.})} \quad (2.40)$$

Bu formülde,  $R_i$ : i. Denklemin rölatif sırasını,  $S_i$ : i. Denkleme ilişkin başarı ölçüt değerini,  $S_{min.}$ : en düşük başarı ölçüt değerini,  $S_{max.}$ : en yüksek başarı ölçüt değerini ifade etmektedir. Özellikle, rölatif sıra değerleri hesaplandıktan sonra, toplam rölatif sıra değeri en küçük olan hacim modeli ise; en başarılı şekilde ağaç hacmini tahmin eden model olarak belirlenmiştir.

#### **2.2.4. Ağaç hacim denklemlerinin denetimi**

Bu çalışmada, rölatif sıralama ile belirlenen en başarılı hacim denkleminin tahminlerinin Sisorta Orman İşletme Şefliği Sarıçam ormanlarına uygunluğu da denetlenmiştir (validasyon süreci). Bu uygunluk kontrolü, denklemlerin geliştirilmesinde kullanılmayan bağımsız 48 ağaçtan elde edilen verilerle gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, seçilen tek ve çift girişli hacim denklemleri ve MARS modelleri kullanılarak 48 ağaca ait hacim tahminleri elde edilmiş; “Eşlendirilmiş İki

Örnek Testi (Paired t test)” ile kesilmiş ağaç gövdeleri boyunca ölçülmüş gövde çapları kullanarak hesaplanan ağaç hacimleri (bölümleme yöntemi) ve bu denklem ve modeller ile tahmin edilen hacim değerleri karşılaştırılmış ve denklemlerin ve modellerin çalışma alanına uygunluğu denetlenmiştir (Kalıpsız 1988; Batu 1995). Tahmin edilen (ağaç hacim denklemi ya da MARS modeli ile) ve bölümleme yöntemi ile elde edilen hacim değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark yoksa ( $p>0.05$ ), hacim denklemi ya da modelinin çalışma alanı için uygun olduğu kabul edilir. Ancak, bu hacim değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark varsa ( $p<0.05$ ), hacim denklemi ya da modelinin çalışma alanına uygun olmadığı sonucuna varılabilir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Regresyon denklemlerine ilişkin sonuçlar

Bu çalışmada geliştirilen tek ve çift girişli hacim denklemlerinin parametre değerleri, Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çizelge 3.2’de, bu hacim denklemleri için hesaplanan ölçüt değerleri ve ayrıca Çizelge 3.3’de de, bu başarı ölçüt değerlerine ilişkin rölatif sıra numaraları verilmiştir. Bu geliştirilen tek ve çift girişli hacim denklemleri;  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamlı elde edilmiştir. Bu geliştirilen denklemlerin bir çok parametresi  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamlı hesaplanmış, ancak bazı parametreler ise anlamsız olarak elde edilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.3’de verilen başarı ölçütlerin rölatif sıraları esas alındığında, en küçük rölatif sıra numarası toplamına (20.48986 rölatif sıra toplamı) sahip olan tek girişli ağaç hacim denklemi, Denklem (2.5)’dir. Ancak 5 nolu denklemin hacim tahminlerinde başarılı sonuçlar vermesine karşın, ince çap değerlerinde ( $< 10$  cm) çap değeri arttıkça ağaç hacminin azaldığı bir gelişim gösterdiği ve böylece büyüme kanuniyetine aykırı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu bakımdan, 20.88016’lık rölatif sıra toplamı ile sıradaki en başarılı hacim denklemi olan Denklem (2.8) numaralı denklem değerlendirilmeye alınmıştır. Tüm parametreleri anlamlı ve tüm çap değerleri için giderek artan pozitif hacim tahminleri veren 8 numaralı denklem, hacim tahminlerinde en başarılı tek girişli ağaç hacim denklemi olarak seçilmiştir. En başarılı olarak belirlenen tek girişli ağaç hacim denklemi aşağıda Denklem (3.40)’da verilmiştir.

$$\log V = -4.918911 + 3.085619 \cdot \log(d) - 2.192152 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) \quad (3.40)$$

En başarılı tek girişli hacim denklemine ilişkin uygunluk ölçütleri,  $OMH=0.06697$ ,  $HKOK=0.11282$ ,  $HKOK\% = \%18.17266$ ,  $AIC=-176.050$ ,  $BIC=-122.854$ ,  $Bias=0.00045$ ,  $Bias\% = \%0.07266$ ,  $THY=\%0.07260$ ,  $OMHY=\%10.7788$  ve  $R^2=0.9696$  olarak hesaplanmıştır.

En küçük rölatif sıra numarası toplamına (40.03101'lık rölatif sıra toplamı) sahip olan çift girişli ağaç hacim denklemi, Denklem (2.18) numaralı denklemdir (Çizelge 3.3). Diğer taraftan, Denklem (2.18)'in bazı parametreleri  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamsız olarak bulunmuştur (Çizelge 3.1). Bu bakımdan, sıradaki hacim denklemleri değerlendirmeye alınmış, ancak bu denklemlerin parametrelerinin de  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamsız olduğu görülmüştür. Çift girişli ağaç hacim denklemlerinden, başarı sırası olarak küçük sıra numarasına sahip ve tüm parametreleri anlamlı olan ve ayrıca göğüs çapı ve boy artıkça hacim arttığı beklenen büyüme kanuniyetleri ile uyumlu bir değişim gösteren bir denklem elde etmek üzere Denklem (2.23) numaralı denklemdeki anlamsız parametre çıkarılarak  $\left(\frac{1}{d}\right)$  en başarılı çift girişli hacim denklemi geliştirilmiştir. En başarılı çift girişli ağaç hacim denklemi aşağıda Denklem (3.41)'de verilmiştir.

$$\log V = -4.665475 + 2.463347 \cdot \log d + 0.620180 \cdot \log h \quad (3.41)$$

En başarılı fonksiyon olarak seçilen denkleme ilişkin başarı ölçütleri ise  $OMH = 0.04211$ ,  $HKOK = 0.07521$ ,  $HKOK\% = \% 12.14410$ ,  $AIC = -209.508$ ,  $BIC = -156.313$ ,  $Bias = 0.00197$ ,  $Bias\% = \% 0.31754$ ,  $THY = \% 0.31654$ ,  $OMHY = \% 6.7784$  ve  $R^2 = 0.9865$  olarak hesaplanmıştır

**Çizelge 3.1** Kullanılan tek ve çift girişli denklemlerine ilişkin parametre tahminleri

Model No	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	Düzeltilme katsayısı
2.4	-0.23873***	0.000955***						
2.5	0.293596***	-0.040727***	0.001624***					
2.6	-0.505313***	0.001063***	3.793033***					
2.7	-4.432835***	2.809150***						1.0179
2.8	-4.918911***	3.085619***	-2.192152***					1.0167
2.9	-3.975726***	2.345505***	-0.117048 <sup>ns</sup>	0.045922 <sup>ns</sup>				1.0164
2.10		-0.028668 <sup>ns</sup>	0.065723 <sup>ns</sup>	0.000041***				
2.11	-0.501156 <sup>ns</sup>	0.291027 <sup>ns</sup>	1.769057 <sup>ns</sup>	0.000039***				
2.12	1.690295***	-1.324868***	-3.920735***	0.000681***	-0.000830 <sup>ns</sup>	0.000023***		
2.13		0.001002***	-0.016874***					
2.14		-0.024394 <sup>ns</sup>	-0.064282 <sup>ns</sup>	-0.000161 <sup>ns</sup>	0.000691***	-0.000067***	0.000073***	
2.15	1.123885*	-0.913513*	-2.751281*	0.000605***	0.007845 <sup>ns</sup>	-0.000576 <sup>ns</sup>	0.000031***	
2.16		-0.036468 <sup>ns</sup>	0.482570 <sup>ns</sup>	0.000350***	-0.000660***	0.000040***		
2.17		4.484375***	19.117413***	-12.584***	5.908945***			
2.18	-0.009791 <sup>ns</sup>	-0.017118 <sup>ns</sup>	-0.038741 <sup>ns</sup>	-0.000165 <sup>ns</sup>	0.000692***	-0.000067***	0.000074***	
2.19		-0.093011*	-0.039496 <sup>ns</sup>	0.000433***	0.016670**	-0.001291***	0.000044***	
2.20		0.489771***	-0.684168 <sup>ns</sup>	-0.053686***	0.001214***	0.000251 <sup>ns</sup>	0.000015*	
2.21		-0.189425***	0.780215*	0.000762***	0.000884**	-0.000054***	0.000001***	
2.22		0.147453***	-0.720086**	-0.001080***	0.000059***			
2.23	-4.759344***	2.530020***	0.452488 <sup>ns</sup>	0.602950***				1.0099
2.23*	-4.665475***	2.463347***		0.620180***				
2.24	-4.316239***	2.187768***	-0.615282 <sup>ns</sup>	0.595314***	0.021672 <sup>ns</sup>			1.0099
2.25	-4.333366***	2.272866***	-0.421487 <sup>ns</sup>	0.015474 <sup>ns</sup>	0.494555**	0.01660 <sup>ns</sup>		1.0099

ns: Anlamsız parametre, anlamsız parametre, p>0.05, \*:p<0.05, \*\*:p<0.01,\*\*\*:p<0.001, \*: 2.23 numaralı denklemin anlamsız parametresini çıkarılması ile yeniden elde edilmiş sonuçları

**Çizelge 3.2** hacim denklemlerine ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri

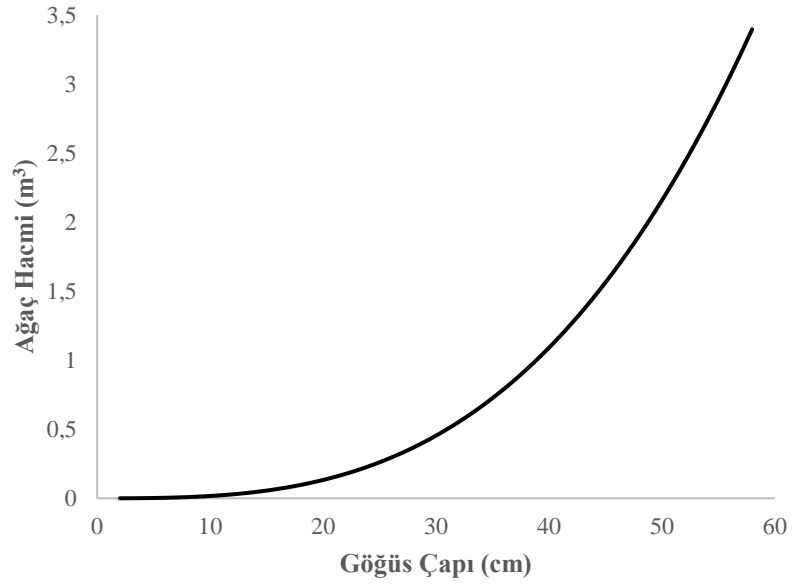
Denklem	OMH	HKOK	HKOK%	Bias	Bias%	R <sup>2</sup>	THY	OMHY	AIC	BIC
<b>2.4</b>	0.11216	0.14794	23.81231	1.47x10 <sup>-16</sup>	2.36 x10 <sup>-14</sup>	0.9478	1.50 x10 <sup>-07</sup>	18.0528	-153.684	-100.488
<b>2.5</b>	0.06918	0.10788	17.36446	1.57 x10 <sup>-17</sup>	2.52 x10 <sup>-15</sup>	0.9722	1.50 x10 <sup>-07</sup>	11.1351	-179.740	-126.545
<b>2.6</b>	0.09035	0.12702	20.44550	3.51 x10 <sup>-17</sup>	5.65 x10 <sup>-15</sup>	0.9615	1.50 x10 <sup>-07</sup>	14.5428	-166.263	-113.067
<b>2.7</b>	0.06971	0.11479	18.86680	0.01286	2.11404	0.9686	2.07023	11.2205	-174.621	-121.426
<b>2.8</b>	0.06697	0.11282	18.17266	0.00045	0.07266	0.9696	0.07260	10.7788	-176.050	-122.854
<b>2.9</b>	0.07281	0.13341	21.24651	0.00658	1.04801	0.9575	1.05919	11.7203	-162.216	-109.020
<b>2.10</b>	0.05469	0.10297	16.56523	0.00034	0.05478	0.9747	0.05481	8.8031	-183.583	-130.388
<b>2.11</b>	0.05546	0.10214	16.44039	1.11 x10 <sup>-16</sup>	1.79 x10 <sup>-14</sup>	0.9751	1.50 x10 <sup>-07</sup>	8.9267	-184.253	-131.057
<b>2.12</b>	0.04558	0.07689	12.37577	7.6 x10 <sup>-16</sup>	1.14 x10 <sup>-13</sup>	0.9859	1.50 x10 <sup>-07</sup>	7.3371	-207.687	-154.492
<b>2.13</b>	0.13086	0.17267	26.69456	0.02557	3.95265	0.9288	4.115315	21.0635	-140.928	-87.732
<b>2.14</b>	0.04137	0.07131	11.47721	1.5x10 <sup>-06</sup>	0.00024	0.9879	0.00024	6.6582	-213.907	-160.711
<b>2.15</b>	0.04468	0.07650	12.31322	3.39 x10 <sup>-16</sup>	5.46 x10 <sup>-14</sup>	0.9860	1.50x10 <sup>-07</sup>	7.1911	-208.106	-154.910
<b>2.16</b>	0.04602	0.07910	12.73689	0.00025	0.04059	0.9851	0.04058	7.4073	-205.348	-152.152
<b>2.17</b>	0.15214	0.23922	38.51029	9.57x10 <sup>-05</sup>	0.01541	0.8634	0.01540	24.4879	-114.029	-60.834
<b>2.18</b>	0.04137	0.07131	11.47722	5.30 x10 <sup>-17</sup>	8.53 x10 <sup>-15</sup>	0.9879	1.50x10 <sup>-07</sup>	6.6596	-213.907	-160.711
<b>2.19</b>	0.04519	0.07745	12.46947	0.00013	0.02105	0.9857	0.02104	7.2731	-207.082	-153.887
<b>2.20</b>	0.04401	0.07500	12.07078	5.15 x10 <sup>-05</sup>	0.00828	0.9866	0.00828	7.0842	-209.740	-156.544
<b>2.21</b>	0.05264	0.08541	13.75622	0.00036	0.05859	0.9826	0.05856	8.4729	-199.010	-145.814
<b>2.22</b>	0.05048	0.08854	14.23640	0.00062	0.09932	0.9813	0.09942	8.1249	-196.048	-142.852
<b>2.23</b>	0.04126	0.07503	12.07113	0.00034	0.05452	0.9866	0.05455	6.6411	-209.701	-156.505
<b>2.23*</b>	0.04211	0.07521	12.14410	0.00197	0.31754	0.9865	0.31654	6.7784	-209.508	-156.313
<b>2.24</b>	0.04253	0.07936	12.70385	0.00345	0.55232	0.9850	0.55536	6.8458	-205.075	-151.879
<b>2.25</b>	0.04235	0.08075	12.91832	0.00378	0.60452	0.9844	0.60824	6.8167	-203.640	-150.445

\*: 2.23 numaralı denklemin anlamsız parametresini çıkarılması ile yeniden elde edilmiş sonuçlar

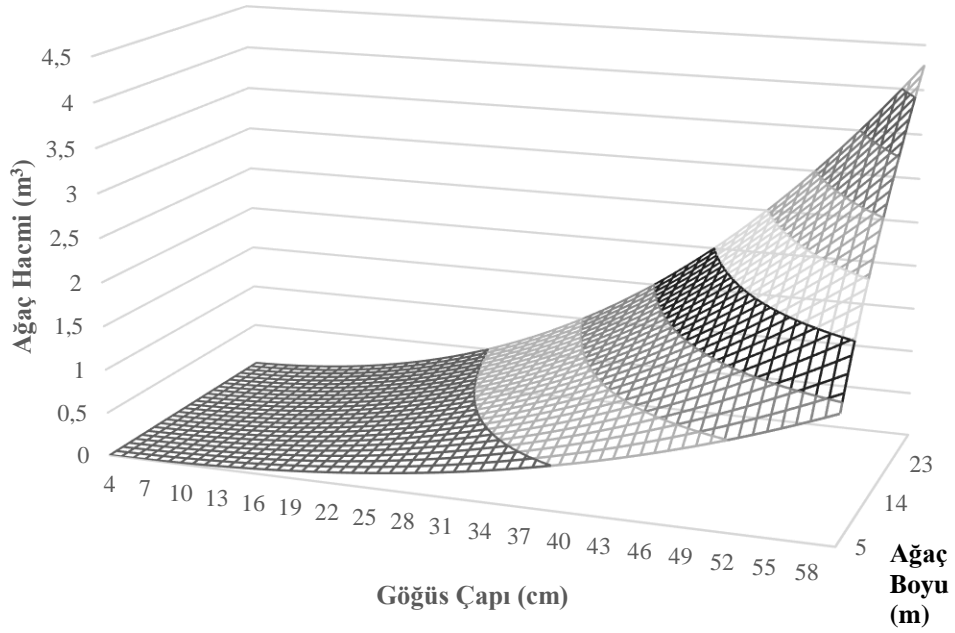
**Çizelge 3.3** Hacim denklemlerinin başarı ölçütlerine ilişkin rölatif sıra değerleri

No	OMH	HKO K	HKO K%	Bias	Bias%	R <sup>2</sup>	THY	OMHY	AIC	BIC	Σ
2.4	6.000	6.000	6.000	1.000	1.000	6.000	1.000	6.000	1.000	1.000	35.00000
2.5	1.245	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.245	6.000	6.000	20.48986
2.6	3.587	3.389	3.389	1.000	1.000	3.194	1.000	3.587	3.414	3.414	26.97427
2.7	1.304	1.862	2.165	6.000	6.000	1.750	6.000	1.304	5.018	5.018	36.41953
2.8	1.000	1.616	1.627	1.175	1.172	1.531	1.175	1.000	5.292	5.292	20.88016
2.9	1.647	4.186	4.010	3.558	3.479	4.005	3.558	1.647	2.637	2.637	31.36526
2.10	2.817	3.829	2.982	1.200	1.208	2.588	1.200	2.817	11.446	11.446	41.53184
2.11	2.921	3.755	2.933	1.000	1.000	2.539	1.000	2.921	11.546	11.546	41.16116
2.12	1.585	1.499	1.350	1.000	1.000	1.238	1.000	1.585	15.066	15.066	40.38845
2.13	13.122	10.05	6.927	16.00	16.00	8.115	16.00	13.12	5.040	5.040	109.4204
2.14	1.014	1.000	1.000	1.001	1.001	1.000	1.001	1.014	16.000	16.000	40.03131
2.15	1.462	1.464	1.326	1.000	1.000	1.221	1.000	1.462	15.129	15.129	40.19237
2.16	1.644	1.696	1.491	1.148	1.154	1.337	1.148	1.644	14.714	14.714	40.69094
2.17	16.00	16.00	11.53	1.056	1.058	16.00	1.056	16.00	1.000	1.000	80.70031
2.18	1.016	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.016	16.000	16.000	40.03101
2.19	1.531	1.549	1.386	1.077	1.080	1.263	1.077	1.531	14.975	14.975	40.44454
2.20	1.372	1.330	1.231	1.030	1.031	1.155	1.030	1.372	15.374	15.374	40.30153
2.21	2.540	2.260	1.888	1.213	1.222	1.636	1.213	2.540	13.763	13.763	42.03779
2.22	2.247	2.539	2.075	1.362	1.377	1.792	1.362	2.247	13.318	13.318	41.63774
2.23	1.000	1.333	1.231	1.199	1.207	1.157	1.199	1.000	15.368	15.368	40.06258
2.24	1.172	1.720	1.478	3.024	3.096	1.349	3.024	1.172	14.674	14.674	45.38212
2.25	1.148	1.844	1.561	3.217	3.294	1.413	3.217	1.148	14.458	14.458	45.75796

Bu çalışmada en başarılı olarak seçilen tek girişli denklem ile tahmin edilen ağaç hacminin göğüs çaplarına göre değişimleri ve çift girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminlerinin ağaçların göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimleri, sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Bu şekiller değerlendirildiğinde, ağaçların ağaç hacimlerinin gerek göğüs çapına gerekse göğüs çapı ile birlikte ağaç boyuna göre devamlı bir şekilde artan eğrisel bir değişim gösterdiği görülmektedir. Bu bakımdan, geliştirilen ağaç hacim denklemler ile ortaya konulan bu değişimlerin de, ağaç hacmine ilişkin beklenen büyüme kanuniyetleri ile uyumlu olduğu değerlendirilebilir.



**Şekil 3.1** Tek girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminlerinin göğüs çapına göre değişimi



**Şekil 3.2** Çift girişli ağaç hacim denklemi ile elde edilen hacim tahminlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi

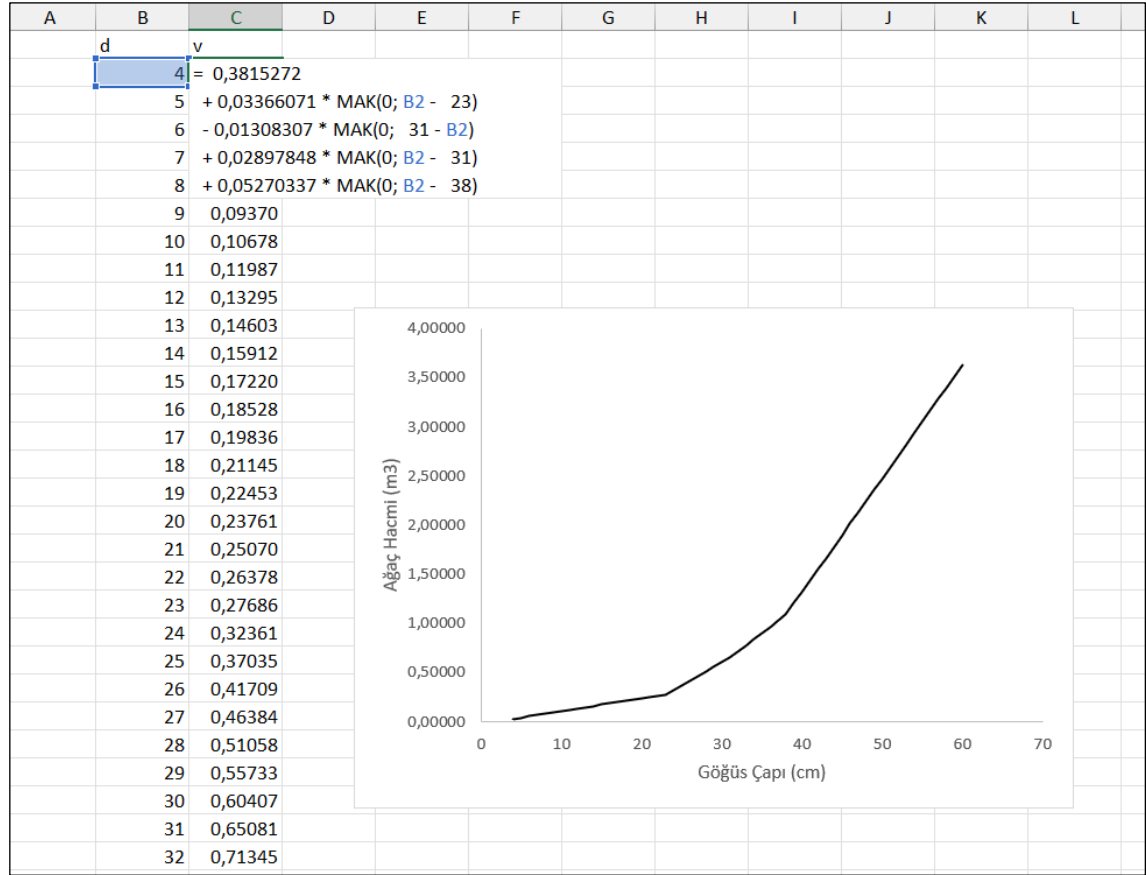
### 3.2. MARS modellerine ilişkin sonuçlar

Bu çalışmada, ağaç hacmini tahmin etmek üzere kullanılan regresyon analizine alternatif bir yöntem olarak, tek ve çift girişli MARS modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerden, ağaç çapına göre tahminler veren tek girişli MARS modeline ilişkin parametre değerleri, Çizelge 3.4’de verilmiştir. Bu MARS modeli aşağıdaki Denklem (3.42)’de verilmiştir;

$$V = 0.381527 + 0.033661 \cdot \text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 23.0) - 0.013083 \cdot \text{Maksimum}(0, 31.0 - d_{1.30}) + 0.028978 \cdot \text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 31.0) + 0.052703 \cdot \text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 38.0) \quad (3.42)$$

Bu modelde,  $d_{1.30}$  ağaçların göğüs çapını göstermektedir. Maksimum fonksiyonu da, ağaçların göğüs çaplarına göre 0 ya da göğüs çapı ile ilgili değer farkına ilişkin bir değeri alabilen bir fonksiyonu göstermektedir. Bu maksimum fonksiyonu daha ayrıntılı açıklanırsa; örneğin 20 cm göğüs çapı değeri,  $\text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 23.0)$  fonksiyonunda yerine konduğunda,  $\text{Maksimum}(0, 20 - 23.0)$  ve  $\text{Maksimum}(0, -3)$  fonksiyonları elde edilip, bu fonksiyon da 0 ve -3 değerlerinin maksimum değerini 0 olarak atayıp, modelde 0.033661 katsayısı 0 değeri ile çarpıldığından, bu çap değerinin hacim tahmininin hesaplanmasında bir katkısı olmayacaktır. Benzer şekilde,  $\text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 31.0)$  fonksiyonu,  $\text{Maksimum}(0, 20 - 31.0)$  işlemi ve  $\text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 38.0)$  fonksiyonu da,  $\text{Maksimum}(0, 20 - 38.0)$  işlemi ile 20 cm’lik göğüs çapı için 0 değerlerini alacaktır. 20 cm’lik göğüs çapı için sadece  $\text{Maksimum}(0, 31.0 - d_{1.30})$  fonksiyonu,  $\text{Maksimum}(0, 31.0 - 20)$  işlemi ile 11 değerini alıp, -0.013083 katsayısı ile çarpılıp, 0.381527 değerinden bu çarpım işleminin sonucunun çıkarılması ile hacim tahmini elde edilecektir. 35 cm’lik göğüs çapları için ise,  $\text{Maksimum}(0, 31.0 - d_{1.30})$  ve  $\text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 38.0)$  fonksiyonları 0 değerini alacaktır. Diğer taraftan,  $\text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 23.0)$  fonksiyonu,  $\text{Maksimum}(0, 35 - 23.0)$  değeri ile 12 değerini ve  $\text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 31.0)$  fonksiyonu ise,  $\text{Maksimum}(0, 35 - 31.0)$  değeri ile 4 değerlerini alarak modeldeki, sırasıyla 0.033661 ve 0.028978 katsayıları ile çarpılacaktır. Bu şekilde maksimum fonksiyonlarının ilgili çap değerlerine göre verdikleri 0 ya da belirli bir değer için

MARS modelleri ile hacim tahminleri, belirli çap değeri aralıkları için elde edilebilmektedir. Şekil 3.3'te tek girişli MARS modelinin Excel programında uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Tek girişli MARS modelinin Excel programında uygulamasından bir görüntü

Ağaçların göğüs çapları ile birlikte boylarına göre tahminler veren çift girişli MARS modeli de, Tablo 3.5'de verilmiştir. Bu MARS modeli aşağıdaki Denklem (3.43)'de verilmiştir;

$$\begin{aligned}
 V = & 0.2583757 + 0.020889 \cdot \text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 19) - 0.008236 \cdot \\
 & \text{Maksimum}(0, 32 - d_{1.30}) + 0.049773 \cdot \text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 32.0) + 0.04276 \cdot \\
 & \text{Maksimum}(0, d_{1.30} - 42) + 0.04276 \cdot \text{Maksimum}(0, h - 12.0815) \quad (3.43)
 \end{aligned}$$

Bu denklemde, h değeri, ağacın boy değerini ifade etmektedir. Maksimum fonksiyonları yukarıda ayrıntılı olarak açıklanmış olup, özellikle ağaç boyuna ilişkin Maksimum(0, h – 12.0815) fonksiyonu ile ağaç boyunun 12.0815 metrelik değerine kadarki kısmında fonksiyonun sonuç değeri 0 değerine almaktadır. Örneğin, 10 metrelik ağaç boyu için Maksimum(0, 10 – 12.0815) fonksiyonu, Maksimum(0, –2.0815) işlemi ile 0 değerini alacaktır. Böylece 12.0815 metrelik ağaç boyundan daha düşük ağaçlar için maksimum fonksiyonu 0 değerini vereceğinden ve ilgili katsayı da (0.042760) 0 ile çarpılacağından, çift girişli MARS modeli ile 12.0815 metrelik boy değerine kadar olan ağaçların hacminin tahmin değerleri aynı çap değerleri içinde için sabit kalmaktadır. 12.0815 metrelik boy değerine kadar olan ağaçların hacim farkını yaratan ağaç özelliği de ağaçların göğüs çapları olmaktadır. Bu durumu, çift girişli MARS modeli için geliştirilen ağaç hacim tablosunda (Ek Tablo-4) görülebilmektedir. Şekil 3.4’te çift girişli MARS modelinin Excel programında uygulaması gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Tek girişli MARS modeline ilişkin parametre değerleri ile çeşitli istatistikler

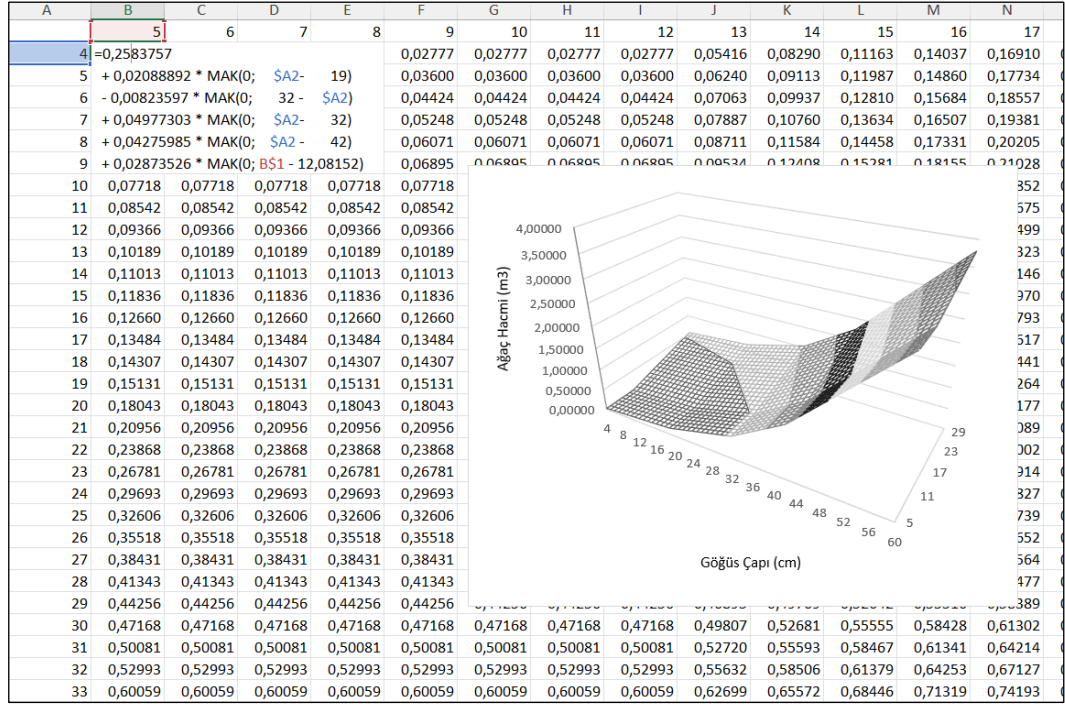
Temel fonksiyonlar	Katsayılar	Standart hata	t değeri	Önem düzeyi
Sabit katsayı (b <sub>0</sub> )	0.301527	0.033422	9.022	p<0.001
mak(0, d <sub>130</sub> - 23)	0.033661	0.005269	6.389	p<0.001
mak(0, 31 - d <sub>130</sub> )	-0.013083	0.002324	-5.628	p<0.001
mak(0, d <sub>130</sub> - 31)	0.028978	0.008560	3.385	p<0.001
mak(0, d <sub>130</sub> - 38)	0.052703	0.007018	7.510	p<0.001

Mak: maksimum değer

**Çizelge 3.5.** Çift girişli MARS modeline ilişkin parametre değerleri ile çeşitli istatistikler

Temel fonksiyonlar	Katsayılar	Standart hata	t değeri	Önem düzeyi
Sabit katsayı (b <sub>0</sub> )	0.198376	0.043218	4.590	p<0.001
mak(0, d <sub>130</sub> - 19)	0.020889	0.003802	5.494	p<0.001
mak(0, 32 - d <sub>130</sub> )	-0.008236	0.002543	-3.239	p<0.01
mak(0, d <sub>130</sub> - 32)	0.049773	0.004999	9.956	p<0.001
mak(0, d <sub>130</sub> - 42)	0.042760	0.004629	9.237	p<0.001
Mak(0, boy-12.0815)	0.028735	0.002516	11.420	p<0.001

Mak: maksimum değer



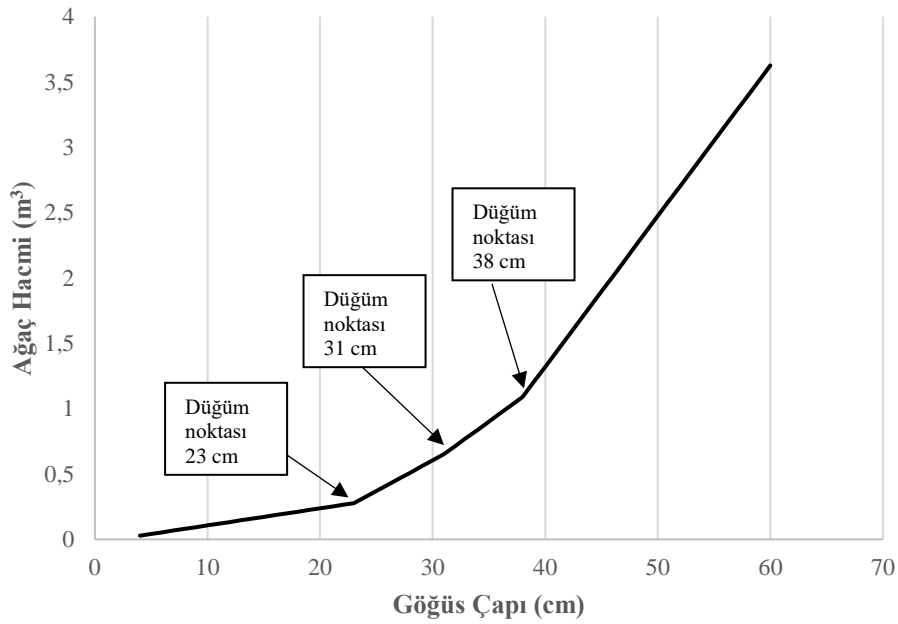
Şekil 3.4. Çift girişli MARS modelinin Excel programında uygulamasından bir görüntü

MARS modellerine ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri, çoğul regresyon analizi ile elde edilen ve en başarılı olarak belirlenen tek (2.8 numaralı denklem) ve çift girişli (2.23 numaralı denklem) ağaç hacim denklemlerine ilişkin ölçütlerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.6.'da verilmiştir. Tek girişli MARS modeline ilişkin başarı ölçütleri ise  $OMH= 0.06617$ ,  $HKOK= 0.10524$ ,  $HKOK\%= \% 16.93902$ ,  $AIC= -181.787$ ,  $BIC= -128.592$ ,  $Bias= 5.12 \times 10^{-9}$ ,  $Bias\%= \% 8.25 \times 10^{-7}$ ,  $THY= \% 9.74 \times 10^{-7}$ ,  $OMHY= \% 10.6510$  ve  $R^2= 0.9736$  olarak hesaplanmıştır. Çift girişli MARS modeline ilişkin başarı ölçütleri ise  $OMH= 0.03665$ ,  $HKOK= 0.06932$ ,  $HKOK\%= \% 11.15764$ ,  $AIC= -216.238$ ,  $BIC= -163.043$ ,  $Bias= 4.28 \times 10^{-6}$ ,  $Bias\%= \% 0.00069$ ,  $THY= \% 0.00099$ ,  $OMHY= \% 5.8994$  ve  $R^2= 0.9885$  olarak hesaplanmıştır.

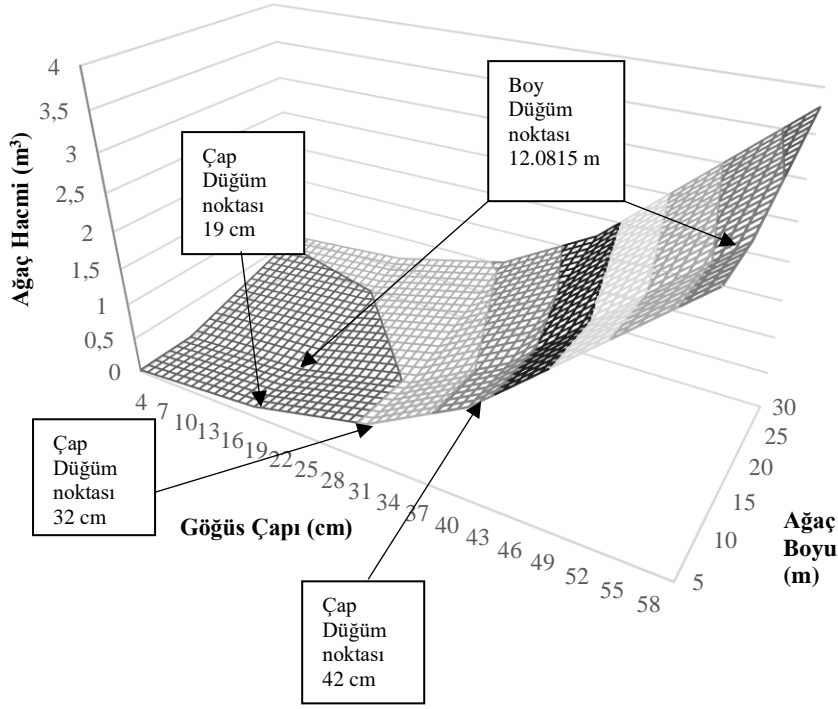
**Çizelge 3.6** MARS modellerine ilişkin hesaplanan başarı ölçütleri

	OMH	HKOK	HKOK %	Bias	Bias%	R <sup>2</sup>	THY	OMHY	AIC	BIC
Tek girişli MARS	0.06617	0.10524	16.93902	5.12x10 <sup>-9</sup>	8.25x10 <sup>-7</sup>	0.9736	9.74x10 <sup>-7</sup>	10.6510	-181.787	-128.592
Tek Girişli Regresyon	0.06697	0.11282	18.17266	0.00045	0.07266	0.9696	0.07260	10.7788	-176.050	-122.854
Çift girişli MARS	0.03665	0.06932	11.15764	4.28x10 <sup>-6</sup>	0.00069	0.9885	0.00099	5.8994	-216.238	-163.043
Çift Girişli Regresyon	0.04211	0.07521	12.14410	0.00197	0.31754	0.9865	0.31654	6.7784	-209.508	-156.313

Şekil 3.5’de, tek girişli MARS modeli ile tahmin edilen ağaç hacim gelişiminin göğüs çapına göre; Şekil 3.6’de ise, çift girişli MARS modeli ile tahmin edilen ağaç hacim gelişiminin göğüs çapı ile birlikte ağaç boyuna göre değişimleri ortaya konulmuştur. Şekil 3.5’de, MARS modellerinde önemli bir konu olan düğüm noktaları tek girişli tahminlerde gösterilmiş olup, bu düğüm noktalarının değerleri sırasıyla, 23 cm, 31 cm ve 38 cm değerleridir. Şekil 3.6’te ise, çift girişli MARS modeli ile elde edilen ağaç boyu için 12.0815 m’lik boy düğüm noktası ve 19 cm, 32 cm ve 42 cm’lik çap düğüm noktaları gösterilmiştir.



**Şekil 3.5.** Tek girişli MARS modeli ile elde edilen hacim tahminlerinin göğüs çapına göre değişimi



**Şekil 3.6.** Çift girişli MARS modeli ile elde edilen hacim tahminlerinin göğüs çapı ile birlikte ağaç boyuna göre değişimi

### 3.3. Hacim modellerinin denetimine ilişkin sonuçlar

Bu çalışmada ağaçların hacim tahminlerinde en başarılı olarak seçilen tek ve çift girişli çoğul regresyon denklemleri ile MARS modelleri ve mevcut orman amenajman planlarında yer alan tek girişli ağaç hacim tablosunun denetimi, denklemlerin ve modellerin geliştirilmesinde kullanılmamış olan 48 adet ağaç verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, tek ve çift girişli çoğul regresyon denklemleri ile MARS modelleri ve mevcut orman amenajman planlarında yer alan tek girişli ağaç hacim tablosu kullanılarak denetim için ayrılmış 48 adet ağacın hacmi tahmin edilmiş, “Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)” kullanılarak bu tahmin değerleri ile denetiminde kullanılan ağaçların (48 adet) bölümlene yöntemi ile hesaplanan hacim değerleri (gözlem değeri) karşılaştırılmıştır (Kalıpsız 1988; Batu 1995). Ağaç hacim denklemlerinin ve modellerinin denetimine ilişkin sonuçlar, Çizelge 3.7’de verilmiştir. Yapılan bu karşılaştırma ile orman amenajman planındaki tek girişli hacim tablosu için; t istatistiği= -2.1573 olarak hesaplanmış olup, bu istatistiğe ilişkin önem düzeyi  $p=0.036$  ( $p<0.05$ ), bu çalışmada geliştirilen tek girişli hacim denklemi için t istatistiği=6.7966 ve

önem düzeyi  $p= 0.001$  ( $p<0.05$ ), geliştirilen çift girişli hacim denklemi için  $t$  istatistiği= $0.6028$  ve önem düzeyi  $p= 0.550$  ( $p>0.05$ ), tek girişli MARS modeli için  $t$  istatistiği= $0.5751$  ve önem düzeyi  $p= 0.568$  ( $p>0.05$ ) ve çift girişli MARS modeli için  $t$  istatistiği= $-1.0146$  ve önem düzeyi  $p= 0.315$  ( $p>0.05$ ) olarak elde edilmiştir. Böylece, denklemlerin ve modellerin geliştirilmesinde kullanılmamış bağımsız ağaçlarla yapılan bu denetlemede, örnek ağaçların alındığı Sisorta yöresindeki Sarıçam meşcereleri için mevcut orman amenajmanındaki yer alan tek girişli ağaç hacim tablosu ve bu çalışmada geliştirilmiş tek girişli ağaç hacim denkleminin istatistiksel olarak %95 güvenle uygun olmadığı, diğer taraftan çoğul regresyon analizi ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi ile tek ve çift girişli MARS modellerinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

**Çizelge 3.7.** Ağaç hacim denklemlerinin ve modellerinin denetimine ilişkin sonuçlar

Karşılaştırma	Farklar Ort.	Farklar Standart Sapması	Farklar Standart Hatası	%95'lik alt güven sınırı	%95'lik üst güven sınırı	t hesap	Serbestlik Derecesi	Önem düzeyi(p)
Vbölümleme-Vamenajman	-0.0464	0.1491	0.0215	-0.0897	-0.0031	-2.1573	47	0.036
Vbölümleme-Vtekgirişli	0.1754	0.1788	0.0258	0.1235	0.2274	6.7966	47	0.001
Vbölümleme-Vçiftgirişli	0.0073	0.0840	0.0121	-0.0171	0.0317	0.6028	47	0.550
Vbölümleme-VtekgirişliMARS	0.0087	0.1049	0.0151	-0.0217	0.0392	0.5751	47	0.568
Vbölümleme-VçiftgirişliMARS	-0.0286	0.1953	0.0282	-0.0853	0.0281	-1.0146	47	0.315

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Giresun Orman Bölge Müdürlüğü, Koyulhisar Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Sisorta Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Sarıçam meşcerelerinden elde edilen veriler kullanılarak, hem geleneksel tahmin tekniği olan çoğul regresyon analizi yöntemi hem de son yıllarda istatistiksel varsayımların sağlanmasına ihtiyaç duymayan ve karmaşık ilişkilerin modellenmesinde başarılı tahmin sonuçları verebilen ve ayrıca bir veri madenciliği uygulaması olan Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri Tekniği “Multivariate Adaptive Regression Spline, MARS”, ile tek ve çift girişli ağaç hacim tahmin denklemleri ve modelleri geliştirilmiş ve başarı durumları karşılaştırılmıştır. Bu bakımdan, bu çalışmada ormancılık literatüründe yenilikçi bir teknik olan MARS modellerinin ağaçların hacim tahminlerindeki kullanım olanakları araştırılmıştır.

Bu kapsamda, Sisorta Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan Sarıçam meşcerelerinden yapılan bakım ve gençleştirme alanlarındaki üretim çalışmalarında farklı çap ve boylarda kesilmiş 238 adet ağaçta gövde boyunca çaplar ölçülmüş, ölçülen bu gövde çap değerleri kullanılarak bölümlene yöntemi ile ağaçların toplam gövde hacimleri hesaplanmıştır. Bölümlene yöntemi hesaplanan ağaç hacim değerleri, ormancılık uygulamalarında elde edilebilecek ağaçların gerçek kütle hacmine en yakın değer değer olarak kabul edilmektedir (Fırat 1973, Kalıpsız, 1984). Çünkü, aslında fizik biliminin bir uygulaması olarak ağaçlardan elde edilen odun parçalarının bir su havuzuna suya batırılıp, bu havuzdan taşacak suyun hacminin ölçülmesi şeklindeki ksilometre yöntemi ile ağaç hacimlerinin hesabı, özellikle orman şartlarında uygulaması mümkün olmayan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Fırat 1973, Kalıpsız 1984). Bununla birlikte, ormancılık uygulamalarında ölçümü zor olan ağaçların bölümlene ile belirlenen hacimlerinin, ölçümü kolay olan göğüs çapı ile nispeten kolay olan ağaç boyuna göre tahmin edilmesinde, istatistik biliminin bir konusu olan Regresyon Analizi yöntemi kullanılmaktadır. Ağaçların hacimlerini tahmin etmek üzere regresyon analizi ile çoğul regresyon denklemleri geliştirilmiş, bu kapsamda çeşitli kaynaklardan (Şentürk 1997, Yavuz 1999) sağlanan tek girişli hacim denklemleri için 6 (2.4-2.9'nolu denklemler) ve çift girişli ağaç hacim denklemleri için de 25 (2.10-2.35'nolu

denklemler) farklı hacim denklemi, parametreleri tahmin edilmek suretiyle geliştirilmiştir. Tek girişli ağaç hacim denklemi için 6 adet, çift girişli ağaç hacim denklemi için 25 adet denklemin hacim tahminlerindeki başarı durumlarının karşılaştırılmasında; Ortalama Mutlak Hata (OMH), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK), Yüzde Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK%), Ortalama Hata (Bias), Yüzde Ortalama Hata (Bias%), Belirtme Katsayısı ( $R^2$ ), Toplam Hata Yüzdesi (THY), Ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY), Akaike Bilgi Ölçütü (AIC) ve Bayesian Bilgi Ölçütü (BIC) değeri olmak üzere on farklı başarı ölçütü değeri esas alınmış, bu on farklı başarı ölçütünü birlikte değerlendirilmesinde ise Cao ve Poudel (2013)'in rölatif sıralama yöntemi kullanılmıştır.

Bu farklı hacim denklemlerinden, Cao ve Poudel (2013)'in rölatif sıralama yöntemine göre en başarılı olarak belirlenen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin ve bu denklemlerin tüm parametrelerinin  $p < 0.05$  önem düzeyi ile anlamlı olmasına dikkat edilmiş; ayrıca bu denklemlerin tüm göğüs çapı ve ağaç boyu değerleri için giderek artan pozitif eğrisel hacim gelişimini içeren ve bu bakımdan beklenen büyüme kanuniyetleri ile uyumlu tahminler verip vermediği de, göğüs çapı (Şekil 3.1) ve göğüs çapı ile birlikte ağaç boyuna göre (Şekil 3.2) ağaç hacim gelişimini gösteren grafikler ile denetlenmiştir. Bu kapsamda, tek girişli hacim denklemlerinden 5 nolu denklem rölatif sıra yöntemine göre en başarılı denklem olmasına karşın, hacim gelişimine ilişkin bilinen kanuniyetlerle uyumlu sonuçlar vermediği için, 20.88016'lık rölatif sıra toplamı ile sıradaki en başarılı hacim denklemi olan 2.8 numaralı denklem, tek girişli hacim tahminlerine ilişkin en başarılı denklem olarak seçilmiştir. En başarılı 2.8 nolu denklem yapısına sahip tek girişli hacim denklemine ilişkin uygunluk ölçütleri,  $OMH=0.06697$ ,  $HKOK=0.11282$ ,  $HKOK\%= \%18.17266$ ,  $AIC=-176.050$ ,  $BIC=-122.854$ ,  $Bias=0.00045$ ,  $Bias\%= \%0.07266$ ,  $THY=\%0.07260$ ,  $OMHY=\%10.7788$  ve  $R^2=0.9696$  olarak elde edilmiştir. En başarılı çift girişli hacim denkleminin de değerlendirilmesinde de, yukarıda ifade edilen hem denklemin hem de parametrelerin anlamlılığı yanında, hacim gelişiminde beklenen büyüme kanuniyetlerini sağlama durumu dikkate alınmış; söz konusu en başarılı olarak belirlenen 2.23 nolu denklem yapısından anlamsız bir parametrenin  $\left(\frac{1}{d}\right)$  çıkarılması ile elde edilmiş olup, bu çift girişli ağaç hacim denklemi,  $OMH= 0.04211$ ,  $HKOK= 0.07521$ ,  $HKOK\%= \% 12.14410$ ,  $AIC= 209.508$ ,  $BIC=$

156.313, Bias= 0.00197, Bias%= % 0.31754, THY= % 0.31654, OMHY= % 6.7784 ve  $R^2= 0.9865$  değerlerinden oluşan başarı ölçüt değerlerine sahiptir.

Ormancılık literatüründe ağaç hacimlerinin tahmin edilmesine ilişkin yapılmış birçok sayıda çalışmada kullanılmış klasik tahmin yöntemi olan çoğul regresyon analizi yanında, parametrik olmayan bir teknik olan MARS yöntemi de, bu çalışmada alternatif bir tahmin yöntemi olarak kullanılmıştır. R programlama dilinde kodlanmış “earth” kütüphanesi ile MARS modelleri elde edilmiş ve çeşitli başarı ölçüt değerleri hesaplanmıştır. MARS modellerinin karşılaştırılmasında ve en başarılı modelin belirlenmesinde, çoğul regresyon denklemlerinin değerlendirilmesinde yukarıda sözü edilen yaklaşım esas alınmış, rölatif sıralama yöntemine göre en başarılı olarak belirlenen MARS modelinin ve tüm parametreleri ile  $p<0.05$  önem düzeyi ile anlamlı olmasına ve ayrıca hacim gelişiminde beklenen büyüme kanuniyetleri ile uyumlu tahminler vermesine dikkat edilmiştir. Bu bakımdan en başarılı olarak belirlenen tek girişli MARS modeline ilişkin başarı ölçütleri; OMH= 0.06617, HKOK= 0.10524, HKOK%= % 16.93902, AIC= -181.787, BIC= -128.592, Bias=  $5.12 \times 10^{-9}$ , Bias%= %  $8.25 \times 10^{-7}$ , THY= %  $9.74 \times 10^{-7}$ , OMHY= % 10.6510 ve  $R^2= 0.9736$  olarak hesaplanmış; en başarılı çift girişli MARS modeline ilişkin başarı ölçütleri ise, OMH= 0.03665, HKOK= 0.06932, HKOK%= % 11.15764, AIC= -216.238, BIC= -163.043, Bias=  $4.28 \times 10^{-6}$ , Bias%= % 0.00069, THY= % 0.00099, OMHY= % 5.8994 ve  $R^2= 0.9885$  olarak elde edilmiştir.

Çoğul regresyon denklemleri ile MARS modellerine ilişkin başarı sonuçları karşılaştırılacak olursa; tek girişli çoğul regresyon denklemi ile THY=%0.07260, OMHY=%10.7788 ve  $R^2=0.9696$  olarak hesaplanırken, tek girişli MARS modeli ile THY= %  $9.74 \times 10^{-7}$ , OMHY= % 10.6510 ve  $R^2= 0.9736$  olarak elde edildiği görülmektedir. Çift girişli tahminler için ise, çift girişli çoğul regresyon denklemi, THY= % 0.31654, OMHY= % 6.7784 ve  $R^2= 0.9865$  değerlerinde başarı ölçüt değerlerine sahip iken, çift girişli MARS modeli ile THY= % 0.00099, OMHY= % 5.8994 ve  $R^2= 0.9885$  değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu hesaplanan başarı ölçüt değerleri ile diğer ölçüt değerleri de birlikte değerlendirildiğinde gerek tek girişli gerekse çift girişli hacim tahminlerinde çoğul regresyon denklemlerine göre MARS

modelleri ile daha başarılı tahmin sonuçları elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, MARS modelleri ile hem tek girişli (Şekil 3.5) hem de çift girişli (Şekil 3.6) hacim tahminlerinin giderek artan pozitif eğrisel gelişimi gösteren ve bu böylece beklenen büyüme kanuniyetleri ile uyumlu sonuçlar veren bir trend ortaya konulmuş, MARS modellerinin başarı durumları yanında büyüme kanuniyetleri ile de çelişmeyen tahminler sunabildiği değerlendirilmiştir.

MARS ile geliştirilen ağaç hacim denklemlerinin verilerin alındığı meşcerelere uygunluğu, Eşlendirilmiş İki Örnek Testi (Paired t test)” kullanılarak denetlenmiş ve geliştirilen tek ve çift girişli MARS modellerinin verilerin alındığı Sisorta Orman İşletme Şefliğindeki Sarıçam meşcerelerine uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan, çoğul regresyon analizi ile geliştirilen denklemlere ilişkin sonuçlar değerlendirildiğinde; çift girişli ağaç hacim denkleminin çalışma alanındaki Sarıçam meşcerelerine uygun olduğu, tek girişli çoğul regresyon modeli ise,  $p < 0.05$  düzeyi ile verilerin alındığı Sisorta Orman İşletme Şefliğindeki Sarıçam meşcerelerine uygun olmadığı belirlenmiştir. Bu bakımdan, denklemlerin ve modellerin geliştirilmesinde kullanılmamış verilerle yapılan bu denetleme süreçlerinde, MARS modelleri çoğul regresyon denklemlerine daha başarılı olduğu görülmektedir.

Çoğul regresyon analizi ile geliştirilen hacim denklemleri ile MARS yöntemi ile geliştirilen hacim modellerinin tek bir ağacın hacim tahmininde kullanılması ile oluşacak hata yüzdesini ifade eden Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi değerleri; tek girişli hacim denklemi için %10.7788 iken, MARS modeli için % 10.6510 ve çift girişli hacim denklemi için % 6.7784 ve MARS modeli için ise % 5.8994 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, bu hacim denklemleri ile modellerin çok sayıdaki ağacın hacim tahmininde kullanılması durumundaki oluşacak hata yüzdesini ifade eden toplam hata yüzdesi değeri ise, tek girişli ağaç hacim denklemi için %0.07260 iken, MARS modeli için %  $9.74 \times 10^{-7}$  ve çift girişli ağaç hacim denklemi için % 0.31654 ve MARS modeli için ise % 0.00099 olarak hesaplanmıştır. Kalıpsız (1999)’a göre, Toplam Hata Yüzdesinin, -%1 ile +%1 arasında ve Ortalama Hata Yüzdesi değerinin ise %10 ve daha küçük olması önerilmektedir. Bu bakımdan, çalışmamızda oluşturulan tek ve çift girişli hacim denkleminin THY değeri %-1 ile %1 arasında iken, OMHY’si değeri tek girişli

tahminler için %10'dan fazla, çift girişli tahminler için ise, % 10'un altındadır. OMHY'ne ilişkin bu değerler dikkate alındığında, tek ağaç hacim gelişiminde ağaç boylarının etkisinin önemli olduğu, özellikle ağaçların hacim gelişiminin göğüs çapı yanında ağaç boyu ile de kuvvetli ilişkisinin olduğu, göğüs çapı ile birlikte ağaç boylarının da, hacim denklemlerinde bağımsız değişken olarak yer almasının hacim değerlerinin daha başarılı tahmin edilmesini sağlayacağı değerlendirilebilir. Diğer taraftan, THY değerlerinin her iki hacim denklemi için 0'a yakın değerlerde hesaplanması, tek ağaç düzeyindeki artı ve eksi yöndeki hataların belirli ölçüde birbirlerini dengelemeleri ile açıklanmaktadır (Yavuz, 1999). Yavuz (1999), tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin toplam hata yüzdesinin sıfıra yakın olmasının iki hacim fonksiyonun hatasız olduğu anlamına gelmediğini; hacim fonksiyonları ile elde edilen tahmini hacim değerleri toplamı ile ölçülen hacim değerleri toplamı arasında bir farklılık bulunmadığı anlamını taşıdığını ifade etmiştir. Bu bakımdan, çok sayıda ağacın tahmininde hata yüzdesinin düşük görülmesine karşın, tek ağaç düzeyinde bu hata değerleri önemli yüksek derecelerde olabilecektir.

MARS modellemesinin, ormancılıkta çeşitli tek ağaç ve meşcere özelliklerinin tahmininde kullanımı oldukça sınırlı düzeyde olup, Ou vd. (2019), ağaçların çap artımının tahmin edilmesinde makine öğrenme teknikleri olan Random Forest, Boosted Regression Tree ve Cubist teknikleri yanında MARS modellerini kullanmıştır. Guerra-Hernández vd. (2012) ve González-Rodríguez and Diéguez-Aranda (2020), bonitet endeksinin çeşitli iklim, toprak ve fizyografik değişkenlerle ilişkilerinin modellenmesinde MARS modelini kullanmıştır. Guerra-Hernández vd. (2021), bonitet endeksinin çeşitli iklim ve toprak özelliklerine göre tahmin eden MARS modeli geliştirmiştir. Ülkemizde ise, biyoloji, ekonomi, çevre ve ziraat alanlarındaki çeşitli çalışmalarda MARS modellerinin kullanımı yoğun biçimde gerçekleştirilmiş olup, ormancılıkta alanındaki çalışmalar ise başlangıç düzeyindedir.

Bu çalışmada MARS modeline ilişkin gerek başarı ölçütleri gerekse denetim verileri için elde edilen sonuçlar dikkate alınarak MARS modelinin kullanılabilirliği değerlendirildiğinde, MARS modeli ile başarı ölçütlerinin çoğul regresyon analizi ile elde edilen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin sonuçlara oldukça yakın

ve belirli ölçüde daha iyi olduğu ve ayrıca tek girişli ağaç hacim denkleminin bağımsız verilerle yapılan denetimden geçemez iken, hem tek hem de çift girişli MARS modellerinin denetimden geçtiği ve çalışma alanındaki Sarıçam meşcerelerine uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bakımdan, mevcut klasik yöntem olan çoğul regresyon denklemlerine göre daha başarılı tahminler verebilen MARS modelinin, söz konusu denklemlere alternatif bir tahmin tekniği olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılabilir. MARS yönteminin, modelin geliştirme sürecinde herhangi bir istatistik varsayımına gerek duymaması ve ayrıca değişkenlerin sürekli (kantitatif, ölçüm değişkeni) veya kesikli (kalitatif, kategorik değişken) olması gibi değişken tiplerine de uygulanabilir olamaması gibi avantajları da vardır (Özalcı 2008, Ünal 2009). Ayrıca, Orekeci vd. (2005) ve Oğuz (2014) ifade ettiği üzere, MARS algoritmasının önemli diğer bir özelliği de, aralarında doğrusal olmayan ilişkiler bulunan değişkenler arasındaki ilişkileri, değişkenlerin belirli aralıkları için katsayıları değişen denklemler (splines) ile parça parça olmak üzere basit bir şekilde modelleyebilmesidir. Bu bakımdan, MARS modelleri, çeşitli doğrusal model parçalarından oluşan yapıları ile doğrusal olmayan ilişkilerini kolaylıkla ve başarıyla modelleyebilme kabiliyetlerine sahiptirler. Bu avantajları ile birlikte MARS modelinin, ormancılıkta çeşitli tek ağaç ve meşcere özelliklerinin tahminindeki başarı durumlarının ortaya konması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

En başarılı olarak belirlenen tek girişli hacim denklemi kullanılarak farklı göğüs çapları için tahmin edilen hacim değerlerine ilişkin tek girişli ağaç hacim tablosu, çoğul regresyon modeli için Ek Çizelge 1'de ve MARS modeli için ise Ek Çizelge 3'de verilmiştir. Ayrıca, en başarılı çift girişli hacim denklemi ile farklı göğüs çapları ve boy değerleri için elde edilen hacim tahminlerine ilişkin çift girişli ağaç hacim tablosu da çoğul regresyon modeli için Ek Çizelge 2'de ve MARS modeli için ise Ek Çizelge 4'de verilmiştir.

Ormancılıkta, başta orman envanteri olmak üzere çeşitli ormancılık uygulamalarında pratik bir uygulama olarak öne çıkan ağaç hacim denklemleri kullanılarak elde edilen ağaç hacim tahminleri, orman işletmelerinin sermayesinin önemli bir kısmı hakkında sayısal bilgiler sunması yanında, orman amenajman planlarında dikkate alınması

gereken önemli envanter özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bakımdan, tek ağaçların ve bu tek ağaçların bir araya gelmesi ile oluşan meşcere hacimlerinin doğru ve etkin bir şekilde tahmin edilmesi, orman mühendisliği bakımından büyük bir önem taşımaktadır. Ormancılıkta, ağaçların hacim tahminlerini başarıyla gerçekleştirebilecek teknikleri kullanımı ve modellerin geliştirilmesi, orman mühendisliğinde özel önem verilmesi ve uzmanlaşılması gereken bir konu olmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen bu çalışmada, öncelikle mevcut orman amenajman planlarında kullanılan tek girişli ağaç hacim tablosunun çalışma alanı olan Sisorta Orman İşletme Şefliği için uygun olmadığı belirlenmiş olup, bu durum söz konusu tek girişli hacim tablosunun ülke geneli için geliştirilen bir model olması ve böylece söz konusu tablosunun yöresel hacim farklılıklarını ortaya koyamaması ile açıklanabilir. Bu bakımdan, gerçekleştirilen bu çalışma ile Sisorta Orman İşletme Şefliği için daha doğru ve başarılı hacim tahminlerinin elde edilmesi mümkün olabilecek ve uygulamaya önemli katkılar sağlanmış olacaktır. Ayrıca, MARS gibi yenilikçi tekniklerin ağaçların hacim tahminlerinin elde edilmesinde kullanımı da tek ağaç ve meşcere düzeyinde hacim tahminlerinin daha doğru ve başarılı elde edilmesine ve başta orman amenajmanı olmak üzere ormancılık faaliyetlerinin daha etkin ve tutarlı olmasını sağlayabilecektir. Özellikle, ülkemizin önemli ormanlık alanları için yöresel hacim denklemlerinin MARS gibi son zamanlarda öne çıkan yenilikçi tekniklerle geliştirilmesi, bu alanlardaki ormancılık faaliyetlerinin başarısına önemli katkılar sağlayabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Akalp, T. 1978. Türkiye'deki Doğu Ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr) ormanlarında hasılat araştırmaları. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, 145 sayfa, İstanbul.
- Akkuş, O. 2017. Hayvancılık alanında çok değişkenli uyarlanabilir regresyonun kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi, 31 sayfa, Iğdır.
- Aksoy, A., Ertürk, Y. E., Eyduran E. and Tariq M. M. 2018a. Comparing predictive performances of MARS and CHAID algorithms for defining factors affecting final fattening live weight in cultural beef cattle enterprises. Pakistan Journal of Zoology, 50(6): 2279-2286.
- Aksoy, A., Erturk E., Eyduran E. and Tariq M.M. 2018b. Utility of mars algorithm for describing non-genetic factors affecting pasture revenue of Morkaraman breed and Romanov × Morkaraman fl crossbred sheep under semi intensive conditions. Pakistan Journal of Zoology, 51(1):235-240.
- Akyol, M. 2011. Yaşam çözümlemesine yeni bir yaklaşım: MARS. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, 100 sayfa, Ankara.
- Alemdağ, Ş. 1962. Türkiye'deki kızılçam ormanlarının gelişimi, hasılat ve Amenajman esasları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No, 11, Ankara, 160 s.
- Alemdağ, Ş. 1967. Türkiye'deki sarıçam ormanlarının kuruluğu, verim gücü ve bu ormanların işletilmesinde takip edilecek esaslar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No, 20, Ankara, 160 s.
- Asan, Ü. 1984. Kazdağı Göknarı ormanlarının hasılat ve amenajman esasları üzerine araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü Yayın No, 3205, O.F. Yayın No, 365, Taş Matbaası, İstanbul, 207 s.
- Asan, Ü. 2000. Ulusal orman envanteri kavramı ve Türkiye'deki durumu. T.C. Orman Bakanlığı, Teknik Bülten, Yıl,1, sayı 2.
- Asan, Ü. Başkent, E. Z. ve Özçelik, R. 2001. Gelişmiş ülkelerdeki ulusal orman envanter sistemleri ve Türkiye için öneriler. 1. Ulusal Ormancılık Kongresi, 19-20 Mart, 30-51, Ankara.

- Aytekin, İ., Eydurhan, E., Karadas, K., Akşahan, R. and Keskin, İ. 2018. Prediction of fattening final live weight from some body measurements and fattening period in young bulls of crossbred and exotic breeds using MARS data mining algorithm. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(1): 189-195.
- Batu, F. 1995. Uygulamalı İstatistik Yöntemler, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No: 179, Trabzon, 312 s.
- Bayburtlu, Ş. 2007. Titrek kavak hacim ve bonitet endeks tablolarının düzenlenmesi. Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61 sayfa, Trabzon.
- Github, 2024. Web Sitesi, <https://bradleyboehmke.github.io/HOML/mars.html>, Erişim Tarihi: 01.02.2024
- Birler, A. S. ve Yüksel, Y. 1983. Sahil çamı ağaçlandırma meşçerelerinde hasılat araştırması. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Enstitüsü Yayınları, No: 25.
- Çanga, D. and Boga, M. 2019. Use of MARS in Livestock and an application. III. international scientific and vocational studies congress, 27-29 June, Nevşehir, 31-37
- Çanga, D., and Boğa, M. 2020. Determination of the effect of some properties on egg yield with regression analysis method bagging MARS and R application. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(8): 1705–1712.
- Çanga, D., Yavuz, E. and Efe, E. 2019. Use of MARS data mining algorithm for egg weight estimation presented at the international congress on domestic animal breeding Genetics and Husbandry-19 (ICABGEH-19).
- Çelik, S. and Yılmaz, O. 2018. Prediction of body weight of Turkish Tazi dogs using data mining techniques: classification and regression tree (CART) and multivariate adaptive regression splines (MARS). *Pakistan Journal of Zoology*, 50(2): 575-583.
- Çelik, S. and Boydak, E. 2020. Description of the relationships between different plant characteristics in soybean using multivariate adaptive regression splines (mars) algorithms, *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 30(2): 431-441.

- Çelik, S., Eyduran, E., Karadas, K. and Tariq, M. M. 2017. Comparison of predictive performance of data mining algorithms in predicting body weight in Mengali rams of Pakistan. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(11): 863-872.
- Çelik, S., Eyduran, E., Tatliyer, A., Karadas, K., Kara, M. K. and Waheed, A. 2018. Comparing predictive performances of some nonlinear functions and multivariate adaptive regression splines (MARS) for describing the growth of Daera Din Panah (DDP) goat in Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(3): 1187-1190.
- Doğan, B. B. ve Toprak, S., 2012. Diyarbakır Ticaret Borsası'nın faaliyetleri ve borsanın üye profilleri ile ilgili veri eksiklerinin mars analizi ile düzeltilmesi. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 13(2):151-174.
- Doğanay, B. 2007. Uzunlamasına çalışmaların analizinde karma etki modelleri. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 94 sayfa, Ankara.
- Durkaya, B. 2004. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)-Uludağ Göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.)-Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) karışık meşcerelerinde artım-büyüme ilişkileri. Doktora tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 226 sayfa, Bartın.
- Eraslan, İ. 1954. Trakya ve Bilhassa Demirköy Mıntıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar, Orman Genel Müdürlüğü Yayın No: 132, 250 sayfa. İstanbul.
- Ercanlı, İ., Güvendi, E., Güney, D., Günlü, A. ve Altun, L. 2008. Sinop Yöresi Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) ağaçlandırmalarına ilişkin tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *K.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 8 (1): 14-25.
- Erkin, K. 1956. Seben mıntıkası sarıçamları hacim eğrisine ait tamamlayıcı etütler. *İstanbul Orman Fakültesi Dergisi*, A6 (2): 243-263
- Ertürk, Y. E. 2018. Description of factors influencing final fattening weight in domestic beef cattle breeds through MARS Algorithm. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(5): 1731-1737.
- Ertürk, Y. E., Aksoy, A. and Tariq, M. M. 2018. Effect of selected variables identified by MARS on fattening final live weight of crossbred beef cattle in eastern turkey. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(4): 1403-1412.

- Evcimen, B. S. 1963. Türkiye Sedir ormanlarının ekonomik önemi, hasılatı ve amenajman esasları. O.G.M. Yayınları, 355, 16, Ankara.
- Eyduran, E. 2016. The possibility of using data mining algorithms in prediction of live body weights of small ruminants. *Journal of Biomedical Science*, 1: 1-4.
- Eyduran, E. and Türkoğlu, M. 2017. Procedure of MARS algorithm for describing the relationship between body weight and morphological traits of some migratory birds in Iğdır province of Turkey. II. International Iğdır Symposium, Iğdır Turkey, 133 s.
- Eyduran, E., Tirink, C., Karahan, A. E., Türkoğlu, M. and Tariq, M. M. 2017a. Comparison of predictive performances of MARS and CART algorithms through R software. *International Conference on Computational and Statistical Methods in Applied Sciences*, Samsun Turkey, 181.
- Eyduran, E., Akkuş, O., Kara, K.M., Tirink, C. and Tariq, M. M. 2017b. Use of adaptive regression splines (MARS) in predicting body weight from body measurements in Mengali rams. *International Conference On Agriculture, Forest, Sciences and Technologies. Cappadocia/Turkey*, 415.
- Eyduran, E., Zaborski, D., Waheed, A., Celik, S., Karadas, K. and Grzesiak, W. 2017c. Comparison of the predictive capabilities of several data mining algorithms and multiple linear regression in the prediction of body weight by means of body measurements in the Indigenous Beetal Goat of Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, 49(1): 273-282.
- Eyduran, E., Tirink, C., Karahan, A. E. and Türkoğlu, M. 2017d. Prediction of an upper bound of generalized cross validation in multivariate adaptive regression splines in agricultural studies. *International conference on computational and statistical methods in applied sciences*, Samsun Turkey, 176 p.
- Eyduran, E., Sevgenler, H., Akin, M., Eyduran, B. M. 2018. Usage multivariate adaptive regression splines for predicting continuous responses. *animal and plant sciences. International Agricultural Science Congress. 9-12May, Van, Turkey*.
- Eyduran, E., Akin, M. and Eyduran, S. P. 2019a. Application of multivariate adaptive regression splines in agricultural sciences through R Software. *Nobel Bilimsel Eserler Sertifika No:20779, Ankara*.

- Eyduran, E., Çanga, D., Sevgenler, H. and Çelik, A. E. 2019b. Use of bootstrap aggregating bagging MARS to improve predictive accuracy for regression type problems. 11. Uluslararası İstatistik Kongresi.
- Fırat, F. 1973. Dendrometri. IV. Baskı, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ. Ü Yayın No, 1800, O. Yayın No, 193, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Fırat, F. ve Kalıpsız A. 1963. Tarsus-Karabucak ormanları için *Eucalyptus camaldulensis* ağaç hacim tablosu. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, Cilt 18, Sayı 1, İstanbul.
- Friedman, J. H. 1991. Multivariate Adaptive Regression Splines Annals of Statistics, 19(1): 1-67.
- González-Rodríguez, M. A. and Diéguez-Aranda, U. 2020. Exploring the use of learning techniques for relating the site index of radiata pine stands with climate, soil and physiography. Forest Ecology and Management, 458, p. 117803.
- Guerra-Hernández, J., Arellano-Pérez, S., González-Ferreiro, E., Pascual, A., Altelarrea, V. S., Ruiz-González, A. D. and Álvarez-González, J. G. 2021. Developing a site index model for P. Pinaster stands in NW Spain by combining bi-temporal ALS data and environmental data. Forest Ecology and Management, 481, p. 118690.
- Gülen, İ. 1959, Karaçam Hacim Tablosu, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, A9 (1): 97-112.
- İyit, N., Genç, A. and Arslan, F. 2006. Analysis of repeated measures for continuous response data using General Linear Model and Mixed Models, Proceedings of the international conference on modeling and simulation, Konya, TURKEY, 937-942.
- Kan, B. 2011. Yanıt yüzeyi modellerine MARS yaklaşımı. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, 139 sayfa, Eskişehir
- Kalıpsız, A. 1962, Değişikyaşlı Doğu Kayınında Artım ve Büyüme Araştırmaları, Orman Genel Müdürlüğü Yayın No 339/7, 112s. İstanbul.
- Kalıpsız, A. 1963. Türkiye’de Karaçam meşcerelerinin tabii bünyesi ve verim kudreti üzerine araştırmalar. O.G.M. Yayını, İstanbul, 141 sayfa.
- Kalıpsız, A., 1988, İstatistik Yöntemler, 453 s, İ. Ü. Yayın No: 3522, İstanbul.
- Kalıpsız, A. 1984, Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No, 3194, O.F. Yayın No, 354, İstanbul, 407 sayfa.

- Kalıpsız, A. 1999, Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No,3194/354, İstanbul.
- Kapucu, F. 2004, Orman amenajmanı. KTÜ Orman Fakültesi Yay No, 215 / 33, ISBN-975-6983-35-3, 514 sayfa.
- Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A.U. ve Mısır, N. 2002. Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları. TÜBİTAK TOGTAG-TARP 2229 nolu Proje, Sonuç Raporu.
- Karadaş, K., Tariq, M., Tariq, M. M. and Eyduran, E. 2017. Measuring predictive performance of data mining and artificial neural network algorithms for predicting lactation milk yield in indigenous Akkaraman sheep. Pakistan Journal of Zoology, 49(1): 1-7.
- Karadaş, K., Ertürk, E. Y., Eyduran, E., Gürsoy, K. A. and Tariq, M. M. 2017. Predictive Performances of Chaid and Mars Data Mining Algorithms in the establishment of Relationship between Live Body Weight and Several Morphological Measurements of Indigenous Mengali Sheep and Its Economic Importance. International Conference on Agriculture, Forest, Sciences and Technologies, 11-17 May 2017 Nevşehir, Cappadocia/ Turkey, 117.
- Kartal, M., Depren, S. K. and Depren, Ö. 2018. Türkiye’de döviz kurlarını etkileyen makroekonomik göstergelerin belirlenmesi: MARS yöntemi ile bir inceleme. MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7(1): 209-229.
- Köse, S. 1994.Doğu Karadeniz ormanlarında fonksiyonel planlamanın önemi. K.T.Ü. 4. Ulusal Bölge Bilimi/Bölge Kalkınma Kongresi Bildirileri, 275-282.
- Kuter, S. 2014. Atmospheric correction and image classification on MODIS images by nonparametric regression splines. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 199 sayfa, Ankara
- Kuter, S., Akyürek, Z., Weber, G.W. and Özmen, A. 2012. Testing of MARS on MODIS Images for Local Atmospheric Correction, 25th European Conference on Operational Research (EURO XXV 2012), Vilnius, Lithuania, July 8-11.
- Leites, L. P. and Robinson, A. P. 2004. Improving taper equations of loblolly pine with crown dimensions in a mixed-effects modeling framework, Forest Science, 50: 204-212.
- Loetsch, F., Zöhrer, F. and Haller, K. E. 1973. Forest Inventory, Volume II, BLV Verlagsgesellschaft München Bern Wien, München, 469 p.

- Miraboğlu, M. 1955. Gökнарlarda Şekil ve hacim araştırmaları. T.C. Ziraat Vekaleti, Orman Umum M¼d¼rl¼đ¼, NeŐriyat Sıra No,188, Seri No, 5, Yenilik Basımevi, 103 sayfa, İstanbul.
- Milborrow, S. 2011. Derived from MDA: MARS by T. Hastie and Tibshirani, earth: Multivariate adaptive regression splines, R package.
- Nacar, S., Kankal, M. ve Hınıs M.A. 2018. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE) ile G¼nl¼k Akarsu Akımlarının Tahmini-Haldizen Deresi Örneği. G¼m¼Őhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼ Dergisi, 8 (1): 38-47s.
- Nacar, S., Kankal, M. ve Okkan, U. 2021. EraInterim Re-analiz Verileri Kullanılarak İstatistiksel Öleğek İndirgeme Yöntemi ile Doğu Karadeniz Havzası Aylık Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Tahmin Edilmesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1): 136-148.
- Nacar, S., Baki, O. T. Ve Bayram, A. 2022. Akarsularda Çöz¼nm¼Ő Oksijen Konsantrasyonunun Regresyon Tabanlı Yöntemlerle Modellenmesi: HarŐit Çayı Örneği. Uludağ Üniversitesi M¼hendislik Fak¼ltesi Dergisi, 27(1): 309-324.
- Pehlivan, S. 2010. Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) ağaç hacim tablolarının d¼zenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 48 sayfa, Trabzon.
- Oğuz, A. 2014. Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon zincirlerinin irdelenmesi ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi, 75 sayfa, Erzincan.
- Oktar, S. ve Yüksel, S. 2016. Bankaların türev ürün kullanımını etkileyen faktörler: MARS yöntemi ile bir inceleme. Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar, 53 (620), 31.
- Orhan H., Teke, Ç. E. ve Karcı, Z. 2018. Laktasyon Eğrileri Modellemesinde Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (Mars) Yönteminin Uygulanması. KahramanmaraŐ S¼tç¼ İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 21(3): 363-373.
- Orhunbilge, N. 2002. Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, İ.Ü. İşletme Fak¼ltesi Yayınları, II. Baskı, 394 sayfa, İstanbul.
- Ou, Q., Lei, X. and Shen, C. 2019. Individual tree diameter growth models of larch–spruce–fir mixed forests based on machine learning algorithms. Forests, 10 (2), 187.

- Örekici, G., Çamdeviren, H. ve Yazıcı, C. 2005. Regresyon Modellerine Alternatif Yaklaşım: MARS, VIII. Ulusal Biyoistatistik Kongresi Bildiri Kitabı, Bursa, 105-123.
- Örekici Temel, G., Ankaralı, H. ve Yazıcı, A. 2010. Regresyon Analizine Alternatif Bir Yaklaşım: MARS. Türkiye Klinikleri Biyoistatistik Dergisi, 2: 58-66.
- Özçelik, R. ve Çevlik, M. 2017. Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 18 (1): 37-48.
- Özdemir, G. 2018. Karabük yöresi kayın-gökmar karışık meşcerelerinde gövde çaplarının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, 101 sayfa, Kastamonu.
- Özbalcı, Y., 2008. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Kesitleri: MARS, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 69 sayfa, Ankara.
- Özkurt, A. 2000, Okalıptüs (*Eucalyptus grandis* W.Hill ex. Maiden) için hacim tablosu, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 6: 87-106.
- Öztürk, S. ve Sevinç, V. 2013. Yeni Doğan Bebeklerin Düşük Doğum Ağırlığının Mars Yöntemine Dayalı İkili Lojistik Regresyonla Modellenmesi. İstatistik Araştırma Dergisi, 10(2): 56-72.
- Poudel, K. P. and Cao, Q. V. 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. Forest Science, 59 (2): 243-252.
- R Core Team, 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Sakıcı, O. E. ve Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı Gökmar Meşcereleri İçin Hacim Fonksiyonları. Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, Cilt:3, No:2: 219-232.
- Sakıcı, O. E., Sağlam, F. ve Seki, M. 2018. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 19 (1): 20-29
- Saraçoğlu, Ö. 1988. Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme, Doktora Tezi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın, İstanbul.
- Saraçoğlu, N. 1998. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn subsp. barbata (C.A. Mey.) Yalt.) Gövde Hacim Tablosu, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22: 215-225

- Searle, S. R., Casella, G. and Mc Culloch, C. E. 1992. Variance components, John Wiley and Sons Inc., USA.
- Sevgenler, H. 2019. Keçilere Ait Kimi Özelliklerin Canlı Ağırlık Üzerindeki Etkilerini Belirlemek Amacıyla Kullanılan Veri Madenciliği Algoritmalarının (CART, CHAID ve Mars) Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi, 57nsayfa, Iğdır.
- SPSS Institute Inc. 2010. SPSS Base 15.0, User's Guide, 750 s.
- Şentürk, N. 1997. Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Wahl. subps. Oxycarpa (Bieb. ExWilld.) Franco&RochaAfonso) gövde hacim ve ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 108 sayfa, Trabzon.
- Şenyurt, M. 2011. Batı Karadeniz yöresi Sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, 210 sayfa, İstanbul.
- Şevgin, H. 2020. ABİDE 2016 Fen başarısının yordanmasında MARS ve brt veri madenciliği yöntemlerinin karşılaştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 171 sayfa, Ankara.
- Tatlıdil, H. ve Demirağ, İ. 2014. Türkiye'de yoksulluğun sosyo-ekonomik ve demografik değişkenlerle ilişkilerinin lojistik regresyon ve MARS yöntemleri kullanılarak incelenmesi. TISK Academy/TISK Akademi, 9 (17).
- Tosun, F. 2021. Veri madenciliği ile çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (Mars Modellemesi) yöntemi uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, 23 sayfa, Şanlıurfa.
- Tunay, K. B. 2001. Türkiye'de paranın gelir dolaşım hızlarının MARS yöntemiyle tahmini, ODTÜ Gelişme Dergisi, 28 (3-4): 431-454
- Tunay, B.K., 2011. Türkiye'de Durgunlukların MARS Yöntemi ile Tahmini ve Kestirimi. Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi. 3(1):71-91.
- Ünal, B., 2009. Çok değişkenli uyarlamalı regresyon uzanımları, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 131 sayfa, İstanbul.
- Yavuz, H. ve Saraçoğlu, N. 1999. Kızılağaç için uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, Ek Sayı 5: 1275-1282.

- Yavuz, H., 1999, Taşköprü Yöresinde Karaçam İçin Hacim Fonksiyonları ve Hacim Tabloları, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, 5: 1181-1188.
- Ye, S. 2005. Covariance structure selection in linear mixed models for longitudinal data, M. Sc. Thesis, department of Bioinformatics and Biostatistics, University of Louisville, Kentucky, USA.
- Yerlikaya, F. 2008. A New Contribution to Nonlinear Robust Regression and Classification with MARS and Its Applications to Data Mining for Quality Control in Manufacturing, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Üniversitesi, 244 sayfa, Ankara.
- Zaborski, D., Grzesiak, W., Szewczuk, M., Eyduran, E., Tariq, M. M. and Ali, M., (2018). The use of MARS method for predicting daily body weight gains in Harnai sheep. IX International Scientific Agriculture Symposium “Agrosym 2018”, Jahorina Bosnia Herzegovina,

## **EKLER**

**EK 1. Sisorta yöresi Sarıçam için Regresyon Analizi ile geliştirilen tek girişli ağaç hacim Tablosu**

**EK 2. Sisorta yöresi Sarıçam için Regresyon Analizi ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

**EK 3. Sisorta yöresi Sarıçam için MARS ile geliştirilen tek girişli ağaç hacim tablosu**

**EK 4. Sisorta yöresi Sarıçam için MARS ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

**EK 1. Sisorta yöresi Sarıçam için Regresyon Analizi ile geliştirilen tek girişli ağaç hacim Tablosu**

<b>Göğüs Çapı (cm)</b>	<b>Kabuklu Gövde Hacmi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Göğüs Çapı (cm)</b>	<b>Kabuklu Gövde Hacmi (m<sup>3</sup>)</b>
4	0.00025	33	0.50144
5	0.00063	34	0.55230
6	0.00131	35	0.60654
7	0.00237	36	0.66428
8	0.00392	37	0.72563
9	0.00605	38	0.79070
10	0.00886	39	0.85961
11	0.01245	40	0.93246
12	0.01692	41	1.00939
13	0.02237	42	1.09050
14	0.02891	43	1.17590
15	0.03664	44	1.26572
16	0.04566	45	1.36006
17	0.05608	46	1.45905
18	0.06801	47	1.56280
19	0.08156	48	1.67143
20	0.09682	49	1.78506
21	0.11391	50	1.90379
22	0.13294	51	2.02776
23	0.15401	52	2.15707
24	0.17724	53	2.29185
25	0.20273	54	2.43221
26	0.23059	55	2.57827
27	0.26094	56	2.73014
28	0.29388	57	2.88796
29	0.32953	58	3.05183
30	0.36800	59	3.22187
31	0.40940	60	3.39821
32	0.45384		

**EK 2. Sisorta yöresi Sarıçam için Regresyon Analizi ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
4	0.00155	0.00269	0.00421	0.00616	0.00856	0.01144	0.01483									
5	0.00178	0.00309	0.00484	0.00708	0.00983	0.01314	0.01704									
6	0.00200	0.00346	0.00542	0.00792	0.01101	0.01471	0.01908	0.02412								
7	0.00220	0.00381	0.00596	0.00872	0.01211	0.01619	0.02099	0.02654	0.03289							
8	0.00239	0.00413	0.00648	0.00947	0.01316	0.01759	0.02280	0.02883	0.03573	0.04351						
9	0.00257	0.00445	0.00697	0.01019	0.01416	0.01892	0.02453	0.03102	0.03843	0.04681	0.05619	0.06660				
10	0.00274	0.00475	0.00744	0.01088	0.01511	0.02020	0.02618	0.03311	0.04103	0.04997	0.05998	0.07109				
11	0.00291	0.00504	0.00789	0.01154	0.01603	0.02143	0.02778	0.03513	0.04353	0.05302	0.06363	0.07542	0.08842			
12	0.00307	0.00532	0.00833	0.01218	0.01692	0.02262	0.02932	0.03708	0.04594	0.05596	0.06716	0.07960	0.09332	0.10835		
13	0.00322	0.00559	0.00875	0.01280	0.01778	0.02377	0.03081	0.03897	0.04828	0.05880	0.07058	0.08365	0.09807	0.11387	0.13108	
14		0.00585	0.00917	0.01340	0.01862	0.02489	0.03226	0.04080	0.05055	0.06157	0.07390	0.08759	0.10268	0.11922	0.13725	
15		0.00611	0.00957	0.01399	0.01943	0.02597	0.03367	0.04258	0.05276	0.06426	0.07713	0.09142	0.10717	0.12443	0.14325	0.16365
16			0.00996	0.01456	0.02023	0.02704	0.03505	0.04432	0.05492	0.06688	0.08028	0.09515	0.11155	0.12951	0.14910	0.17034
17			0.01034	0.01511	0.02100	0.02807	0.03639	0.04602	0.05702	0.06945	0.08336	0.09880	0.11582	0.13448	0.15481	0.17686
18				0.01566	0.02176	0.02908	0.03770	0.04768	0.05908	0.07195	0.08636	0.10236	0.12000	0.13933	0.16040	0.18325
19				0.01619	0.02250	0.03008	0.03899	0.04931	0.06109	0.07441	0.08931	0.10585	0.12409	0.14408	0.16586	0.18949
20					0.02323	0.03105	0.04025	0.05090	0.06307	0.07681	0.09220	0.10927	0.12810	0.14874	0.17123	0.19562
21					0.02394	0.03200	0.04148	0.05246	0.06500	0.07917	0.09503	0.11263	0.13204	0.15331	0.17649	0.20163
22					0.02464	0.03294	0.04270	0.05400	0.06691	0.08149	0.09781	0.11593	0.13590	0.15779	0.18165	0.20753
23							0.04389	0.05551	0.06878	0.08377	0.10054	0.11917	0.13970	0.16220	0.18673	0.21333
24							0.04507	0.05699	0.07062	0.08601	0.10323	0.12236	0.14344	0.16654	0.19172	0.21904
25							0.04622	0.05845	0.07243	0.08821	0.10588	0.12549	0.14712	0.17081	0.19664	0.22465
26								0.05989	0.07421	0.09038	0.10849	0.12858	0.15074	0.17502	0.20148	0.23018
27								0.06131	0.07597	0.09252	0.11106	0.13163	0.15431	0.17916	0.20625	0.23564
28									0.07770	0.09464	0.11359	0.13463	0.15783	0.18325	0.21096	0.24101
29									0.07941	0.09672	0.11609	0.13759	0.16130	0.18728	0.21560	0.24631
30									0.08110	0.09877	0.11855	0.14052	0.16473	0.19126	0.22018	0.25155

**EK 2'nin devamı. Sisorta yöresi Sarıçam için Regresyon Analizi ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)														
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
10	0.14441	0.16285	0.18262	0.20376	0.22628	0.25022	0.27560	0.30245	0.33079	0.36066					
11	0.15320	0.17277	0.19374	0.21616	0.24006	0.26545	0.29238	0.32086	0.35094	0.38262					
12	0.16170	0.18235	0.20449	0.22815	0.25337	0.28017	0.30859	0.33865	0.37039	0.40384	0.43901	0.47594			
13	0.16993	0.19163	0.21489	0.23976	0.26626	0.29443	0.32430	0.35589	0.38924	0.42439	0.46135	0.50016	0.54085		
14	0.17792	0.20064	0.22500	0.25104	0.27879	0.30828	0.33955	0.37263	0.40755	0.44435	0.48305	0.52369	0.56629	0.61088	
15	0.18570	0.20941	0.23484	0.26201	0.29097	0.32175	0.35439	0.38892	0.42537	0.46377	0.50417	0.54658	0.59104	0.63759	
16	0.19328	0.21796	0.24443	0.27271	0.30286	0.33489	0.36886	0.40480	0.44274	0.48271	0.52476	0.56890	0.61518	0.66363	0.71427
17	0.20068	0.22631	0.25379	0.28316	0.31446	0.34773	0.38300	0.42031	0.45970	0.50121	0.54486	0.59070	0.63875	0.68905	0.74163
18	0.20793	0.23448	0.26295	0.29338	0.32581	0.36027	0.39682	0.43548	0.47629	0.51929	0.56452	0.61201	0.66180	0.71392	0.76839
19	0.21502	0.24248	0.27192	0.30338	0.33692	0.37256	0.41035	0.45033	0.49253	0.53700	0.58377	0.63288	0.68437	0.73826	0.79460
20	0.22197	0.25031	0.28071	0.31319	0.34781	0.38460	0.42361	0.46488	0.50845	0.55436	0.60264	0.65334	0.70649	0.76212	0.82028
21	0.22878	0.25800	0.28933	0.32281	0.35849	0.39642	0.43663	0.47916	0.52407	0.57139	0.62116	0.67341	0.72819	0.78554	0.84548
22	0.23548	0.26555	0.29780	0.33226	0.36898	0.40802	0.44941	0.49319	0.53941	0.58812	0.63934	0.69312	0.74951	0.80853	0.87023
23	0.24206	0.27298	0.30612	0.34155	0.37930	0.41942	0.46197	0.50698	0.55449	0.60455	0.65721	0.71250	0.77046	0.83113	0.89455
24	0.24854	0.28028	0.31431	0.35068	0.38944	0.43064	0.47432	0.52054	0.56932	0.62072	0.67479	0.73155	0.79106	0.85336	0.91848
25	0.25491	0.28746	0.32237	0.35967	0.39943	0.44168	0.48649	0.53388	0.58392	0.63664	0.69209	0.75031	0.81135	0.87524	0.94203
26	0.26119	0.29454	0.33031	0.36853	0.40926	0.45256	0.49846	0.54703	0.59830	0.65231	0.70913	0.76878	0.83132	0.89679	0.96522
27	0.26737	0.30152	0.33813	0.37726	0.41896	0.46328	0.51027	0.55998	0.61246	0.66776	0.72592	0.78699	0.85101	0.91803	0.98808
28	0.27347	0.30840	0.34584	0.38586	0.42851	0.47384	0.52191	0.57276	0.62643	0.68299	0.74248	0.80494	0.87042	0.93897	1.01062
29	0.27949	0.31518	0.35345	0.39435	0.43794	0.48427	0.53339	0.58536	0.64022	0.69802	0.75882	0.82265	0.88957	0.95963	1.03285
30	0.28543	0.32188	0.36096	0.40273	0.44724	0.49456	0.54472	0.59779	0.65382	0.71285	0.77494	0.84013	0.90847	0.98002	1.05480

**EK 2'nin devamı. Sisorta yöresi Sarıçam için Regresyon Analizi ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)														
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
13	0.67444	0.72291	0.77338	0.82590	0.88047	0.93713	0.99590	1.05681	1.11988	1.18513	1.25258	1.32227	1.39421	1.46842	1.54493
14	0.70616	0.75691	0.80976	0.86474	0.92188	0.98121	1.04274	1.10651	1.17255	1.24087	1.31150	1.38446	1.45978	1.53749	1.61760
15	0.73704	0.79000	0.84516	0.90254	0.96218	1.02410	1.08833	1.15489	1.22381	1.29511	1.36883	1.44498	1.52360	1.60470	1.68831
16	0.76713	0.82226	0.87967	0.93940	1.00148	1.06592	1.13277	1.20205	1.27378	1.34800	1.42473	1.50399	1.58582	1.67023	1.75726
17	0.79653	0.85376	0.91338	0.97539	1.03985	1.10676	1.17617	1.24810	1.32259	1.39965	1.47932	1.56162	1.64658	1.73422	1.82459
18	0.82527	0.88457	0.94634	1.01059	1.07737	1.14670	1.21861	1.29314	1.37031	1.45015	1.53270	1.61797	1.70599	1.79680	1.89042
19	0.85341	0.91474	0.97860	1.04505	1.11411	1.18580	1.26017	1.33724	1.41704	1.49960	1.58496	1.67314	1.76417	1.85807	1.95489
20	0.88099	0.94430	1.01024	1.07883	1.15012	1.22413	1.30090	1.38046	1.46284	1.54808	1.63619	1.72722	1.82119	1.91813	2.01807
21	0.90806	0.97331	1.04127	1.11197	1.18545	1.26174	1.34087	1.42287	1.50778	1.59563	1.68646	1.78028	1.87714	1.97706	2.08007
22	0.93464	1.00180	1.07175	1.14452	1.22015	1.29867	1.38011	1.46452	1.55192	1.64234	1.73582	1.83239	1.93208	2.03493	2.14096
23	0.96076	1.02980	1.10171	1.17651	1.25425	1.33497	1.41869	1.50545	1.59529	1.68825	1.78434	1.88361	1.98609	2.09181	2.20080
24	0.98646	1.05735	1.13117	1.20798	1.28780	1.37067	1.45663	1.54572	1.63796	1.73340	1.83206	1.93399	2.03921	2.14776	2.25966
25	1.01175	1.08446	1.16018	1.23895	1.32082	1.40582	1.49398	1.58535	1.67996	1.77784	1.87904	1.98358	2.09149	2.20282	2.31760
26	1.03667	1.11116	1.18874	1.26946	1.35334	1.44043	1.53077	1.62439	1.72132	1.82162	1.92530	2.03242	2.14299	2.25706	2.37467
27	1.06122	1.13747	1.21690	1.29952	1.38539	1.47454	1.56702	1.66286	1.76209	1.86476	1.97090	2.08055	2.19374	2.31051	2.43090
28	1.08542	1.16342	1.24465	1.32916	1.41699	1.50818	1.60276	1.70079	1.80228	1.90729	2.01586	2.12801	2.24378	2.36322	2.48635
29	1.10930	1.18902	1.27204	1.35841	1.44817	1.54136	1.63803	1.73821	1.84194	1.94926	2.06021	2.17483	2.29315	2.41521	2.54106
30	1.13287	1.21428	1.29907	1.38727	1.47894	1.57411	1.67283	1.77514	1.88107	1.99067	2.10398	2.22104	2.34187	2.46653	2.59505

**EK 2'nin devamı. Sisorta yöresi Sarıçam için Regresyon Analizi ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)										
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
16	1.84692	1.93925	2.03427	2.13199	2.23246	2.33568	2.44169	2.55050	2.66214	2.77664	2.89401
17	1.91769	2.01355	2.11221	2.21368	2.31799	2.42517	2.53524	2.64822	2.76414	2.88302	3.00489
18	1.98688	2.08621	2.18842	2.29356	2.40163	2.51268	2.62672	2.74378	2.86388	2.98705	3.11332
19	2.05464	2.15735	2.26305	2.37177	2.48353	2.59836	2.71629	2.83734	2.96154	3.08891	3.21948
20	2.12105	2.22708	2.33620	2.44843	2.56380	2.68235	2.80409	2.92905	3.05726	3.18875	3.32354
21	2.18621	2.29550	2.40797	2.52365	2.64257	2.76475	2.89023	3.01903	3.15119	3.28671	3.42565
22	2.25020	2.36269	2.47845	2.59752	2.71992	2.84568	2.97483	3.10740	3.24342	3.38292	3.52592
23	2.31310	2.42873	2.54773	2.67012	2.79594	2.92522	3.05798	3.19426	3.33408	3.47748	3.62447
24	2.37496	2.49369	2.61587	2.74154	2.87072	3.00346	3.13977	3.27970	3.42326	3.57049	3.72141
25	2.43586	2.55763	2.68294	2.81183	2.94433	3.08047	3.22028	3.36379	3.51103	3.66203	3.81683
26	2.49583	2.62060	2.74900	2.88106	3.01683	3.15632	3.29957	3.44661	3.59748	3.75220	3.91081
27	2.55494	2.68266	2.81410	2.94929	3.08827	3.23106	3.37771	3.52823	3.68267	3.84106	4.00343
28	2.61322	2.74386	2.87829	3.01657	3.15871	3.30477	3.45475	3.60871	3.76668	3.92868	4.09475
29	2.67072	2.80423	2.94162	3.08294	3.22821	3.37748	3.53076	3.68811	3.84955	4.01511	4.18484
30	2.72746	2.86381	3.00412	3.14844	3.29680	3.44924	3.60578	3.76648	3.93134	4.10043	4.27375

**EK 3. Sisorta yöresi Sarıçam için MARS ile geliştirilen tek girişli ağaç hacim Tablosu**

<b>Göğüs Çapı (cm)</b>	<b>Kabuklu Gövde Hacmi (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Göğüs Çapı (cm)</b>	<b>Kabuklu Gövde Hacmi (m<sup>3</sup>)</b>
4	0.02828	33	0.77609
5	0.04137	34	0.83873
6	0.05445	35	0.90137
7	0.06753	36	0.96401
8	0.08062	37	1.02665
9	0.09370	38	1.08929
10	0.10678	39	1.20463
11	0.11987	40	1.31997
12	0.13295	41	1.43531
13	0.14603	42	1.55066
14	0.15912	43	1.66600
15	0.17220	44	1.78134
16	0.18528	45	1.89669
17	0.19836	46	2.01203
18	0.21145	47	2.12737
19	0.22453	48	2.24271
20	0.23761	49	2.35806
21	0.25070	50	2.47340
22	0.26378	51	2.58874
23	0.27686	52	2.70408
24	0.32361	53	2.81943
25	0.37035	54	2.93477
26	0.41709	55	3.05011
27	0.46384	56	3.16545
28	0.51058	57	3.28080
29	0.55733	58	3.39614
30	0.60407	59	3.51148
31	0.65081	60	3.62682
32	0.71345		

**EK 4. Sisorta yöresi Sarıçam için MARS ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
4	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718									
5	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718									
6	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718	0.08542								
7	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718	0.08542	0.09366							
8	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718	0.08542	0.09366	0.10189						
9	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718	0.08542	0.09366	0.10189	0.11013	0.11836				
10	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718	0.08542	0.09366	0.10189	0.11013	0.11836				
11	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718	0.08542	0.09366	0.10189	0.11013	0.11836	0.12660			
12	0.02777	0.03600	0.04424	0.05248	0.06071	0.06895	0.07718	0.08542	0.09366	0.10189	0.11013	0.11836	0.12660	0.13484		
13	0.05416	0.06240	0.07063	0.07887	0.08711	0.09534	0.10358	0.11181	0.12005	0.12829	0.13652	0.14476	0.15299	0.16123	0.16946	
14		0.09113	0.09937	0.10760	0.11584	0.12408	0.13231	0.14055	0.14878	0.15702	0.16526	0.17349	0.18173	0.18996	0.19820	
15		0.11987	0.12810	0.13634	0.14458	0.15281	0.16105	0.16928	0.17752	0.18576	0.19399	0.20223	0.21046	0.21870	0.22694	0.23517
16			0.15684	0.16507	0.17331	0.18155	0.18978	0.19802	0.20625	0.21449	0.22273	0.23096	0.23920	0.24743	0.25567	0.26391
17			0.18557	0.19381	0.20205	0.21028	0.21852	0.22675	0.23499	0.24323	0.25146	0.25970	0.26793	0.27617	0.28441	0.29264
18				0.22255	0.23078	0.23902	0.24725	0.25549	0.26373	0.27196	0.28020	0.28843	0.29667	0.30491	0.31314	0.32138
19				0.25128	0.25952	0.26775	0.27599	0.28422	0.29246	0.30070	0.30893	0.31717	0.32540	0.33364	0.34188	0.35011
20					0.28825	0.29649	0.30472	0.31296	0.32120	0.32943	0.33767	0.34590	0.35414	0.36238	0.37061	0.37885
21					0.31699	0.32522	0.33346	0.34170	0.34993	0.35817	0.36640	0.37464	0.38288	0.39111	0.39935	0.40758
22					0.34572	0.35396	0.36219	0.37043	0.37867	0.38690	0.39514	0.40337	0.41161	0.41985	0.42808	0.43632
23							0.39093	0.39917	0.40740	0.41564	0.42387	0.43211	0.44035	0.44858	0.45682	0.46505
24							0.41966	0.42790	0.43614	0.44437	0.45261	0.46084	0.46908	0.47732	0.48555	0.49379
25							0.44840	0.45664	0.46487	0.47311	0.48134	0.48958	0.49782	0.50605	0.51429	0.52252
26								0.48537	0.49361	0.50184	0.51008	0.51832	0.52655	0.53479	0.54302	0.55126
27								0.51411	0.52234	0.53058	0.53881	0.54705	0.55529	0.56352	0.57176	0.57999
28									0.55108	0.55931	0.56755	0.57579	0.58402	0.59226	0.60049	0.60873
29									0.57981	0.58805	0.59629	0.60452	0.61276	0.62099	0.62923	0.63747
30									0.60855	0.61678	0.62502	0.63326	0.64149	0.64973	0.65796	0.66620

**EK 4'ün devamı. Sisorta yöresi Sarıçam için MARS ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)														
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
10	0.18043	0.20956	0.23868	0.26781	0.29693	0.32606	0.35518	0.38431	0.41343	0.44256					
11	0.18043	0.20956	0.23868	0.26781	0.29693	0.32606	0.35518	0.38431	0.41343	0.44256					
12	0.18043	0.20956	0.23868	0.26781	0.29693	0.32606	0.35518	0.38431	0.41343	0.44256	0.47168	0.50081			
13	0.20683	0.23595	0.26508	0.29420	0.32333	0.35245	0.38158	0.41070	0.43982	0.46895	0.49807	0.52720	0.55632		
14	0.23556	0.26469	0.29381	0.32294	0.35206	0.38119	0.41031	0.43944	0.46856	0.49769	0.52681	0.55593	0.58506	0.65572	
15	0.26430	0.29342	0.32255	0.35167	0.38080	0.40992	0.43905	0.46817	0.49730	0.52642	0.55555	0.58467	0.61379	0.68446	
16	0.29303	0.32216	0.35128	0.38041	0.40953	0.43866	0.46778	0.49691	0.52603	0.55516	0.58428	0.61341	0.64253	0.71319	0.78385
17	0.32177	0.35089	0.38002	0.40914	0.43827	0.46739	0.49652	0.52564	0.55477	0.58389	0.61302	0.64214	0.67127	0.74193	0.81259
18	0.35050	0.37963	0.40875	0.43788	0.46700	0.49613	0.52525	0.55438	0.58350	0.61263	0.64175	0.67088	0.70000	0.77066	0.84132
19	0.37924	0.40836	0.43749	0.46661	0.49574	0.52486	0.55399	0.58311	0.61224	0.64136	0.67049	0.69961	0.72874	0.79940	0.87006
20	0.40797	0.43710	0.46622	0.49535	0.52447	0.55360	0.58272	0.61185	0.64097	0.67010	0.69922	0.72835	0.75747	0.82813	0.89880
21	0.43671	0.46583	0.49496	0.52408	0.55321	0.58233	0.61146	0.64058	0.66971	0.69883	0.72796	0.75708	0.78621	0.85687	0.92753
22	0.46544	0.49457	0.52369	0.55282	0.58194	0.61107	0.64019	0.66932	0.69844	0.72757	0.75669	0.78582	0.81494	0.88560	0.95627
23	0.49418	0.52330	0.55243	0.58155	0.61068	0.63980	0.66893	0.69805	0.72718	0.75630	0.78543	0.81455	0.84368	0.91434	0.98500
24	0.52291	0.55204	0.58116	0.61029	0.63941	0.66854	0.69766	0.72679	0.75591	0.78504	0.81416	0.84329	0.87241	0.94307	1.01374
25	0.55165	0.58077	0.60990	0.63902	0.66815	0.69727	0.72640	0.75552	0.78465	0.81377	0.84290	0.87202	0.90115	0.97181	1.04247
26	0.58038	0.60951	0.63863	0.66776	0.69688	0.72601	0.75513	0.78426	0.81338	0.84251	0.87163	0.90076	0.92988	1.00054	1.07121
27	0.60912	0.63824	0.66737	0.69649	0.72562	0.75474	0.78387	0.81299	0.84212	0.87124	0.90037	0.92949	0.95862	1.02928	1.09994
28	0.63785	0.66698	0.69610	0.72523	0.75435	0.78348	0.81260	0.84173	0.87085	0.89998	0.92910	0.95823	0.98735	1.05802	1.12868
29	0.66659	0.69571	0.72484	0.75396	0.78309	0.81221	0.84134	0.87046	0.89959	0.92871	0.95784	0.98696	1.01609	1.08675	1.15741
30	0.69533	0.72445	0.75357	0.78270	0.81182	0.84095	0.87007	0.89920	0.92832	0.95745	0.98657	1.01570	1.04482	1.11549	1.18615

**EK 4'ün devamı. Sisorta yöresi Sarıçam için MARS ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)														
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
13	0.76831	0.83897	0.90963	0.98030	1.05096	1.12162	1.19228	1.26294	1.37637	1.48979	1.60321	1.71663	1.83005	1.94347	2.05690
14	0.79705	0.86771	0.93837	1.00903	1.07969	1.15036	1.22102	1.29168	1.40510	1.51852	1.63194	1.74537	1.85879	1.97221	2.08563
15	0.82578	0.89644	0.96710	1.03777	1.10843	1.17909	1.24975	1.32041	1.43384	1.54726	1.66068	1.77410	1.88752	2.00095	2.11437
16	0.85452	0.92518	0.99584	1.06650	1.13716	1.20783	1.27849	1.34915	1.46257	1.57599	1.68942	1.80284	1.91626	2.02968	2.14310
17	0.88325	0.95391	1.02458	1.09524	1.16590	1.23656	1.30722	1.37788	1.49131	1.60473	1.71815	1.83157	1.94499	2.05842	2.17184
18	0.91199	0.98265	1.05331	1.12397	1.19463	1.26530	1.33596	1.40662	1.52004	1.63346	1.74689	1.86031	1.97373	2.08715	2.20057
19	0.94072	1.01138	1.08205	1.15271	1.22337	1.29403	1.36469	1.43536	1.54878	1.66220	1.77562	1.88904	2.00246	2.11589	2.22931
20	0.96946	1.04012	1.11078	1.18144	1.25210	1.32277	1.39343	1.46409	1.57751	1.69093	1.80436	1.91778	2.03120	2.14462	2.25804
21	0.99819	1.06885	1.13952	1.21018	1.28084	1.35150	1.42216	1.49283	1.60625	1.71967	1.83309	1.94651	2.05994	2.17336	2.28678
22	1.02693	1.09759	1.16825	1.23891	1.30958	1.38024	1.45090	1.52156	1.63498	1.74840	1.86183	1.97525	2.08867	2.20209	2.31551
23	1.05566	1.12632	1.19699	1.26765	1.33831	1.40897	1.47963	1.55030	1.66372	1.77714	1.89056	2.00398	2.11741	2.23083	2.34425
24	1.08440	1.15506	1.22572	1.29638	1.36705	1.43771	1.50837	1.57903	1.69245	1.80588	1.91930	2.03272	2.14614	2.25956	2.37298
25	1.11313	1.18380	1.25446	1.32512	1.39578	1.46644	1.53711	1.60777	1.72119	1.83461	1.94803	2.06145	2.17488	2.28830	2.40172
26	1.14187	1.21253	1.28319	1.35385	1.42452	1.49518	1.56584	1.63650	1.74992	1.86335	1.97677	2.09019	2.20361	2.31703	2.43045
27	1.17060	1.24127	1.31193	1.38259	1.45325	1.52391	1.59458	1.66524	1.77866	1.89208	2.00550	2.11892	2.23235	2.34577	2.45919
28	1.19934	1.27000	1.34066	1.41133	1.48199	1.55265	1.62331	1.69397	1.80739	1.92082	2.03424	2.14766	2.26108	2.37450	2.48793
29	1.22807	1.29874	1.36940	1.44006	1.51072	1.58138	1.65205	1.72271	1.83613	1.94955	2.06297	2.17640	2.28982	2.40324	2.51666
30	1.25681	1.32747	1.39813	1.46880	1.53946	1.61012	1.68078	1.75144	1.86487	1.97829	2.09171	2.20513	2.31855	2.43197	2.54540

**EK 4'ün devamı. Sisorta yöresi Sarıçam için MARS ile geliştirilen çift girişli ağaç hacim tablosu**

Ağaç Boyları (m)	Ağaç Çapları (cm)										
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
16	2.25652	2.36995	2.48337	2.59679	2.71021	2.82363	2.93705	3.05048	3.16390	3.27732	3.39074
17	2.28526	2.39868	2.51210	2.62552	2.73895	2.85237	2.96579	3.07921	3.19263	3.30606	3.41948
18	2.31399	2.42742	2.54084	2.65426	2.76768	2.88110	2.99453	3.10795	3.22137	3.33479	3.44821
19	2.34273	2.45615	2.56957	2.68300	2.79642	2.90984	3.02326	3.13668	3.25010	3.36353	3.47695
20	2.37147	2.48489	2.59831	2.71173	2.82515	2.93857	3.05200	3.16542	3.27884	3.39226	3.50568
21	2.40020	2.51362	2.62704	2.74047	2.85389	2.96731	3.08073	3.19415	3.30757	3.42100	3.53442
22	2.42894	2.54236	2.65578	2.76920	2.88262	2.99604	3.10947	3.22289	3.33631	3.44973	3.56315
23	2.45767	2.57109	2.68451	2.79794	2.91136	3.02478	3.13820	3.25162	3.36505	3.47847	3.59189
24	2.48641	2.59983	2.71325	2.82667	2.94009	3.05352	3.16694	3.28036	3.39378	3.50720	3.62062
25	2.51514	2.62856	2.74199	2.85541	2.96883	3.08225	3.19567	3.30909	3.42252	3.53594	3.64936
26	2.54388	2.65730	2.77072	2.88414	2.99756	3.11099	3.22441	3.33783	3.45125	3.56467	3.67809
27	2.57261	2.68603	2.79946	2.91288	3.02630	3.13972	3.25314	3.36656	3.47999	3.59341	3.70683
28	2.60135	2.71477	2.82819	2.94161	3.05503	3.16846	3.28188	3.39530	3.50872	3.62214	3.73557
29	2.63008	2.74350	2.85693	2.97035	3.08377	3.19719	3.31061	3.42404	3.53746	3.65088	3.76430
30	2.65882	2.77224	2.88566	2.99908	3.11250	3.22593	3.33935	3.45277	3.56619	3.67961	3.79304

