

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MEŞCERE HACİM ARTIMININ TAHMİNİNE YÖNELİK
ÖRNEK AĞAÇ SEÇİM ÖLÇÜTLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Niyazi ÖZÇANKAYA

**Danışman
Prof. Dr. Serdar CARUS**

ISPARTA - 2019



© 2019 [Niyazi ÖZÇANKAYA]

TEZ ONAYI

MEŞCERE HACİM ARTIMININ TAHMİNİNE YÖNELİK ÖRNEK AĞAÇ SEÇİM ÖLÇÜTLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Niyazi ÖZÇANKAYA tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

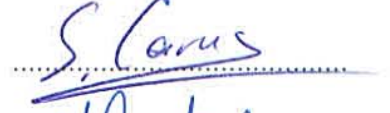
Başkan

Prof. Dr. Atila GÜL
Süleyman Demirel Üniversitesi

İmza


Üye

Prof. Dr. Serdar CARUS
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Üye

Prof. Dr. Yılmaz ÇATAL
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / tarih ve / sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Yusuf UÇAR
Enstitü Müdürü

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



02/07/2019

Niyazi ÖZÇANKAYA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Kızılçam (<i>Pinus brutia</i> Ten.) Ağaç Türüne Ait Kaynak Özetleri.....	5
2.2. Meşcerede Çap Artımı ve Hacim Artım Tahminine Ait Kaynak Özetleri.....	7
2.3. Orman Envanter Yöntemlerine Ait Kaynak Özetleri.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Kızılçam ağaç türüne ait genel bilgiler	13
3.1.1.1. Botanik özellikleri ve doğal yayılışı	14
3.1.1.2. Ekolojik özellikleri.....	15
3.1.1.3. Silvikültürel özellikleri	16
3.1.1.4. Teknolojik özellikleri ve odunun kullanım yerleri.....	17
3.1.2. Çalışma alanına ait özellikler	18
3.2. Yöntem.....	19
3.2.1. Örnek alanlarda aranan özellikler	19
3.2.2. Örnek alanların şekli, büyüklüğü ve sayısı	21
3.2.3. Örnek alanlarda yapılan ölçü ve tespitler.....	21
3.2.3.1. Ağaçların numaralandırılması ve konumlandırılması.....	22
3.2.3.2. Semt açısının ölçülmesi	22
3.2.3.3. Örnek alan merkezine olan mesafenin ölçülmesi.....	22
3.2.3.4. Göğüs çapının ölçülmesi	23
3.2.3.5. Ağaç boyunun ölçülmesi.....	23
3.2.3.6. Çift kabuk kalınlığının ölçülmesi.....	23
3.2.3.7. Ağaç yaşının ölçülmesi	24
3.2.3.8. Göğüs yüksekliğinde son 10 yıllık halka kalınlığının ölçülmesi	24
3.2.3.9. Diğer ölçüm ve tespitler	25
3.2.3.10. Ölçümlerin kayıt, düzenleme ve kontrol işlemleri.....	25
3.2.4. Örnek alanlarda yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi	26
3.2.4.1. Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapının belirlenmesi	26
3.2.4.2. Periyot ortası kabuksuz göğüs çapının belirlenmesi	27
3.2.4.3. Periyodik ortalama kabuksuz çap artımının belirlenmesi	27
3.2.4.4. Meşcere yaşının belirlenmesi.....	27
3.2.4.5. Meşcere üst boyunun belirlenmesi	28
3.2.4.6. Meşcere bonitet endeksinin belirlenmesi	28
3.2.4.7. Hektara çevirme katsayısının belirlenmesi	28
3.2.4.8. Meşcere göğüs yüzeyinin belirlenmesi	29
3.2.4.9. Tek ağaç hacimlerinin belirlenmesi	29
3.2.4.10. Konu ile ilgili bazı orta ağaçların belirlenmesi	30
3.2.4.10.1. Göğüs yüzeyi orta ağacının belirlenmesi	30
3.2.4.10.2. Weise orta ağacının belirlenmesi	30

3.2.4.10.3. Aritmetik orta ağacının belirlenmesi.....	30
3.2.4.11. Çap sınıfları ve çap basamaklarının belirlenmesi	31
3.2.4.12. Meşcere rölatif sıklık derecesinin belirlenmesi.....	31
3.2.5. Meyer'in interpolasyon yöntemi ve değişkenlerinin modellenmesi	32
3.2.5.1. Büyüme ve artım	32
3.2.5.2. Meyer'in interpolasyon yöntemi	34
3.2.5.3. Değişkenlerin modellenmesi	40
3.2.5.3.1. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkisi	40
3.2.5.3.2. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu ilişkisi	41
3.2.5.3.3. Tek girişli yıllık çap artımı	42
3.2.5.3.4. Dört girişli yıllık çap artımı.....	43
3.2.6. Örnek ağaç seçim yöntemleri	47
3.2.6.1. Orman envanteri ve örnekleme yöntemleri.....	47
3.2.6.2. Seçim yöntemlerinin kurgulanması.....	49
3.2.7. Verilerin değerlendirilmesi ve istatistik analizler	52
3.2.7.1. Model seçimleri için kullanılan başarı ölçüt setleri ve puanlama yöntemi.....	52
3.2.7.2. Seçim yöntemleri için kullanılan başarı ölçüt setleri ve puanlama yöntemi.....	54
3.2.8. Optimizasyon	56
3.2.8.1. İstatistiksel normalizasyon	56
3.2.8.2. Çok amaçlı optimizasyon yöntemleri	57
3.2.8.3. Pareto optimal ve baskınlık kavramı	58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	62
4.1. İstatistik Modeller	64
4.1.1. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ($K_I K_s$) modelleri.....	65
4.1.2. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu (ÇB) modelleri.....	69
4.1.3. Tek girişli yıllık kabuklu çap artımı (1GPÇA) modelleri	74
4.1.4. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı (4GPÇA) modelleri	79
4.1.5. İstatistik modellerin genel değerlendirilmesi	85
4.2. Seçim Yöntemleri.....	87
4.2.1. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkisi	87
4.2.2. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu ilişkisi	89
4.2.3. Tek girişli yıllık kabuklu çap artımı ilişkisi	91
4.2.4. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı ilişkisi	93
4.2.5. Seçim yöntemlerinin genel değerlendirilmesi.....	95
4.3. Seçim Yöntemlerine Ait Faktör ve Hacim Artım Tablolarının Oluşturulması	96
4.3.1. Artış faktörü	96
4.3.2. Kabuk faktörü.....	98
4.3.3. Tek girişli hacim artımı	99
4.4. Meşcere Hacim Artımı Tahmin Değişkenlerinin Optimizasyonu	101
4.4.1. Seçim yöntemleri başarılarının tümleşik değerlendirilmesi.....	101
4.4.2. Önerilen seçim yöntemleri ve tartışılması.....	103
4.4.2.1. Kabuk faktörü için “ $IS_{as}-K_I K_s$ ” optimizasyonu	103
4.4.2.2. Artış faktörü için “ $IS_{as}-ÇB$ ” optimizasyonu	105
4.4.2.3. Çap artımı faktörü için “ $IS_{as}-1GPÇA$ ” optimizasyonu.....	107
4.4.2.4. Çap artımı faktörü için “ $IS_{as}-4GPÇA$ ” optimizasyonu.....	109
4.4.2.5. “ $ÇB-1GPÇA$ ” optimizasyonu.....	111
4.4.2.6. “ $ÇB-4GPÇA$ ” optimizasyonu.....	112

4.4.2.7. “İS _{as} –ÇB–1GPÇA” optimizasyonu	113
4.4.2.8. “İS _{as} –ÇB–4GPÇA” optimizasyonu	114
4.4.3. Sonuçların değerlendirilmesi ve öneriler	115
4.5. Karşılaştırmalar	116
4.5.1. Seçim yöntemlerine ait tek girişli hacim artımı tahmin değerlerinin karşılaştırılması	116
4.5.2. Uygun seçim yöntemleri ile tek ve dört girişli hacim artımı tahmin değerlerinin karşılaştırılması	119
4.5.3. Hacim artımında uygun seçim yöntemi tahmininin amenajman planı değerleri ile karşılaştırılması	121
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	131
EKLER	136
Ek A. Çizelgeler	137
Ek B. Şekiller	150
ÖZGEÇMİŞ	155

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MEŞCERE HACİM ARTIMININ TAHMİNİNE YÖNELİK ÖRNEK AĞAÇ SEÇİM ÖLÇÜTLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Niyazi ÖZÇANKAYA

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serdar CARUS

Bu çalışmada, meşcerenin hacim artımı tahminine yönelik örnek ağaç seçim yöntemleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla; örnek alan içerisinde örnek ağaçların nasıl seçileceğine ilişkin 54 adet seçim yöntemi kurgulanmıştır. Çalışma alanı içerisinde, ilgili değişken varyasyonlarını temsil edebilecek özelliklerde 47 örnek alanda, toplam 1408 kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağacında ölçüm yapılmıştır. Hacim artımı tayini için Meyer'in enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin gerektirdiği artım ve çap artımı faktörü çarpanlarının modellenmesi amacıyla toplam 48 adet modelle 2592 (54x48) adet regresyon analizi yapılmıştır. Bu çarpanlar kapsamında ağaç boyu-göğüs çapı, kabuksuz çap-kabuklu göğüs çapı, periyodik kabuklu çap artımı- periyot ortası kabuklu göğüs çapı ilişkilerini açıklayan denklemler üretilmiştir. Ayrıca periyodik kabuklu çap artımını göğüs çapı, meşcere yaşı, bonitet endeksi ve sıklık derecesi değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak açıklayan dört girişli çap artımı modelleri de test edilmiştir. En başarılı modeller başarı ölçüt setleri ve bağıl puanlama yöntemiyle değerlendirilerek seçilmişlerdir. Seçim yöntemleri, en başarılı bu modeller ile regresyon analizi için kullanılmayan tüm diğer ağaçlar üzerinde test edilmişlerdir. Böylece her seçim yöntemi, ilişkilerin açıklanmasındaki başarıları ile değerlendirilmiş ve toplam başarı puanları ile sıralanmıştır. Seçim yöntemlerine ilişkin maliyet değeri de yöntemde kullanılan ağaç sayısı ile değerlendirilmiştir. Seçim yöntemleri her ilişkiyi aynı başarı derecesi ile açıklayamamaktadır. Bu nedenle, tümleşik bir değerlendirme yapılmış, Pareto optimal yöntem ile çok amaçlı optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, seçim yöntemlerinin ilişkileri açıklamadaki başarı düzeyleri ve hacim artımı tahminini hangi yönde etkiledikleri belirlenmiştir. Karar verici için basit bir algoritma ile de ihtiyaçları doğrultusunda kullanabileceği çözüm kümeleri ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Meyer'in enterpolasyon yöntemi, Artış faktörü, Çap artımı, Pareto optimal, Optimizasyon, Orman envanteri

2019, 155 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DEVELOPING SAMPLE TREE SELECTION CRITERIA FOR ESTIMATION OF STAND VOLUME INCREMENT

Niyazi ÖZÇANKAYA

Isparta University of Applied Sciences
The Institute Graduate Education
Department of Forest Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Serdar CARUS

In this study, sample tree selection methods for estimating the stand volume increment were evaluated. For this purpose; 54 choosing methods were fictionalized for selection of sample trees within the sample plot. In the study area, a total of 1408 brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) trees were measured in 47 sample plots which were represent the variations of relevant variable. Meyer's Interpolation Method was used to determine the volume increment. In order to model increment and diameter growth factors as a multiplier in the method, 2592 (54x48) regression analysis were performed with 48 models. Within the scope of these factors, equations that explain the relationships between tree height- diameter of breast height (dbh), diameter outside bark, diameter inside bark, periodic growth diameter inside bark, mid period diameter inside bark were produced. In addition, diameter growth models with four variables that describe the periodic growth diameter inside bark as a function of the variables of dbh, age of stand, site index and density were tested. The most successful models were chosen which evaluated the success criteria sets and relative scoring method. The choosing methods were tested on these most successful models and also on all other trees that were not used in regression analysis. Thus, each choosing method was evaluated with its success in explaining the relationships and ranked by total success points. The cost value of the selection methods was evaluated in accordance with the number of trees used in the method. However, choosing methods do not explain each relationship with the same level of success. For this reason, a combinatorial analysis was performed and multi purpose optimization process was conducted by the Pareto optimal method. As a result, the success levels of the choosing methods in explaining the relationships and the estimation of the volume increment were determined. The solution clusters, which can be used by the simple algorithm according to the requirements, have been presented to decision makers.

Key Words: Meyer's interpolation method, Increment factor, Diameter increment, Pareto optimality, Optimization, Forest inventory

2019, 155 pages

TEŞEKKÜR

Tek ağaç ve toplamı meşcerenin hacim artımı tahminine yönelik örnek ağaç seçim yöntemlerinin geliştirildiği bu çalışma, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans derslerinde ve tez çalışmasının her aşamasında katkısını gördüğüm, bu araştırma için beni yönlendiren değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Serdar CARUS'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans derslerinde, tez çalışmasının modelleme ve değerlendirme aşamalarında yardımcı olan bir diğer değerli hocam Prof. Dr. Yılmaz ÇATAL'a, R programlama dili kodlarına ilişkin yardımlarını esirgemeyen Dokuz Eylül Üniversitesi, İstatistik Bölümü Öğretim Görevlisi Dr. Alper VAHAPLAR'a teşekkür ederim.

Ayrıca arazi çalışmalarında emek veren, Ege Ormancılık Araştırma Enstitü Müdürlüğü çalışanlarından Orman Yüksek Mühendisi Dr. Mustafa BATUR, Ziraat Yüksek Mühendisi Dr. İ. Meltem ÖZÇANKAYA, Orman Yüksek Mühendisi Erdal ÖRTEL ve Jeoloji Mühendisi Nuran ALTUN'a teşekkür ederim.

Niyazi ÖZÇANKAYA
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışma alanının coğrafik konumu	18
Şekil 3.2. Örnek alanların çalışma alanı içerisindeki konumları	20
Şekil 3.3. Örnek alanların şekil ve büyüklükleri	21
Şekil 3.4. Göğüs çapı ölçü işlemi aşamaları	23
Şekil 3.5. Yıllık halkaların sayım ve ölçüm aşamaları	25
Şekil 3.6. Meşcere hacminin büyüme ve artım fonksiyonları genel grafikleri	33
Şekil 3.7. Pareto optimal kavramları ve baskınlık ilişkileri	60
Şekil 4.1. Örnek alanlara ait Weise ağacı göğüs çapı ile rölatif sıklık dereceleri, meşcere yaşları ve bonitet endeksleri değerlerinin dağılımları	62
Şekil 4.2. Örnek alanların alındığı meşcerelerin bazı hacim ve hacim elemanlarına ait özellikleri	63
Şekil 4.3. Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapı değerlerinin dağılımı	65
Şekil 4.4. SY42 için test edilen modellerin örnek hacmi üzerinde gösterimleri...	67
Şekil 4.5. Seçim yöntemleri ile başarılı olmuş kabuksuz çap kestirimi modellerinin dağılımları	69
Şekil 4.6. Kabuklu göğüs çapı ile ağaç boyu değerlerinin dağılımı	70
Şekil 4.7. SY16 için test edilen 1. grup modellerin örnek hacmi üzerinde gösterimleri	72
Şekil 4.8. Seçim yöntemleri ile başarılı olmuş çap-boy modellerinin dağılımları	74
Şekil 4.9. Periyot ortası kabuksuz göğüs çapı ile yıllık kabuksuz çap artımı değerlerinin dağılımları	75
Şekil 4.10. SY48 için test edilen 3. grup modellerin örnek hacmi üzerinde gösterimleri	77
Şekil 4.11. Seçim yöntemleri ile başarılı olmuş tek girişli periyodik göğüs çapı artımı modellerinin dağılımları	79
Şekil 4.12. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için değişkenlerin ilişki matrisi	80
Şekil 4.13. Seçim yöntemleri ile başarılı olmuş dört girişli periyodik göğüs çapı artımı modellerinin dağılımları	85
Şekil 4.14. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-tek girişli DKGH modeli eğrileri	97
Şekil 4.15. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-artış faktörü eğrileri	98
Şekil 4.16. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-kabuk faktörü eğrileri	98
Şekil 4.17. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-periyodik kabuklu çap artımı modeli eğrileri	99
Şekil 4.18. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-periyodik kabuklu hacim artımı eğrileri	100
Şekil 4.19. “ $K_I K_s - \dot{I} S_{as}$ ” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe	104
Şekil 4.20. “ $\dot{C} B - \dot{I} S_{as}$ ” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe	106
Şekil 4.21. “ $1GP\dot{C} A - \dot{I} S_{as}$ ” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe	108
Şekil 4.22. “ $4GP\dot{C} A - \dot{I} S_{as}$ ” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe	110
Şekil 4.23. “ $1GP\dot{C} A - \dot{C} B$ ” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe	112
Şekil 4.24. “ $4GP\dot{C} A - \dot{C} B$ ” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe	113

Şekil 4.25. Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıflarına göre üretilen toplam hacim artımı değerleri.....	118
Şekil 4.26. Tek (SY48) ve dört girişli (SY02) en iyi seçim yöntemleri ile oluşturulmuş periyodik kabuklu çap artımları.....	120
Şekil 4.27. Tek (SY48) ve dört girişli (SY02) en iyi seçim yöntemleri ile oluşturulmuş periyodik kabuklu hacim artımları	120
Şekil 4.28. Gaziemir Orman İşletme Şefliği kızılçam ağaç türü için kullanılan hacim ve hacim artımı tablosunun grafik sunumu.....	122
Şekil B.1. Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıfları için üretilen tek girişli DKGH toplam değerleri	150
Şekil B.2. Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıfları için üretilen artış faktörü toplam değerleri	151
Şekil B.3 Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıfları için üretilen kabuk faktörü değerleri	152
Şekil B.4 Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıfları için üretilen toplam çap artımı değerleri.....	153
Şekil B.5. Örnek alanlardaki çalışmalardan görünümeler	154

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Meyer'in enterpolasyon yöntemi ile hacim artımının belirlenmesi işlemleri.....	37
Çizelge 3.2. Kurgulanan örnek ağaç seçim yöntemleri (SY).....	50
Çizelge 4.1. Örnek alanlar için bazı meşcere elemanlarının tanımsal istatistikleri.....	62
Çizelge 4.2. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı modelleri için başarı ölçütleri tablosu örneği (SY01, SY02, SY03).....	66
Çizelge 4.3. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı modelleri için parametre değerleri tablosu örneği (SY01, SY02, SY03).....	68
Çizelge 4.4. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu modelleri için başarı ölçütleri tablosu örneği (SY01 ve SY02)	71
Çizelge 4.5. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu modelleri için parametre değerleri tablosu örneği (SY01 ve SY02)	73
Çizelge 4.6. Kabuklu göğüs çapı-yıllık kabuklu çap artımı-modelleri için başarı ölçütleri tablosu örneği (SY01 ve SY02).....	76
Çizelge 4.7. Kabuklu göğüs çapı-yıllık kabuklu çap artımı modelleri için parametre değerleri tablosu örneği (SY01 ve SY02)	78
Çizelge 4.8. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için başarı ölçütleri tablosu örneği (SY01)	81
Çizelge 4.9. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için parametre değerleri tablosu örneği (SY01)	82
Çizelge 4.10. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için parametrelerinin p değerleri tablosu örneği (SY01)	84
Çizelge 4.11. Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapı ilişkilerinin açıklanmasında en başarılı ilk 20 seçim yönteminin karşılaştırılması	88
Çizelge 4.12. Kabuklu göğüs çapı ve ağaç boyu ilişkilerinin açıklanmasında en başarılı ilk 20 seçim yönteminin karşılaştırılması.....	90
Çizelge 4.13. Tek girişli göğüs çapı artımı ilişkilerinin açıklanmasında en başarılı ilk 20 seçim yönteminin karşılaştırılması	92
Çizelge 4.14. Dört girişli göğüs çapı artımı ilişkilerinin açıklanmasında en başarılı ilk 20 seçim yönteminin karşılaştırılması	94
Çizelge 4.15. Seçim yöntemlerinin faktörlere göre tümleşik normalleştirilmiş başarı puanları ve başarı sıralamaları.....	101
Çizelge 4.16. “İSas-ÇB-1GPÇA” optimizasyonu için Pareto optimal çözüm kümesi.....	114
Çizelge 4.17. “İSas-ÇB-4GPÇA” optimizasyonu için Pareto optimal çözüm kümesi.....	115
Çizelge 4.18. Gaziemir Orman İşletme Şefliği kızılçam ağaç türü için hacim-artım tablosu ile SY48 ile elde edilen hacim-artım değerlerinin gösterimi	121
Çizelge A.1. Çalışmada kullanılan envanter karnesi	137
Çizelge A.2. Seçim yöntemlerinin kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkilerini açıklaması bakımından karşılaştırılmaları.....	138
Çizelge A.3. Seçim yöntemlerinin ağaç boyu-kabuklu göğüs çapı ilişkilerini açıklanması açısından karşılaştırılmaları	141

Çizelge A.4. Seçim yöntemlerin tek girişli göğüs çapı artımı tahminlerine ilişkin karşılaştırılmaları	144
Çizelge A.5. Seçim yöntemlerinin dört girişli göğüs çapı artımı tahminlerine ilişkin karşılaştırılmaları	147



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

“a” çap sınıfı	Göğüs çapı 0,1-8,0 cm arasında olan ağaçlar
Ac	Cari artım
$A_{\text{ço}}$	Aritmetik çap ortalaması (cm)
AIC	Akaike Information Criterion, Akaike bilgi ölçütü
Ao	Ortalama artım
“b” çap sınıfı	Göğüs çapı 8,0-19,9 cm arasında olan ağaçlar
BE	Bonitet endeksi (m)
BEN	Büyüme endeksi
Bias	Hata toplamının ortalaması
BIC	Bayesian Information Criterion, Bayesci bilgi ölçütü
BP_i	i . seçim yöntemi için başarı puanı
BP_{ij}	i . seçim yöntemi için j . modelin başarı puanı
BS	Bonitet sınıfları, Başarı sırası
“c” çap sınıfı	Göğüs çapı 20,0-35,9 cm arasında olan ağaçlar
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
cm	Santimetre
C_v	Varyasyon katsayısı
Çb	Çap basamakları
ÇB	Ağaç boyu-göğüs çapı
Çs	Çap sınıfları
“d” çap sınıfı	Göğüs çapı 36,0-51,9 cm arasında olan ağaçlar
$\bar{d}$	Aritmetik orta ağaç göğüs çapı (cm)
df	Düzeltilme faktörü
d_g	Göğüs yüzeyi orta ağacının göğüs çapı (cm)
D_i	SYi için başarı ölçütü değeri
D_{ij}	j . modelin i için başarı ölçütü değeri
$D_{i_{\max}}$ ve $D_{i_{\min}}$	Başarı ölçütünün SY i için maksimum ve minimum değeri
$D_{ij_{\max}}$ ve $D_{ij_{\min}}$	Başarı ölçütünün j ve i için maksimum ve minimum değeri
DKGH	Dikili Kabuklu Gövde Hacim
$d_{1,3}$	Kabuklu göğüs çapı (cm)
$d'_{1,3}$	Kabuksuz göğüs çapı (cm)
e	euler sayısı (2,7183)
“e” çap sınıfı	Göğüs çapı 52,0 cm’den büyük olan ağaçlar
f	Amaç vektörü
$f_m(x)$	m amaçlı amaç işlevi
G	Hektardaki göğüs yüzeyi (m ² /ha)
g	Örnek alandaki ağacın göğüs yüzeyi (cm ²)
g_i	Örnek alandaki i . ağacın göğüs yüzeyi (cm ²)
$\bar{g}$	Örnek alandaki aritmetik ortalama ağaca ait göğüs yüzeyi (cm ²)
GPS	Global Positioning System, Küresel koordinat sistemi
GY_{oa}	Göğüs yüzeyi orta ağacı
h	Ağaç boyu (m)
ha	Hektar (10000m ²)
$H\check{C}K$	Hektara Çevirme Katsayısı
I_d	Periyodik yıllık kabuklu çap artımı (cm)
I_d'	Periyodik yıllık kabuksuz çap artımı (cm)
$\ln$	e tabanında logaritma, doğal logaritma

I_v	Meşcerenin yıllık hacim artımı (m^3/ha)
i	Çap basamakları sayısı, 1, 2, 3,...54 adet seçim yöntemi numarası
i_d	Periyodik kabuklu göğüs çapı artımı (cm/yıl)
i'_d	Periyodik kabuksuz göğüs çapı artımı (cm/yıl)
$\dot{S}_{as}$	Örnek ağaç sayısı üzerinden “İşlem Süresi”
i_r	r . yıl için halka kalınlığı (cm)
i_v	Hacim artımı ($m^3/ha/yıl$)
j	1, 2, 3,... n adet model numarası
k	Çap basamağı sayısı (adet)
K	Kabuk faktörü
K_1K_s	Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı
M	Amaç işlevi sayısı, Göze alınan (örnekleme) hata yüzdesi
m	Metre
M	Örnek alan merkezi
m^2	Metre kare
m^3	Metre küp
MAE	Mean Absolute Error, Mutlak hata ortalaması
MAPE	Mean Absolute Percent Error, Hata yüzdesi mutlak ortalaması
mm	Milimetre
MS	MicroSoft
N	Karşılaştırılan değer çiftlerinin sayısı, Parametre sayısı
N_i	i . basamaktaki ağaç sayısı (adet)
n	Örnek sayısı (örneklem için), Örnek alandaki ağaç sayısı (adet)
$\bar{OAY}$	Örnek alan yüzölçümü (m^2)
p	Parametre sayısı
p değeri	Parametrenin önemlilik düzeyi
P^*	Pareto optimal küme
PF^*	Pareto optimal cephe
pH	Power of Hidrogen, Asit-Baz derecesi ölçü birimi
PO	Periyot Ortası
$POd'_{1.3}$	Periyot ortasındaki kabuksuz göğüs çapı (cm)
Percent bias	Hata yüzdesi toplamının ortalaması
PVE	Percent Variation Explained, Açıklanan varyans yüzdesi
R^2	Belirtme katsayısı
R^2_{adj}	Düzeltilmiş belirtme katsayısı
RMSE	Root Mean Squared Error, Hata kareleri ortalaması karekökü
R_s	Rastgele
RS	Rölatif (bağıl) sıklık derecesi
SD	Sıklık derecesi
Se	Modele ait artıkların standart hatası(örneklem için)
SE	Standart Error, artıkların standart hatası(toplum için)
SY	Seçim Yöntemleri
t	Meşcere yaşı (yıl), Ölçüm sırası, İstenilen güven sınırı için t dağılımı değeri
T	Transpoz
TBP	Toplam başarı puanı
UTM	Universal Transverse Mercator
v	Ağaç hacmi (m^3)
WGS	World Geodetic System
W_{oa}	Weise orta ağacı

x	Girdi değeri, karar vektörü
x'	Girdi değerinin ölçeklendirilmiş hali
x_{max}	Girdi setindeki en büyük değer
x_{min}	Girdi setindeki en küçük değer
y_t	Ölçüm değeri
y'_t	Tahmin değeri
$\bar{y}_t$	Ölçülen değer aritmetik ortalaması
$\beta_{0,1,2,...n}$	Doğrusal formülü modeller için regresyon katsayıları
α, β, γ	Non-linear modeller için regresyon parametre değerleri
ε	Regresyon denkleminin hata terimi
π	Pi sayısı (3.14159)
1GPÇA	Tek girişli periyodik çap artımı
2b	Çift kabuk kalınlığı (cm)
4GPÇA	Dört girişli periyodik çap artımı
%	Yüzde
$\frac{\Delta v}{\Delta d}$	Artış faktörü (m ³ /cm)
Σ	Toplam

1. GİRİŞ

Orman işletmelerinin görev ve fonksiyonlarını eksiksiz yerine getirebilmeleri, çalışmalarında başarıya ulaşabilmeleri ve kararlaştırılan amaçlarına erişebilmeleri için gerekli koşulların birincisi “planlı” olmaktır. Orman işletmesi yeter mükemmellikte ve doğrulukta bir amenajman planına ve bununla ilişkilendirilmiş diğer planlara sahip olmalıdır (Eraslan, 1971).

“Orman Amenajmanı, bir orman işletmesini veya onun ayrıldığı alt işletme ünitelerini, saptanan amaçlara göre planlamak, planın uygulamasını izlemek ve denetlemek, belirli aralıklarla yapılan envanter ile işletmede meydana gelen değişimleri ortaya koymak, işletmenin ekonomik sonucunu saptamak, buna göre süresi biten planı yenilemek için, gerekli bilgileri veren, planlayıcı ve denetleyici bir Ormancılık Bilim Dalıdır” (Eraslan ve Eler, 2014). Oldukça kapsamlı ve bir o kadar önemli olan bu ormancılık bilim dalının bir ürünü olarak tanımlanabilecek Orman Amenajman Planları da sağlam temeller üzerinde yapılandırılmalıdır.

Orman amenajman planlarının objektif, doğru ve gerçeğe uygun olması, aynı zamanda da basit yapıda, mümkün olduğunca az masraf ve emekle, zamanında tamamlanmış olması beklenir. Orman işletmelerinin düzenli bir şekilde faaliyetlerini yürütmesi ancak tek ağaç ve meşcere düzeyinde hacim artımının gerçeğe yakın doğrulukta bilinmesi halinde mümkün olacaktır (Fırat, 1973; Carus, 1995; Özçelik, 2003).

Yaşamını sürdüren bir ağaçta zamana bağlı olarak boy ve çap, dolayısıyla şekil, hacim ve ağırlık değişimleri olur. Artım ve büyüme kavramları genel olarak bir ağacın ya da ağacın bir bölümünün yaşantısı süresince boyutlarında ve ağırlığında meydana gelen her türlü değişim olarak ifade edilebilir. Bu artım kanunlarının tayin ve tespiti ile ilişkili çalışmalar modern ormancılık araştırmalarının en önemli görevlerinin başında gelmektedir (Fırat, 1973).

Meşcere hacim artımının belirlenmesine; orman amenajman planlarının düzenlenmesi aşamalarında; meşcere tanıtımı, işletme amacının ve idare süresinin belirlenmesi, faydalanmanın planlanması ve silvikültür tekniklerinin seçilmesi amaçları ile ihtiyaç duyulur. Ayrıca ormanın değerinin takdiri, orman işletmelerinin başarılarının ölçümü,

farklı silvikültür uygulamalarının karşılaştırılması ve hasılat araştırmaları gibi amaçlar için de gereklidir (Kalıpsız, 1973).

Meşcerelerin artım parametrelerinin dikkate alınmaması durumlarında orman işletmelerinin akılcı bir şekilde planlanması ve yürütülmesi mümkün değildir. Silvikültürel müdahalelerin yönlendirilmesi, bakım çalışmalarının şiddeti ve zamanının belirlenmesi, ekonomik amaçların uygunluğunun denetlenmesi bakımından da meşcerelerin artım ve büyüme ilişkilerinin bilinmesi önemli bir ihtiyaçtır (Ercanlı vd., 2007).

Bu tez çalışmasında ormancılık bilimine ilişkin açıklanan görev ve ihtiyaçlar doğrultusunda farklı değişkenlerin tek ağaç çap artımı ve hacim artımı üzerine etkileri incelenerek meşcere hacim artım ilişkileri ortaya konulmaktadır. Ancak bu çalışmada daha geniş ölçüde, modellenen artım tahminleri ile kullanılan örnekleme yöntemlerinin birlikte nasıl hareket ettikleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Çalışmada farklı biçimlerde kurgulanmış örnekleme yöntemlerinin, hacim artımı tahmin değerleri ile ne derece başarılı ve pratik oldukları karşılaştırılmaktadır. Amaç, hacim artımının tahmininde örnek ağaç seçimine ilişkin farklı ağaç adedi ve seçim ölçütleri ile kurgulanan ve “Seçim Yöntemleri” (SY) olarak adlandırılan bu örnekleme yöntemlerinin değerlendirilmesi ve uzun dönemde de geliştirilmesidir.

Kurgulanan seçim yöntemleri test edilirken, meşcere hacim artımının tayini yöntemlerinden biri olan “Meyer’in Enterpolasyon Yöntemi” kullanılmıştır (Kalıpsız, 1984). Çalışma, hacim artım tahmininde kullanılan bu yöntem ile yüksek derecede ilişkilidir ancak yalnızca bunu kapsamaz. Meyer’in enterpolasyon yöntemi için değerlendirilecek örnek ağaçların hangi nitel-nicel özellikleri ile nasıl seçilecekleri hakkında ölçütleri araştırmaktadır.

Meyer’in enterpolasyon yöntemi denkleminde, hacim artımı değeri, artış faktörü ve periyodik kabuklu çap artımı faktörü şeklinde tanımlanabilecek iki çarpan ile hesaplanmaktadır. Çalışma kapsamında farklı örnekleme ölçütleri ve farklı örnek büyüklükleri kullanılarak;

- Meyer'in interpolasyon yönteminin ilk çarpanı olan artış faktörünün hesaplanabilmesi amacıyla yapılan işlemleri için “göğüs çapı-ağaç boyu” ilişkisini açıklayan en iyi modeller,
- Yöntemin ikinci çarpanı “periyodik kabuklu çap artımı faktörü” denklemini oluşturmak için ise kabuksuz-kabuklu göğüs çapı ve farklı bağımsız değişkenlerin (göğüs çapı, bonitet endeksi, sıklık derecesi ve meşcere yaşı) fonksiyonları olarak-çap artımı ilişkilerine ait en iyi modeller

şeklinde toplam 54 farklı biçimde kurgulanmış seçim yöntemi için ayrı ayrı elde edilmiştir. Bu en iyi modeller sonraki aşamalarda “Seçim Yöntemi” (SY) şeklinde ifade edilmiştir.

Her seçim yöntemi için Meyer'in interpolasyon yöntemi çarpanları, yani artış ve çap artımı faktörleri de istatistik yöntemlerle incelenmiş, ayrı ayrı başarı ölçüt setleriyle puanlanmış, devamında da tümleşik biçimde çok amaçlı optimizasyon Pareto optimal yöntem ile değerlendirilmiştir.

Uygun seçim yöntemleri ve etkinliklerinin belirlenmesi ile planlama çalışmalarında meşcere hacim artımının, plan yapıcı (karar verici) ya da uygulamacı tarafından amaca uygun ölçütlerle tespit edilebilmesi hedeflenmiştir. Farklı seçim yöntemleri kullanılarak elde edilecek modeller ile ormancılıkta üretimin ve artım tahminlerinin gerekli ve yeterli duyarlılıkta yapılabilmesi, böylece temel ormancılık amaçlarına, uygulayıcı birimlere ve bilime katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Çalışma aşağıda sıralanan altı bölümde verilmiştir.

“Giriş” bölümünde çalışma konusunun önem, amaç ve kapsamı üzerinde durulmuştur.

“Kaynak Özetleri” bölümünde konu ile ilgili kaynaklar kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaç türüne, meşcere çap-hacim artımına ve envanter yöntemlerine ilişkin olarak sınıflandırılmış üç alt bölümde kronolojik sıra ile verilmiştir.

“Materyal ve Yöntem” bölümünde kızılçam ağaç türüne ve çalışma alanına ait genel bilgiler, örnek alanlarda yapılan ölçü işlemleri ve nasıl yapıldıkları hakkında bilgiler

aktarılmaktadır. Bu bölümde ayrıca, istatistik modeller ve seçim yöntemleri için yapılan değerlendirmeler, kullanılan başarı ölçütleri, puanlama ve çok amaçlı optimizasyon yöntemleri hakkında açıklamalar mevcuttur.

“Bulgular ve Tartışma” kısmında örnek alanlardan sağlanan veriler, bu verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen bulgular ve istatistikler, çizelgeler ve grafiklerle verilmiştir. Bulgular karşılaştırılmış, hedeflenen amaçlara ne derece yaklaşıldığı belirlenmeye çalışılmış ve tartışmalar yapılmıştır.

“Sonuç ve Öneriler” bölümünde, verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar açıklanmış, yöntem ve uygulama kapsamında önerilerde bulunulmuştur.

“Ekler” bölümü, miktarları ve uzunlukları ile anlatım bütünlüğünü kesintiye uğratabilecek grafikler ve çizelgeler için düzenlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışma hazırlanırken, öncelikle örnekleme yöntem ve tekniğini yönlendirecek kaynaklar taranmıştır. İlerleyen aşamalarda kızılçam ağaç türüne ilişkin çalışmalar ve beraberinde tek ağaç-meşcere artım ve büyüme ilişkileri ile Meyer'in hacim artımı tespitine yönelik yöntemleri konuları ana eksenindeki çalışmalar incelenmiştir. Göğüs çapı, bonitet endeksi, sıklık derecesi, meşcere yaşı ve farklı diğer parametrelerin fonksiyonları olarak çap artımının modellenmesi ile ilgili çalışmalar ve denenmiş farklı formlarda istatistik modeller incelenmiştir.

2.1. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaç Türüne Ait Kaynak Özetleri

Alemdağ (1962), "Türkiye'de Kızılçam Ormanların Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları" isimli çalışmasında doğal yoldan gelmiş, saf ve müdahale görmemiş normal kapalı kızılçam ormanlarından aldığı 109 adet örnek alan ile bonitete göre tek ağaç ve meşcere düzeyinde artım ve büyümeyi incelemiştir. Bu örnek alanlardan toplanan materyallerden yararlanılarak Kızılçam Bonitet Tablosu ve Hasılat Tablosu düzenlenmiştir. Hasılat tabloları üç bonitet sınıfını ve 25-150 yaş periyodunu kapsayacak şekilde hazırlamıştır. Araştırma sonucunda normal kuruluş gösteren meşcerelerin en iyi gelişmeyi gösterdiği belirtilmiştir.

Usta (1991), "Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları" isimli çalışmasında Güney Anadolu bölgelerinde tesis edilen kızılçam ağaçlandırma alanlarında, artım ve büyüme ile çeşitli ağaç ögeleri arasındaki ilişkileri 45 adet örnek alana ait veriler ile değerlendirmiştir. Çalışmada çeşitli ağaç ögeleri için regresyon analizi yöntemi ile tahmin yapılmış, çift girişli hacim tablosu, bonitet ve değişik sıklıklar için meşcere hasılat tabloları düzenlenmiştir. Ağaçların yararlandıkları etkin büyüme alanlarının yaş, bonitet ve potansiyel büyüme alanına göre hareketi grafik olarak ifade edilmiş ve ilk aralama yaşları konusunda tahminlerde bulunulmuştur.

Yeşil (1992), "Değişik Sıklık ve Bonitetteki Kızılçam Meşcerelerinin Yaşa Göre Gelişimi" isimli doktora tezi çalışmasında, Türkiye'de doğal yoldan oluşmuş aynıyaşlı ve saf kızılçam meşcerelerinin değişik sıklık ve bonitet derecelerinde yaşa

göre gelişmelerini araştırmıştır. Bu amaçla kızılçamın yoğun yayılış gösterdiği Akdeniz ve Ege'nin güney bölgelerinden 319 örnek alan almıştır. Çalışmada bu alanlardan toplanan materyallerden yararlanılarak kızılçam Bonitet Tablosu, Hasılat Tablosu ve Ürün Çeşitleri Hasılat Tablosu düzenlemiştir. Hasılat tabloları 5 bonitet sınıfını, 10 sıklık derecesini ve 20-100 yaş periyodunu kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Kızılçam hasılat tablosundan alınan kalan meşcere ve ayrılan meşcereye ait olan hacim ve hasılat ögeleri, artım ve genel verimle ilgili bilgiler incelemiştir. Karşılaştırmalarda Türkiye' deki doğal kızılçam meşcereleri için Alemdağ (1962) ve Usta (1991)'nın kızılçam ağaçlandırmaları için hazırladığı hasılat tablosundan yararlanılmıştır.

Erkan (1996), "Kızılçamda Meşcere Gelişmesinin Simülasyonu" isimli çalışmasında, ağaçların değişik koşullardaki artım ve büyüme ilişkileri incelemiş ve daha sonra simülasyon tekniğini kullanarak meşcereye geçmiştir. Meşcereye ilişkin değerlendirme ve hesaplamalar, simüle edilen bu meşcere üzerinde yapılmıştır. Bonitet endeksi, yaş ve ağaçların fiziki büyüklükleri yanında, ağaçlar arası uzaklığa bağımlı bir modelle ifade edilen bir faktör geliştirmiştir. Büyüme endeksi (BEN) adı verilen bu faktörle tek ağaç artımındaki varyasyonun %50'sinin açıklandığını, varyasyonun açıklanamayan kısmının bonitet endeksi, yaş, göğüs çapı ve boy gibi faktörlerden kaynaklandığını belirtmiştir. Tüm bu değişkenlerle hacim artımındaki değişimin %89'luk kısmı açıklanabilmektedir. Sonuç olarak uzaklığa bağımlı yarışma endekslerinin uzaklıktan bağımsız yarışma endekslerine oranla daha başarılı olduğunu ortaya konulmuştur. Aynıyaşlı, doğal ve saf kızılçam meşcereleri için hasılat tablosu düzenlemek için tek ağaç büyümesini esas alan bir simülasyon modeli geliştirmiştir.

Çatal (2009), "Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Meşcerelerinde Artım ve Büyüme" isimli doktora tezi çalışmasında artım ve büyümeyi tek ağaç ve meşcere düzeyinde, meşcere yaşı, bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre incelemiştir. Aynıyaşlı, doğal ve saf kızılçam meşcerelerinde artım ve büyümenin simülasyonu için bir model geliştirmiştir. Bu model, 10 yıllık periyotlar için periyot başı ve sonunda meşcere hacmi, ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımı, hacim artımı, ortalama boy, göğüs yüzeyi ve ayrılan meşcereyi vermektedir. Çalışmada değişik meşcere yaşı ve bonitet sınıfları için, normal meşcere kuruluşu ve birim alanda en yüksek hacim artımını veren optimal sıklık dereceleri belirlenmiştir. Ayrıca, yöresel olarak çift girişli

ağaç hacim tablosu, bonitet tablosu ve çift kabuk kalınlığı tablosu da hazırlanmıştır. Bu çalışma ile kızılçam meşcerelerinde maksimum hacim artımını veren optimum kuruluşlar ortaya konulmuştur.

2.2. Meşcerede Çap Artımı ve Hacim Artım Tahminine Ait Kaynak Özetleri

Kalıpsız (1968), "Meşcere Hacim Artımının Tayininde Kullanılan MEYER Metotları ve Kritiği" isimli çalışmasında meşcere hacim artımı, Meyer yöntemleri teorisi ve uygulamaları konusunu ele almıştır. Direk, artım yüzdesi, enterpolasyon ve meşcere projeksiyon tablosu yöntemlerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmiş, hata kaynaklarını ve ülkemizdeki uygulamaları kritik etmiştir. Çalışmada Meyer'in formüllerinin teorik olarak doğru olduğu ama matematik bir kesinliğin beklenemeyeceği, ölçü ve değerlendirmenin yeter materyal ve uygun yöntemler kullanılarak yapıldığı ölçüde gerçeğe yakın sonuçlar elde edileceği belirtilmektedir.

Alemdağ (1969), "Meşcere Hacim Artımının Tayininde Kullanılan Artım Kalemli Metotlarından 4'ünün Arazi Sonuçlarının Mukayesesi" isimli çalışmasında Çamkoru Araştırma Ormanında sarıçam (*Pinus silvestris* L.) ve karaçam (*Pinus nigra* Arnold) karışık meşceresinden, Beylikdüzü Araştırma Ormanında göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lispky) ve sarıçam karışık meşceresinden seçilen deneme alanlarında ölçümler yapmış, on yıl sonra ölçümleri tekrarlamıştır. Çalışma kapsamında hacim artımı basit bileşik faiz formülü, Schneider hacim artımı yüzdesi yöntemi, Pressler yöntemi ve Meyer yöntemiyle ayrı ayrı değerlendirilip hesaplanmıştır. En uygun iki yöntemden bileşik faiz metodunun kısa periyotlarda güven verici olmasına karşın kullanılmasının güç olduğu; Meyer'in yönteminin ise öznel faktörleri barındırmayan realist bir yöntem olarak gerçeğe en yakın değerlere ulaştığı sonuçları elde edilmiştir.

Yeşil (1986), "Meşcere Hacim Artımı Tayininde Kullanılan Tek Ölçü Yöntemlerinin Karşılaştırılması" isimli çalışmasında Meyer'in Enterpolasyon, direk, hacim artım yüzdesi, meşcere projeksiyon tablosu ve geçiş süresi yöntemleri ile elde edilen sonuçların istatistik açıdan birbirinden farklı olup olmadığını incelemiştir. Bu amaçla 51 adet saf, aynıyaşlı ve doğal yoldan gelmiş Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)

meşceresine ait örnek alan verilerini kullanmıştır. Yöntemler arasında hacim artım tahminleri bakımından istatistiksel farklılıklar olduğunu tespit etmiştir.

Saraçoğlu (1988), “Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme” isimli çalışmasında 77 adet örnek alandan elde edilen veriler ile artım ve büyüme ilişkilerini tek ağaç ve meşcere düzeyinde incelemiştir. Çalışma kapsamında ince çaplı ağaç hacim tablosu, meşcere bonitet tablosu, ağaç baskı sınıfı tablosu, kabuk katsayıları tablosu ile kabuksuz çap artımı tayininde kullanılabilecek bir tablo düzenlenmiştir. Bunların yanı sıra gökmar seçme ormanlarının hacim artımını maksimize edecek, bonitet endeksi ve amaç çapına göre, optimum sıklıkta meşcere kuruluşlarını veren tablolar üretilmiştir. Tablolar bu amaçla geliştirilmiş MAXART adı verilen yazılım ile oluşturulmuştur.

Ratkowsky (1989), “Handbook of Nonlinear Regression Models” isimli kitabında regresyon analizi ve regresyon modelleri hakkında verilen bilgilerin devamında; doğrusal olmayan regresyon modelleri için tek değişkenli, birden beşe kadar parametre sayısına sahip çok sayıda model formları genel grafik görselleriyle beraber açıklanmıştır.

Yeşil (1994), “Meşcere Sıklığının Saptanmasında Başvurulan Yöntemler ve Doğal Kızılçam Meşcerelerinde Sıklık Derecesinin Ölçümü” isimli çalışmasında meşcere sıklığının saptanması amacıyla kullanılan çeşitli yöntemleri özetlemiş, doğal kızılçam meşcereleri içinden seçilen 118 adet örnek alana ait veriler yardımıyla sıklık derecelerini belirlemiş ve tablolarını oluşturmuştur. Çalışmada yapılacak hasılat tabloları için, müdahale görmemiş doğal ormanların kalmadığı ya da çok azaldığı ifade edilerek yaş ve bonitet parametrelerinin yanı sıra meşcere sıklığının da üçüncü bir değişken olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Carus (1995), "Aynı Yaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lispky.) Meşcerelerinde Çap Artımının Meşcere Yaş ve Göğüs Yüzeyine Göre Değişimi" adlı çalışmasında Batı ve Orta Karadeniz yöresi aynıyaşlı doğal ve saf Doğu kayını meşcerelerindeki tek ağaçların göğüs çapı artımlarının; göğüs çapı, meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere yaş değişkenlerine göre değişimini incelemiştir. Meşcerelerde, çap artımı - yaş ilişkisinin, sağa çarpık çan eğrisi biçiminde olduğu belirtilmiştir. Meşcere göğüs yüzeyinin, göğüs

çapı- çap artımı ilişkisi üzerinde doğrusal fakat ters yönde bir ilişki gösterdiği bulunmuştur. Meşcerede göğüs çapı artımının tahmini için kurulan regresyon modeli, periyodik göğüs çap artımını yaş, göğüs yüzeyi ve göğüs çapına bağlı olarak kestirmektedir. Modelin, çap artımındaki değişimin %45'ini ($R^2=0,446$) açıklamakta olduğu belirtilmektedir.

Carus (1997), "Aynı Yaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lispky.) Meşcerelerinde Hacim Artımının Meşcere Yaşı, Bonitet, Göğüs Yüzeyi ve Sosyal Gövde Sınıflara Göre Değişimi" adlı çalışmada Batı ve Orta Karadeniz yöresi aynıyaşlı Doğu kayını meşcerelerinde hacim artımlarının; meşcere yaşı, bonitet, göğüs yüzeyi ve ağaç sosyal sınıfları bağımsız değişkenlerine göre gösterdiği değişimi incelemiştir. Meşcerelerde hacim artımı yaş ilişkisinin, sağa çarpık çan eğrisi biçiminde olduğu tespit edilmiştir. Meşcere göğüs yüzeyinin, hacim artımı-yaş ilişkisi üzerinde doğrusal yönde artan bir ilişki gösterdiği belirlenmiştir. Sosyal gövde sınıflarına ait farklılığın meşcere hacim artımına katılımındaki etkisi erken yaşlarda büyük olup, meşcere yaşının artmasıyla küçülmekte olduğu tespit edilmiştir. Meşcerede hacim artımının tahmini için kurulan regresyon modelinin hacim artımındaki değişimin %85'ini ($R^2=0,85$) açıklamakta olduğu belirtilmektedir.

Ercanlı vd. (2007), "Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinin Hacim Artımının Meşcere Yaşı, Bonitet Endeksi ve Sıklık Derecesine Göre Değişimi" isimli çalışmada doğal yolla oluşmuş saf ve aynıyaşlı sarıçam meşcerelerinde hacim artımını, meşcere yaşı, bonitet endeksi ve sıklık derecesi parametreleriyle üç girişli bir fonksiyon biçiminde tanımlamışlar, artımdaki değişimi regresyon analizi yöntemi ile modellemişlerdir. Çalışma sonucunda, meşcere hacim artımının meşcere yaşı ile azalmakta, bonitet endeksi ve sıklık derecesi parametreleri ile de artmakta olduğu tespit edilmiştir. Çalışma yöresindeki sarıçam meşcereleri için meşcere hacim artımlarının geliştirilen model ile tahmin edilmesinin uygun olacağı, ayrıca modelin orman amenajmanı ve silvikültür uygulamalarında kullanılabilir olduğu da belirtilmektedir.

Sönmez ve Çakıroğlu (2012), "Doğu Ladini Meşcerelerinde Hacim Artımının Tek ve Çift Girişli Hacim Tabloları Kullanılarak Meyer'in Enterpolasyon Yöntemi'ne Göre Hesaplanması" isimli bu çalışmada, Doğu ladini meşcerelerinde her biri 1000 m²

büyükluğünde olan üç adet örnek alanda ve toplam 160 ağaçta ölçümler yapmışlardır. Ağaçlardan 90 adedinde boy ölçümleri de yapılmış, örnek alanlar için ayrı ayrı çap-boy denklemi düzenlenmiştir. Çap basamaklarındaki ağaçların hacim ve hacim artımları, Akalp (1978) tarafından hazırlanmış çift girişli hacim tablolarının örnek alan bazında tek girişliye dönüştürülmesi ile hazırlanan gövde hacim tabloları kullanılarak hesaplanmıştır. Çift girişli ağaç hacim tablosu kullanılarak bulunan hacim artımının tek girişli ağaç hacim tablosu kullanılarak bulunan hacim artım değerinden yaklaşık %16 daha fazla olduğu belirtilmektedir.

Yıldızbakan vd. (2012), “Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) Meşcerelerinin Hacim Artımını Maksimize Eden Optimum Kuruluşlar” adlı çalışmalarında, yaş, bonitet ve meşcere sıklık derecelerine bağlı olarak artım ve büyüme ilişkileri incelenerek optimum kuruluşlar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Toplam 100 adet örnek alandan elde edilen veriler doğrultusunda bonitet tablosu, tek ve çift girişli hacim ve hasılat tabloları düzenlenmiştir.

2.3. Orman Envanter Yöntemlerine Ait Kaynak Özetleri

Alemdağ (1967), “Değişik Yönlerde Ait Artım Kalemleriyle Yapılan Artım Hesaplarındaki Sıhhat Derecesi” isimli çalışmasında eğimli ve düz arazilerdeki dikili vaziyetteki 328 adet köknar ve 108 adet sarıçam ağacından 8 farklı yönde artım kalemleri olarak istatistik yöntemlerle değerlendirmiştir. Daima en iyi sonucu veren bir yönün bulunmadığı, bu yüzden rastgele bir yön kararlaştırılmasını önererek, alınacak artım kalemi sayısının ve dağılımının önemi üzerinde durmuştur.

Günel (1973), “Ağaç Serveti Miktarının Tayininde Kullanılabilecek Metodlar Üzerine Araştırmalar” isimli çalışmasında toplam 20,96 ha alanda, üç ayrı sahada çalışmıştır. Basit tesadüfi, bölümlü tesadüfi, kümeli, basit kümeli, sistematik, bölümlü sistematik ve deneme şeritleri örnekleme yöntemleri ile ilgili tespitlere ulaşılacak uygulamalar gerçekleştirmiştir. Örnek alan büyüklüğü ve şeklinin, meşcere yapısı ile kuvvetli bir ilişki içinde olduğunu belirterek bu örnekleme yöntemlerini karşılaştırılmış ve öneriler getirmiştir.

Özer ve Uğurlu (1976), “Ormancılıkta Ağaç Servetinin İstenen Doğrulukta Elde Edilmesinde Uygun Örnek Alan Büyüklüğü ve Sıklığının Saptanması” isimli çalışmalarında, Antalya Bük Araştırma Ormanında büyüklüğü 400, 600 ve 800 m² şeklinde iç içe olan toplam 814 adet örnek alan almışlardır. Bu alanların 261 adedi çift girişli DKGH tablosu oluşturmak için kullanılmıştır. Değerlendirmeler ile sekiz meşcere tipinde üç değişik örnek alan büyüklüğü ve dokuz farklı aralık–mesafe değişkenleri için örnekleme hatası yüzdeleri hesaplanmıştır. Meşcere tiplerinin karakteristiklerine bağlı olarak seçilecek uygun alan büyüklükleri belirlenmiş, alanlarına ve örnek alanların büyüklüklerine bağlı olarak seçilecek aralık-mesafeler $\pm\%10$ örnekleme hatasına göre bir çizelge şeklinde sunulmuştur.

Şad (1987), "Ağaç Serveti ve Artımına İlişkin Envanter Sırasında Artımın Saptanması Maksudı ile Dikili Gövdelerden Artım Kalemi Alma Esasları" isimli çalışmada artım kalemi alınacak ağaçların seçimi, sayısı, her ağaçtan alınacak artım kalemlerinin sayısı ve artım kalemlerinin alınma yönü ile ilgili açıklamalar yapmış, yaklaşımları yorumlamıştır.

Özçelik (2003), “Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) Çağ Sınıflarının Meşcere Tipi Ayrımı Üzerine Etkileri” isimli çalışmada orman amenajman planlarının yapımı sürecinde maliyetin büyük bölümünün özellikle dikili hacim ve artımın tespitine yönelik envanter çalışmalarına ait olduğunu belirtmiştir. Bu maliyeti düşürebilmek adına meşcere tipleri sayısını azaltabilme olanaklarını araştırmıştır. Çalışmada, gelişme çağ sınıfları kombinasyonları ile oluşturulan meşcere tipleri ile servet ve artım değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. Bunun için de aktüel meşcere kuruluşları normal oluncaya değin, meşcere tip ayrımında gelişme çağı kombinasyonlarının dikkate alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kangas ve Maltamo (2006), "Forest Inventory Methodology and Applications" isimli çalışmada orman envanteri yöntemleri ve uygulamaları ile ilgili olarak orman envanteri tarihçesi, örnekleme yöntemleri, ölçüm teknikleri, istatistik ve biyometri alanlarında yapılmış örnek çalışmalara yer vermektedir.

Sakıcı (2009), “Ağaç Serveti Envanterinde Kullanılan Çeşitli Örneklem Yöntemlerinin Karşılaştırılması” isimli doktora çalışmasında, ağaç servetine yönelik envanter çalışmalarında kullanılan farklı örneklem yöntemlerini, başarı ve maliyet bakımından karşılaştırmıştır. Çalışma materyali olarak aynıyaşlı ve değişikyaşlı olmak üzere iki farklı meşcerenin toplam 26,4 ha toplam alanındaki tam alan ölçüm verileri kullanılmıştır. Basit rastgele, sistematik, tabakalı ve küme örneklem yöntemleri ile hacme yönelik olarak da açılı sayım ve altı ağaç örneklem yöntemleri ile toplam 435 adet örneklem düzeni elde edilmiş, farklı ölçütler kullanılarak yöntemler başarı ve maliyetleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda ağaç serveti envanteri için, aynıyaşlı meşcerelerde açısayım, değişikyaşlılarda ise iki aşamalı küme örnekleme yöntemi etkin bulunmuştur. Örneklem maliyeti yönünden aynıyaşlı meşcerelerde 600 ve 800 m², değişikyaşlılarda 600 m² örnek alan büyüklüğünün etkin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca örnek alanlarda çap ölçüm süresi tahminleri için denklemler geliştirilmiştir.

Cılız (2013), "Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Meşcerelerinde Altı Ağaç, Açılı Sayım ve Örnek Alan Yöntemleri ile Elde Edilen Meşcere Hacmi Tahminlerinin Karşılaştırılması: Antalya-Gebiz Yöresi Örneği" isimli yüksek lisans tezi çalışmasında, meşcere hacminin saptanmasında kullanılan altı ağaç, açılı sayım ve örnek alan yöntemiyle hesaplanan hacim değerlerini, yapılan tam ölçüm değerleri ile istatistiksel olarak karşılaştırmıştır. Sonuç olarak farklı örneklem hata yüzdesi değerleri için alınacak örnek alan nokta sayıları, en fazla olan ilk olmak üzere, Altı Ağaç, Örnek Alan ve Açılı Sayım yöntemi olarak sıralanmaktadır. Örnek alan sayısı sabit olduğunda en az hata yüzdesini Açılı Sayım yönteminin verdiği belirtilmektedir.

Güneş (2015), "Isparta Yöresi Kızılçam Meşcerelerinde Çap Dağılımının Örnek Nokta Ağaç Sayısına Göre Modellenmesi" isimli yüksek lisans tezinde, çeşitli büyüklüklerdeki 88 adet örnek alanlardan elde edilen çap basamaklarına ait verilere Beta, Gamma, Weibull, Normal ve Log-normal istatistik dağılımını esas alan regresyon modelleri uygulamıştır. Örnek alanlara ait çap dağılım frekans değerlerinin sağa çarpık çan eğrisi biçiminde olup Gamma dağılımına benzediği sonucuna ulaşmıştır. Çap dağılım modelleri farklı örnek alan büyüklüğüne göre test edildiğinde, çap dağılımının ortaya konulmasında en uygun örnek alan büyüklüğünün 17 adet ağacı kapsamı gerektiği sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, materyal alt başlığı ile kullanılan ekipman, kızılçam ağaç türüne ait genel bilgiler ve çalışma alanı hakkında açıklamalar verilmiştir. Yöntem alt başlığında ise örnek alanlarda yapılan ölçü işlemleri, ölçümlerin değerlendirilmeleri, Meyer'in enterpolasyon yöntemi, orman envanteri ile ilgili genel bilgiler, seçim yöntemlerinin kurgulanışı, verilerin değerlendirilmesi, istatistik analizler ve optimizasyon yöntemleri açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini İzmir Orman Bölge Müdürlüğüne ait sayısal veri tabanı ile Gaziemir Orman İşletme Şefliğinin, Kızılçam İşletme Sınıfındaki aynıyaşlı ve saf ve doğal kızılçam meşcere tiplerinden ve benzer özellikteki komşu meşcerelerden seçilen örnek alanlarda ölçümleri yapılan kızılçam ağaçları oluşturmaktadır.

Ölçü işlemleri için çapölçer, boyölçer, kabuk ölçer ve Pressler artım burgusu gibi dendrometrik aletler, ağaç konumların belirlemesi için pusula ve mesafe ölçer gibi cihazlar kullanılmıştır.

R programlama dili tabanlı RStudio programı, optimizasyon, regresyon analizleri, başarı ölçüt değerlerinin hesaplanması, tablo olarak şekillendirilmesi ve grafiklerin büyük bir kısmı için kullanılmıştır. Bazı grafikler ve dört girişli çap artımı modellerinin stepwise regresyon yöntemi ön işlemlerinde IBM SPSS 24.0; genel olarak tablolama işlemleri ve yine bazı grafikler için MS Office Excel 2016; seçim yöntemlerinde kullanılan yakınlık analizleri için coğrafi bilgi sistemleri (CBS) programlarından yararlanılmıştır. Bazı seçim yöntemleri için kullanılan “Rastgele Sayılar Tabloları” da çalışma materyali içerisinde sayılabilir.

3.1.1. Kızılçam ağaç türüne ait genel bilgiler

Ülkemizde en geniş doğal yayılışa sahip olan ve ormanlık alanlarımızın %25,11'ini (5.610.215 ha) oluşturan kızılçam, artım ve hızlı büyüme özellikleri ile yarattığı

ekonomik değer nedeniyle en önemli asli ağaç türlerimizden biridir (Anonim, 2015b). Ağaç türüne ait genel bilgiler aşağıda alt başlıklar halinde özetlenmiştir.

3.1.1.1. Botanik özellikleri ve doğal yayılışı

Kızılçam, tohumlu bitkiler (*Spermatophyta*) bölümü, açık tohumlular (*Gymnospermae*) alt bölümü, *Coniferae* sınıfı, *Pinaceae* familyasının *Pinus* cinsi içerisinde yer almaktadır. Kızılçamın biri kendisi olmak üzere toplam beş varyetesi bulunmakta ve meşcereler kurmaktadır (Akkemik, 2018);

- *Pinus brutia* var. *brutia*: Türün kendisidir. Ülkemizin tüm sahil kesimlerinde bulunur.
- *Pinus brutia* var. *agrophiotii* Papaj: Dipten çok dallı ve yuvarlak tepelidir,
- *Pinus brutia* var. *pyramidalis* Selik: Piramidal tepelidir,
- *Pinus brutia* var. *pendulifolia* Frankis: Uzun yapraklıdır ve Muğla çevresinde bulunur,
- *Pinus brutia* var. *densifolia* Yalt. & Boydak: Yoğun yapraklı olan varyetesi yer yer bulunur.

Tipik bir ışık ağacı olan kızılçam genellikle 15-20 m boyunda, kalın dallı, her dem yeşil bir türdür. Çoğunlukla düzgün bir gövdeye sahip olmasa da iyi yetişme ortamlarında ve yükselti arttıkça ağaç gövdelerinin düzgünleştiği, tepelerin sivrileştiği ve dalların inceldiği görülür (Yaltırık ve Efe, 1994). Kabuğu düzgün, boz renkte, ileri yaşlarda kalın, derin yarıklı ve kırmızımsı kahverengindedir. Genç sürgünler kırmızı renktedir, daha sonra kahverengine döner. Kızılçam adını genç sürgünlerin renginden almıştır. Sert ve koyu yeşil renkli, 12-18 cm uzunluğundaki iğne yapraklarının anatomik yapısı, Halep amı (*Pinus halepensis* Mill.) iğne yapraklarından özellikle reçine kanallarının genişliği ve çevre yapısı ile ayrılır.

Kozalakları topaç biçiminde olup sapsız ya da çok kısa saplı ve sürgünlerde dikine veya yan durur (Kayacık, 1965). Olgun kozalaklar 6-11 cm uzunluğunda, parlak kırmızımtırak-kahverengi, göbek büyük ve Halep amının aksine basıktır. Biracı bir arada, toplu olarak bulunur (Gökşin, 1987; Yaltırık, 1993).

Kızılçam, Doğu Akdeniz ülkelerinde yayılış göstermektedir. Türkiye, Kıbrıs, Yunanistan, Suriye ve Lübnan'da yayılış gösterirken Irak ve İran'da küçük popülasyonları bulunmaktadır (Fady vd., 2003).

Ülkemizde Akdeniz ikliminin hâkim olduğu Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgelerinde özellikle kıyıya bakan yamaçlarda geniş ve saf ormanlar kurmaktadır. Kızılçam ormanlarımızın yaklaşık yarısı Akdeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Kıyıda başlayarak 1300 m'ye kadar orman kurabilen bu ağaç türü münferit olarak 1400–1500 m yüksekliğe de ulaşabilmektedir (Neyişçi, 1987a). Akdeniz Bölgesinden farklı olarak Ege Bölgesinde dağ silsilelerinin kıyı şeridinde dik uzanması sebebiyle kızılçam denizden daha iç bölgelere sokulabilmektedir. Ulaştıkları ortalama yükseklik Ege Bölgesinde 800–900 m iken Marmara Bölgesinde 600–700 m civarındadır (Neyişçi, 1987a). Marmara Bölgesi kızılçam ormanlarımızın yaklaşık %10'una sahiptir (Sarıbaş, 2008). Karadeniz Bölgesindeki yayılış ise kıyılara yakın yükseltilerden başlayarak vadiler boyunca iç kısımlara kadar uzanır. Ayrıca Akdeniz iklimi etkilerinin görüldüğü mikroklimatik bazı alanlarda da (Erbaa, Ayancık, Sinop, Boyabat, Amasya, Zonguldak vb.) doğal yayılışlar gösterir (Neyişçi, 1987a; Anonim, 2009).

3.1.1.2. Ekolojik özellikleri

Kızılçam, kışları ılıman, yazları sıcak ve kurak olan yerlerde yetişen, karasal iklimlerden kaçınan bir ağaç türüdür. Bu yüzden de genel olarak deniz etkisinde olan ve denize bakan yamaçları tercih eder (Neyişçi, 1987b). Sıcaklık isteği fazla olan bu türün yayılış gösterdiği bölgelerin yıllık ortalama sıcaklığı 10–25 °C'dir. Düşük sıcaklıklara özellikle donlara karşı son derece hassastır (Atalay vd., 1998).

Kızılçamın yayılış gösterdiği alanlarda yıllık yağışların düzensiz olduğu, yağışın çok büyük bir bölümünü kış yağışlarının oluşturduğu görülmektedir. Çok düşük olan yaz yağışları yükseğe ve kuzeye doğru çıktıkça artmaktadır (Kantarci, 1982). Kızılçamın yayılış gösterdiği sahil kesimlerinde yıllık ortalama bağıl nem %60–70'tir. Yağışın düşük olduğu kıyı bölgelerde yazın yüksek bağıl nem kuraklığın kızılçam üzerindeki etkisini azaltmaktadır.

Kızılçam tipik bir ışık ağacıdır. Tohumların çimlenme yüzdesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olan ışık ilerleyen yaşlarda daha da önem kazanmaktadır. İlk dönemlerde siper ağaçlardan uzakta yetişen fidanların yaşama oranlarının, fidan boylarının ve gelişimlerinin arttığı görülmektedir. Işık isteği yaşla birlikte daha da artmaktadır.

Kızılçam toprak isteği bakımından oldukça kanaatkârdır. Havalanma ve su dolaşımının dolayısıyla kök gelişiminin iyi olduğu çatlaklı kireçtaşları, kumlu olan fliş ve yumuşak şistler üzerinde diğer ana materyallere göre daha iyi gelişim gösterir (Atalay vd., 1998). Optimum pH derecesi 6,0–7,5 arasında olup doğal yayılış alanlarında bu değerler 5,6–7,8 arasında değişebilmektedir.

Kızılçam ekosistemlerinde yangın göz ardı edilemez bir elementtir. Yangına karşı hassas bir tür olan kızılçam, tepe çatısının yarısından fazlasının yanmasıyla hayatini yitirebilir. Ancak yangına karşı uyum özellikleri gösteren kızılçam bir taraftan yangınla birlikte tahrip olurken, diğer taraftan yangın sonrasında tek yaşlı ve tek katlı, doğal yoldan oluşan meşcereler halinde gözlenir (Neyişçi, 1987b).

3.1.1.3. Silvikültürel özellikleri

Ülkemizdeki iğne yapraklı ağaç türleri arasında en hızlı büyüyen türlerden birisi kızılçamdır. Bulunduğu yerlerin uzun vejetasyon süresinden faydalanarak çoğu zaman 2–3 kez sürgün vererek yılda 70–80 cm boylanabilir (Saatçioğlu, 1969). Çap ve boy artımları Akdeniz Bölgesinde, 300 m yükseltilere kadar şubat ayında, 600-800 m yükseltiler arasında da mart ayında başlamaktadır. Temmuz ayından sonra çap artımı hemen hemen durmaktadır (Alpacar, 1981).

Dişi çiçekler genellikle ağacın üst ve orta kısımlarında, erkek çiçekler ise orta ve alt kısımlarında yer alırlar. İki yaşından itibaren çiçek oluşturmaya başlayan kızılçam 4–7 yaşlarına geldiğinde kozalak vermeye başlar (Aslan, 1987). Kızılçam kozalaklarının bir bölümü açılmadan ve tohumlarını dökmeden ağaç üzerinde yıllarca (8–9 yıl) kalabilmektedir. Dökülen tohumlar ise çimlenmeden ve çimlenme yeteneğini kaybetmeden toprakta birkaç yıl kalabilmektedir.

Silvikültürel faaliyetler kızılçamın biyolojisi, kuruluş amacı, yaş ve yetiştirme ortamı koşulları dikkate alınarak uygulandığında ormanlardan maksimum verimin elde edilmesini sağlar.

Kızılçamda gençleştirme biyolojisi gereği, gençleştirme yapılacak alanın topoğrafik özellikleri dikkate alınarak doğal olarak iki yolla gerçekleştirilebilir. Gençleştirmede yaygın olarak doğal tohum dökümü ve tohum takviyesine dayalı tıraşlama işletmesi uygulanmaktadır. Büyük saha siper vaziyetinde ise doğal tohum dökümünde alanın hazırlanması, tohumlama aşaması, ışık ve boşaltma kesimi aşamaları bulunmaktadır. Şerit tıraşlama yöntemi kızılçamın doğal gençlestirmesi için uygun bir yöntem olup başarıyla uygulanmaktadır, ancak alanın dik ve kayalık oluşu, erozyon tehlikesinin bulunması ya da diri örtü istilası gibi etmenler göz önünde bulundurulmalıdır. Kızılçam doğal gençliklerinde gençliğin durumu ve yetiştirme koşulları göz önüne alınarak 2–3 yaşlarında bir seyreltme yapılması gerekmektedir (Eler ve Ceylan, 1987). Bu seyreltmenin yanı sıra alanda çeşitli şekillerde zarar görmüş (mekanik, hastalık veya zararlı) fertlerin de uzaklaştırılması, boş kalan yerlere tamamlama dikimlerinin gerçekleştirilmesi meşcerenin sağlıklı gelişmesi açısından önem arz etmektedir. Sonrasında meşcerede gerçekleştirilecek sıklık bakımları, aralamalar ve budamalar meşcerenin istenilen forma kavuşmasına yardımcı uygulamalardır.

3.1.1.4. Teknolojik özellikleri ve odunun kullanım yerleri

Kızılçamın diri odunu geniş ve kırmızımsı beyaz, öz odunu ise kırmızımsı kahverengidir. Yıllık halka sınırları belirgin ve kaba dalgalıdır. Reçine kanalları yıllık halkaların içerisinde dağınık vaziyette noktalar halinde görülürler (Sarıbaş, 2008). Yumuşak olan odun dokusu orta ağırlıktadır.

Türkiye genelinde 2015 yılı için 5.140.007 m³ kızılçam odun hammaddesi üretilmiştir (Anonim, 2016b). Hızlı gelişen kızılçamın odunu, kereste, inşaat malzemesi, ambalaj sandığı, tarım aletleri, tel direği, maden direği, çit kazığı, döşeme ve deniz taşıtlarının yapımında kullanılır (Erten ve Önal, 1987). Kontrplak ve selüloz sanayiinde önemli bir ham maddedir ve kabukları tanen üretiminde kullanılmaktadır. Reçine üretimi bakımından önemi büyüktür (Yaltırık ve Efe, 1994). Ayrıca Muğla ili başta olmak üzere kızılçam ormanları bal üretimine de kaynak oluşturmaktadır.

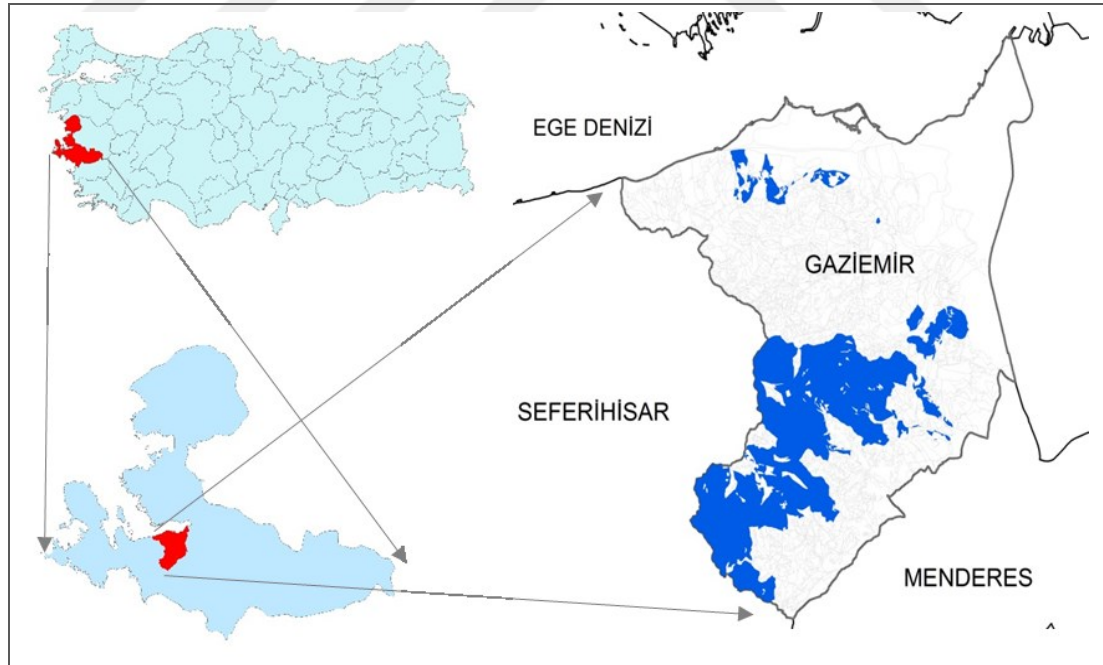
3.1.2. Çalışma alanına ait özellikler

Çalışma alanı olarak;

- Aynıyaşlı, saf ve doğal kızılçam meşcerelerinin plan ünitesinde mevcut olması,
- Ölçülecek farklı çap basamakları, meşcere yaşı, bonitet sınıfları ve kapalılık derecelerindeki örnek alan dağılımı yeterliliğinin öngörülmesi,
- Meşcere haritasının ve plan verilerinin güncel olması,
- Ulaşım kolaylığı

ölçütlerinin değerlendirilmesi sonucu, orman amenajman planı 2015 yılında yenilenen İzmir Orman Bölge Müdürlüğü, Menderes Orman İşletme Müdürlüğü, Gaziemir Orman İşletme Şefliği seçilmiştir (Anonim, 2015a).

Araştırma çalışması büyük oranda plan ünitesinin orman ürünleri üretimi ekonomik fonksiyonlu, en yüksek miktarda yapacak odun üretimi işletme amaçlı, A-Kızılçam İşletme Sınıfında gerçekleştirilmiştir. Plan ünitesinin coğrafi konumu ile kızılçam işletme sınıfının alanı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanının coğrafi konumu

Çalışmanın yapıldığı A-Kızılçam İşletme Sınıfının, verimli alanları 4.374 ha, verimsiz alanları 850 ha olup toplam ormanlık alanı 5.223 ha'dır. Kızılçam İşletme Sınıfının verimli ormanın %71-100 kapalılıkta (3 kapalı) olan kısmı 3.032 ha, %41-70

kapalılıkta (2 kapalı) kısmı 875 ha ve %11-40 kapalılıkta (1 kapalı) olan kısmı ise 467 ha'dır. Yine verimli ormanın alanı I. bonitet sınıfında 945 ha, II. bonitet sınıfında 2.825 ha ve III. bonitet sınıfında 604 ha'dır (Anonim, 2015a).

Çalışma kapsamındaki 47 adet örnek alanda ölçü işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ağaç sayıları örnek alanlar için 18 ile 95 arasında değişmekte ve ortalama 31 adettir. Çalışma materyali olarak ölçülen toplam 1412 ağacın 1408 adedi kızılçam ve dört adedi ise Saçlı meşedir (*Quercus cerris* L.).

3.2. Yöntem

Örnek alanlarda aranılan özellikler, konumlarının belirlenmesi, ölçü ve tespit işlemlerinin nasıl yapıldığı, elde edilen verilerin düzenlenmesi ve türetilmesi aşamaları, regresyon analizlerine konu çeşitli istatistik modeller ve seçim yöntemlerinin kurgulanması, verilerin değerlendirilmesine ilişkin analizler ve optimizasyon işlemleri bölüm alt başlıklarında açıklanmaktadır.

3.2.1. Örnek alanlarda aranan özellikler

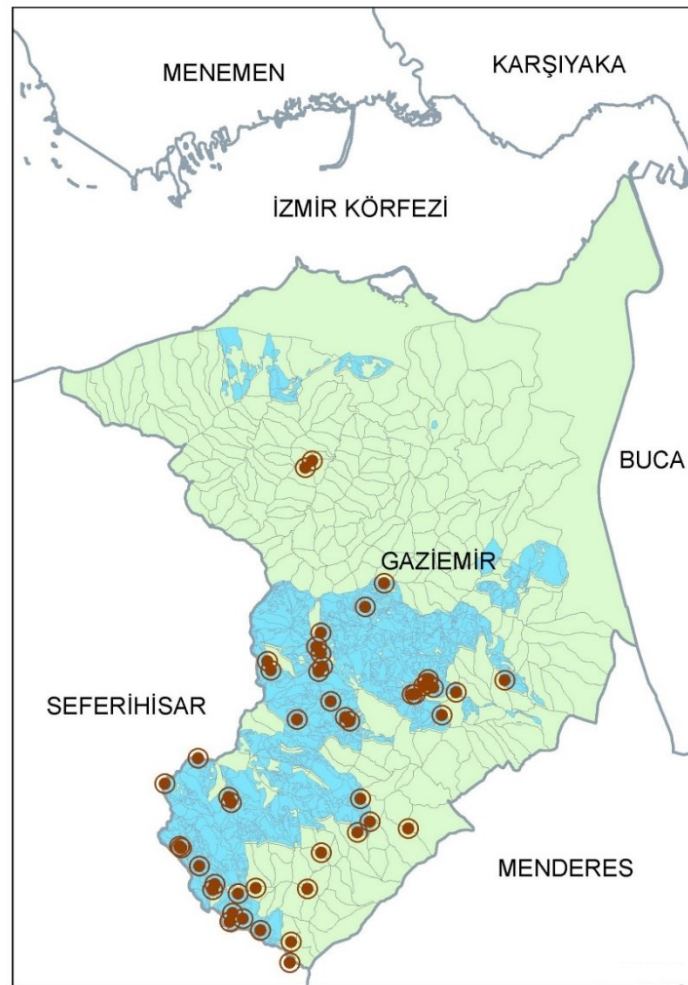
Örnek alan yüzölçümlerinin sınıflandırılması işleminin uygulamada kullanılan envanter yöntemleriyle örtüşüyor olması tercih edilmiştir. Bununla beraber örnek alan için alan içerisindeki ağaç sayısı da ölçüt olarak gözetilmiştir.

Tek ağaç çap artımı bağımlı değişkeni üzerinde, ağaç göğüs çapı, meşcere yaşı, sıklık derecesi ve bonitet endeksi gibi bağımsız değişkenlerin etkileri de çalışma kapsamındadır. Regresyon analizlerinin sağlıklı sonuçlar üretmesi için, örnek alanların bu bağımsız değişkenlere ilişkin varyasyonu iyi temsil edecek şekilde seçilmesi gerekmektedir.

İlk aşamada, mevcut sayısal plan verileri üzerinde (Anonim, 2016a) CBS programları ile yapılan analizler doğrultusunda göğüs çapları için meşcere çap sınıfları, meşcere yaşı için yaş sınıfları, bonitet endeksi için bonitet sınıfları ve sıklık dereceleri için meşcere kapalılık sınıfları baz alınarak meşcere alanları sınıflandırılmıştır. Tensil çalışması yapılan alanlar ve son yıllarda (5 yıl) bakım çalışmaları ile sıklık derecelerine

müdahale edilen meşcereler çalışma alanı dışında bırakılmıştır. Sayısal haritadan takiple, ulaşımda zorlanılmayacak biçimde, meşcerelerin iç kısımlarına 30 adet katmanlı (tabakalı) rastgele nokta atılmış, bu noktalar örnek alanlar olarak belirlenmiştir.

Arazi çalışmasının ilerleyen aşamalarında, düzenli yapılan dağılım kontrolleri ile değişken varyasyonlarındaki eksik alanlar tespit edilmiştir. Çalışmalar başladıktan sonra araziye tanımanın getirdiği tecrübe ile yeni örnek alanlar çalışma kapsamına eklenmiş, örnek alan sayısı 47'ye ulaştığında sayının varyasyonu temsil açısından yeterli olduğuna karar verilmiştir. Ancak çalışma alanı olarak belirlenen işletme sınıfı içerisinde, varyasyonu temsil yeteneği özellikleri ile bulunamayan yedi adet örnek alan, benzer meşcere özelliklerine sahip komşu alanlardan temin edilmek durumunda kalmıştır. Örnek alanların plan ünitesi (yeşil alan) ve kızılçam işletme sınıfı (mavi alan) alanı içerisindeki konumları Şekil 3.2’te görülmektedir.

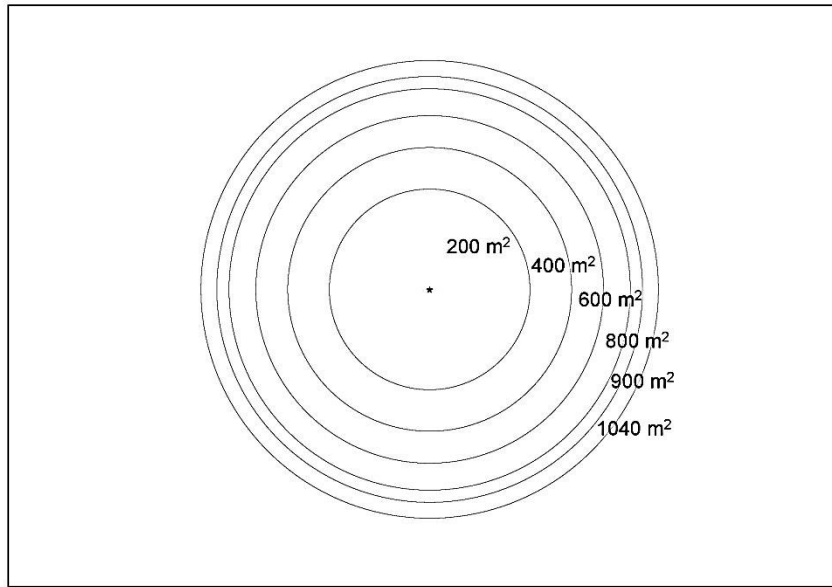


Şekil 3.2. Örnek alanların çalışma alanı içerisindeki konumları

3.2.2. Örnek alanların şekli, büyüklüğü ve sayısı

Örnek alanlar uygulamadaki amenajman çalışmalarındaki envanter yönteminde olduğu gibi daire şeklinde alınmıştır. Genel olarak uygulamadaki çalışmalar paralelinde, 1 kapalı meşcerelerde 800 m², 2 kapalı meşcerelerde 600 m², 3 kapalı meşcerelerde 400 m², gereksiz fazla sayıda ağaç ölçümüne neden olabilecek kadar sık meşcerelerde 200 m² izdüşümsel yüz ölçüme sahip olacak şekilde alınmıştır.

Örnek alanlar içerisinde, en az 17 adet ağaç sayısına ulaşılan kadar (Güneş, 2005) genişletilerek çalışıldığı için yüzölçümleri 800 m²'den büyük olan alanlar da bulunmaktadır. Yüzölçümleri 200, 400, 600, 800, 900, 910 ve 1040 m² (Şekil 3.3) olan toplam 47 adet örnek alanda çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.3. Örnek alanların şekil ve büyüklükleri

3.2.3. Örnek alanlarda yapılan ölçü ve tespitler

Sayısal harita üzerinde rastgele belirlenen örnek alan koordinatları GPS cihazı yardımı ile arazide bulunmuş, nokta örnek alan dairesinin merkezi olarak sabitlenmiştir. Merkez üzerinden lazer mesafe ölçer ile örnek alan içerisinde kalacak ağaç sayısı kabaca hesaplanıp örnek alanın büyüklüğüne karar verilmiştir. Sabitlenen nokta üzerine kurulan tripot, buna bağlı pusula ve lazer mesafe ölçer ile örnek alan içerisindeki ağaçların numaralanması, semt açısı, mesafe ve göğüs çapı ölçümleri

kuzeyden başlayarak saat yönünde bir tur (360 derece) dönülerek gerçekleştirilmiştir. İkinci turda boy ölçer ile ağaçların boyları ölçülerek envanter karnesinin ilgili sütunlarına kayıt edilmiştir. Devamında ağaçların kabuk kalınlıkları ile yaş ve son 10 yıllık halka kalınlıkları için göğüs yüksekliğinden artım kalemleri alınmıştır. Kabuk kalınlıkları karnesine kaydedilmiş, artım kalemleri de yeterlilik şartları denetlenerek büroda ölçülmek üzere numaralanarak muhafazaya alınmıştır.

Ölçü ve tespitlerin nasıl yapıldıkları işlem sırası gözetilerek bölüm alt başlıklarında ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır.

3.2.3.1. Ağaçların numaralandırılması ve konumlandırılması

Örnek alan merkezinin kuzey yönü pusulayla belirlendikten sonra, alan içindeki göğüs çapı 8 cm'ye eşit ve büyük tüm ağaçlara mümkün olduğu ölçüde merkezle yaptıkları semt açısı küçükten büyüğe doğru, bir (1) sayısından başlayarak numara verilmiştir. Verilen sıra numaraları, ağaç gövdelerinin merkeze bakan ve göğüs yüksekliği altında kalan bölümlerinde, kabuğun balta ile kazınması sonucu açılan aynalara yağlı tebeşir ile yazılmış ve envanter karnesine kaydedilmiştir.

3.2.3.2. Semt açısının ölçülmesi

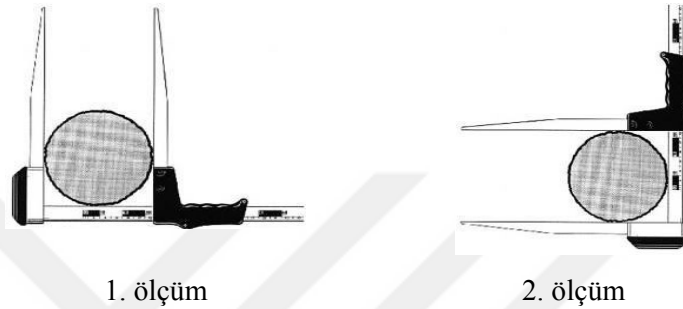
Örnek alanların sabitlenen merkezinden sıra numarası verilmiş her bir ağaca Suunto marka pusula ile bakılarak kuzeyle yaptığı semt açısı 0,5 derece hassasiyetinde okunmuş ve değer envanter karnesine kaydedilmiştir.

3.2.3.3. Örnek alan merkezine olan mesafenin ölçülmesi

Ölçü işlemleri Leica DISTO D3a BT model lazer mesafe ölçeri ile yapılmıştır. Cihaz örnek alanın sabitlenen merkezine kurulu tripota bağlı biçimde ve 1 cm hassasiyetle çalıştırılmıştır. Lazer noktası, mümkün olduğunca ölçülen ağacın gövdesinde toprak seviyesinden tripot boyu kadar yüksekliğe rasat edilerek mesafe okunmuş ve değer kaydedilmiştir. Lazer mesafe ölçer yardımıyla yatay mesafeler otomatik olarak ölçülmüştür.

3.2.3.4. Göğüs çapının ölçülmesi

Örnek alandaki 1,30 m yüksekliğindeki çapı 8 cm ve daha büyük olan tüm ağaçlarda birbirine dik iki adet ölçü işlemi yapılmıştır. Birinci ölçüm arazi eğimine göre üst taraftan, ikinci ölçüm ise ilk ölçüme 90 derecelik açı ile aynı yükseklikte çapölçer ile (Şekil 3.4) gerçekleştirilmiştir. Ölçümde mm hassasiyetinde Haglöf marka çapölçer kullanılmış, ölçümler envanter karnesine kayıt edilmiştir.



Şekil 3.4. Göğüs çapı ölçü işlemi aşamaları

3.2.3.5. Ağaç boyunun ölçülmesi

Örnek alan içerisindeki tüm ağaçların toprak seviyesi ile tepe uç tomurcuğu arasındaki yükseklik farkı (boy) ölçülmüştür. Bu işlem için 10 cm hassasiyet ile çalışan Haglöf Vertex IV elektronik boyölçer cihazı kullanılmıştır. Ölçümler arazi şartları elverdiği ölçüde, ölçülen ağaç ile aynı eşyükselti eğrisi üzerindeki bir noktadan yapılmıştır.

3.2.3.6. Çift kabuk kalınlığının ölçülmesi

Örnek alanlardaki ağaçlarda birinci çap ölçümünün yapıldığı anda çapölçerin hareketli kolunun ağaca temas ettiği yerden kabuk kalınlığı ölçümü yapılmıştır. Ölçü işlemi Haglöf kabuk ölçer aleti ile 0,5 mm hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir. Çift kabuk kalınlığı bu ölçüm değerinin iki ile çarpımı ile hesaplanmış ve envanter karnesinde ilgili sütuna işlenmiştir.

3.2.3.7. Ağaç yaşının ölçülmesi

Örnek alanlardaki tüm ağaçlardan, mümkün olduğunca birinci çap ölçümünün yapıldığı andaki çap ölçerin hareketli kolunun ağaca temas ettiği noktadan, Pressler artım burgusu ile artım kalemleri alınmıştır. Artım burgusunun ağacın özünden geçecek yönde ve mümkün olduğunca gövde eksenine dik açıda alınmasına özen gösterilmiştir. Arazi çalışmaları esnasında alınan kalemler, özel hazırlanan dosyalarında numaralandırılarak istiflenmiştir. Artım kalemleri üzerindeki ölçümler, zaman içinde nem kaybı ile boyut değişimi veya küflenme gibi herhangi bir deformasyon riskinin önlenmesi amacıyla aynı gün içerisinde gerçekleştirilmiştir. Artım kalemleri gerekli durumlarda zımpara ile temizlenmiş, kambiyumdan öze kadar kalemlerdeki yıllık halkaların tamamı sayılarak göğüs yüksekliği yaşı olarak karnesine kayıt edilmiştir.

Örnek alanların yakınlarında tespit edilecek göğüs yüksekliğine denk boylu fidanların yaşlarının göğüs yüksekliği yaşlarına eklenmesi ile ağaç yaşlarının belirlenmesi amacıyla ölçümler yapılmıştır. Ancak bazı örnek alanlar için nitelik ve nicelik olarak yeterli ölçütlerde fidan bulunamamış, bulunanlardan bir kısmının baskı altında olumsuz, ya da yol dolgu şevlerinde rahat koşullarda geliştiği gözlenmiştir. Meşcerenin gençlik çağlarındaki koşulları ile oldukça farklı şartlarda yetişen bu fidanların yaş değerleri kullanılmamıştır. Gölge ağaçlarının tersine, kızılçam gibi ışık ağaçları siper altında uzun süre hayatini az bir büyümeyle sürdürmediği için, genç fertlerin göğüs yüksekliğine ulaşma süreleri büyük ölçüde bonitet sınıfına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu alanlarda bonitet endeksi değerleri ile orantılı olarak ağaçların göğüs yaşlarına, 1,30 m boya ulaşana kadarki yaşları 6 ile 10 yıl arasında değerler olarak eklenerek ağaçların yaşları hesaplanmıştır. Erkan (1996)'ın çalışmasındaki değerler bu çalışmadaki fidan yaşı değerleri ile uyduğu için bu değerler arasındaki dağılım kullanılmıştır.

3.2.3.8. Göğüs yüksekliğinde son 10 yıllık halka kalınlığının ölçülmesi

Son 10 yıla ait yıllık halka kalınlıkları el kumpası ile 0,1 mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Çıplak gözle okunamayacak biçimde sıkışık olan yıllık halkaların

ölçülmesi işleminde yardımcı ekipman olarak x10 lup kullanılmıştır. Yıllık halkaların sayım ve ölçümü aşamalarından birkaç görsel Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Yıllık halkaların sayım ve ölçüm aşamaları

3.2.3.9. Diğer ölçüm ve tespitler

Arazi çalışmalarının yapıldığı tarihlerin sıralamasına göre ilkten itibaren envanter karnelerine 1 ile 47 arasında sıra numarası verilmiştir. Örnek alanların merkez koordinatları Garmin e-trex 60 model Global Positioning System (GPS) cihazından okunarak, Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonu, WGS84 (World Geodetic System) koordinat sisteminde okunmuş ve karnelerine kaydedilmiştir.

3.2.3.10. Ölçümlerin kayıt, düzenleme ve kontrol işlemleri

Ölçümler arazi çalışması öncesi tasarlanan ve çalışmaların ilk aşamalarında geliştirilerek son şekli verilen envanter karnelerinde ilgili satır-sütunlarına kayıt edilmiştir. Örnek ağaçlardan alınarak istiflenen, aynı gün içerisinde ölçülen yaş ve son 10 yıllık halka kalınlıkları verileri de bu envanter karnelerine işlenmiştir. Envanter karnesinin boş bir örneği (Çizelge A.1) “EKLER” bölümünde yer almaktadır.

Envanter karneleri, MS Office Excel 2016 programı ile sayısal formata dönüştürülmüş ve ham veriler düzenlenmiştir. Her örnek alan için ayrı numarayla hazırlanan veri dosyalarındaki sütunlar, kayıt hatalarına karşı tek tek kontrol edilmiş, en büyük ve en küçük değerler öncelikli olmak üzere muhtemel hatalar tespit edilmiş, orijinal karneler ile karşılaştırılarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır.

3.2.4. Örnek alanlarda yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi

Çalışmanın bu aşamasına kadar veri dosyaları ham hallerinin son aşamasına getirilmiştir. Örnek alanlardan elde edilen verilerin bir bölümü kullanılarak yeni verilerin üretilmesi gerekmektedir. Böylece bazı ham veriler hem regresyon analizleri için uygun veri formuna yükseltilmiş, hem de seçim yöntemleri için gereken örnek ağaçların tespit edilmesinde kullanılmıştır.

Yapılan ölçümlerin diğer işlemlerde değerlendirilmesi amacıyla, gerekli olan ve olabilecek veri sütunları türetilerek yeniden şekillendirilmiştir. Alt başlıklarda ayrıntılı olarak açıklanan ölçümlerin değerlendirme ve kayıt işlemlerinden sonra örnek alanlar için hazırlanan dosyalar birleştirilerek tek bir veri dosyası haline getirilmiş, R programlama dili ve IBM SPSS 24.0 programı ile kullanılabilecek formatlara dönüştürülmüştür. Yapılan işlemler bölüm alt başlıkları ile aşağıda sıralanmıştır.

3.2.4.1. Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapının belirlenmesi

Örnek ağaçların kabuklu göğüs çapı değeri farklı yönden yapılan iki ölçümün aritmetik ortalaması olarak ilgili sütununa kaydedilmiştir.

Kabuksuz göğüs çapı değeri çap artımının modellenmesi ve kabuk faktörünün hesaplanması için gereklidir. Denklem 3.1’de görüldüğü biçimde hesaplanmıştır.

$$d'_{1.3} = d_{1.3} - 2b \quad (3.1)$$

Burada, $d'_{1.3}$ = kabuksuz göğüs çapı (cm), $d_{1.3}$ = kabuklu göğüs çapı (cm) ve $2b$ = çift kabuk kalınlığını (cm) ifade etmektedir.

3.2.4.2. Periyot ortası kabuksuz göğüs çapının belirlenmesi

Periyot ortası kabuksuz göğüs çapı değeri çap artımının modellenmesi işlemlerinde kullanılmak üzere, kabuksuz göğüs çapından son 10 yıllık halka uzunluğunun çıkartılması ile elde edilmektedir. Denklem 3.2’de görüldüğü biçimde hesaplanmıştır.

$$POd'_{1.3} = d'_{1.3} - \sum_{i=1}^{10} i_r \quad (3.2)$$

Burada, $POd'_{1.3}$ = periyot ortasındaki kabuksuz göğüs çapı (cm), $d'_{1.3}$ = kabuksuz göğüs çapı (cm) ve $i_r = r$. yılın halka kalınlığını (cm) ifade etmektedir.

3.2.4.3. Periyodik ortalama kabuksuz çap artımının belirlenmesi

Periyodik ortalama kabuksuz çap artımı göğüs çap artımının modellenmesinde bağımlı değişken olarak kullanılan değerdir. Çalışmada, son 10 yıllık halka uzunluğunun, periyot yarısı olan beşe bölünmesi ile Denklem 3.3’de görüldüğü biçimde hesaplanmıştır.

$$Id' = \frac{\sum_{i=1}^{10} i_r}{5} \quad (3.3)$$

Burada, Id' = periyodik ortalama kabuksuz çap artımı (cm) ve $\sum_{i=1}^{10} i_r$ = son 10 yıllık halka uzunluğunu (cm) ifade etmektedir.

3.2.4.4. Meşcere yaşının belirlenmesi

Aynıyaşlı meşcerelerde her örnek alanın orta yaşı, o alan içindeki örnek ağaçların tamamından elde edilen yaş değerlerinin aritmetik ortalaması olarak hesaplanabilmektedir. Bununla beraber orta yaş olarak galip tabakadaki değişik çaplı birkaç ağacın yaş ortalamalarının kullanımı da kabul gören yöntemlerdir (Fırat, 1973; Kalıpsız, 1984; Çatal, 2009).

Çalışmada, örnek alanlardaki tüm ağaçlarda yaş ölçümleri yapıldığından, örnek alan orta yaşı tüm ölçülen ağaçların yaş ölçüm değerlerinin aritmetik ortalaması olarak hesaplanmıştır.

3.2.4.5. Meşcere üst boyunun belirlenmesi

Yetiştirme ortamı verimliliğinin ölçümünde meşcere yaşınnın bir fonksiyonu olarak meşcere üst boy değerininn kullanımı, uygulamada da tercih edilen pratik bir yöntemdir. Meşcere üst boyu; 5-10 adet galip ağacının boylarının ortalaması, galip ağaç sınıfının göğüs yüzeyi orta ağaç çapına göre meşcere boy eğrisinden alınan boy değeri, yeterli sayıda galip ağaçtan ölçülen boyların aritmetik ortalaması, meşcerenin en kalın çaplı ağaçlarının yaklaşık %10'u kadar olan galip ağaç boylarının aritmetik ortalaması, hektardaki en kalın çaplı 100 ağacının boylarının ortalaması, en kalın çaplı ağaçlardan başlayarak hektarda 100 ağaç hesabıyla örnek alana düşen oranda galip ağacının göğüs yüzeyleri orta çapına göre meşcere boy eğrisinden alınan orta boy değeri olarak çeşitli şekillerde hesaplanabilmektedir (Akalp, 1978; Kalıpsız, 1984).

Bu çalışmada her örnek alan için, tepe ve gövde kusuru olmayan, galip tabakadaki bireyler arasından seçilen, en uzun boylu 5 adet galip ağaçtan ölçülen boyların aritmetik ortalaması örnek alan üst boyu olarak kullanılmıştır.

3.2.4.6. Meşcere bonitet endeksinin belirlenmesi

Çalışmada bonitet endeksi, tek ağaç çap artımı modelleri için kullanılacak bağımsız değişkenler kapsamında değerlendirileceğinden örnek alanlara ait bonitet endeksi değerlerinin de bilinmesi gerekmektedir. Örnek alanların verimlilik ölçüleri, bu amaç için önceden düzenlenmiş tablolardan yararlanılarak belirlenebilir (Akalp, 1978). Her örnek alan için bonitet endeksi değerlerinin belirlenmesinde Çatal (2009)'ın doktora tezi çalışmasında düzenlediği bonitet endeksleri tablosundan yararlanılmıştır.

3.2.4.7. Hektara çevirme katsayısının belirlenmesi

Örnek alanların hektara çevirme katsayıları Denklem 3.4'te ile hesaplanmıştır.

$$H\check{C}K = \frac{10000}{\check{O}AY} \quad (3.4)$$

Burada, $H\check{C}K$ = hektara çevirme katsayısı ve $\check{O}AY$ = örnek alan yüzölçümünü (m^2) ifade etmektedir.

3.2.4.8. Meşcere göğüs yüzeyinin belirlenmesi

Örnek alanların her birinde, her ağaç için göğüs çapının bir fonksiyonu olarak göğüs yüzeyleri hesaplanmıştır. Örnek ağaçların göğüs yüksekliğindeki çap değeri ile Denklem 3.5a kullanılarak tek ağaç göğüs yüzey değerleri hesaplanmıştır.

$$g = \frac{\pi}{4} * d_{1.3}^2 \quad (3.5a)$$

Burada, g = örnek alandaki tek ağacın göğüs yüzeyi (cm^2), π = pi sayısı (3.14159) ve $d_{1.3}$ = göğüs çapını (cm) ifade etmektedir.

Denklem 3.5b’de takip edilebileceği gibi, örnek alandaki ağaçlara ait göğüs yüzeyi değerleri toplanarak elde edilen değer m^2 birimine çevrilmiş ve örnek alana ait hektara çevirme katsayısı ile çarpılarak, hektardaki göğüs yüzeyi tespit edilmiştir.

$$G = \left\{ \frac{(\sum_{i=1}^n g_i)}{10000} \right\} * HÇK \quad (3.5b)$$

Burada, G = hektardaki göğüs yüzeyi (m^2/ha), g_i = örnek alandaki i . ağacın göğüs yüzeyi (m^2), n = örnek alandaki ağaç sayısı ve $HÇK$ = hektara çevirme katsayısını ifade etmektedir.

3.2.4.9. Tek ağaç hacimlerinin belirlenmesi

Örnek ağaçların hacimleri Çatal (2009)’ın Batı Akdeniz Yöresi, saf, aynıyaşlı ve doğal yoldan gelen kızılçam meşcereleri için düzenlediği çift girişli kabuklu gövde hacim modeli (Denklem 3.6) esas alınmıştır.

$$v = d_{1.3}^2 * (0.0000366463 + 0.0000279378 * h) \quad (3.6)$$

Burada, v = ağaç hacmi (m^3), $d_{1.3}$ = göğüs çapı (cm) ve h = boy (m) değerlerini ifade etmektedir.

Her bir seçim yöntemi için en iyi olarak seçilmiş çap-boy modelleri ile tek girişli DKGH modellerine dönüşümü yine bu çift girişli DKGH modelinin kullanımıyla gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.10. Konu ile ilgili bazı orta ağaçların belirlenmesi

Örnek ağaç seçim yöntemleri kurgulanırken ölçüt olarak kullanılması kararlaştırılan bazı orta ağaçların belirlenmesine ilişkin işlemler alt başlıklarda aşağıda verilmiştir.

3.2.4.10.1. Göğüs yüzeyi orta ağacının belirlenmesi

Göğüs yüzeyi orta ağacının çap değeri (d_g), hektardaki göğüs yüzeylerinin hektardaki ağaç sayısına bölümü sonucu elde edilen ortalama göğüs yüzeyine sahip ağacın çapı olarak hesaplanmıştır (Fırat, 1973; Kalıpsız, 1984). Örnek alandaki göğüs yüzeyi ortalaması Denklem 3.7a, göğüs yüzeyi orta ağacı çapı ise Denklem 3.7b kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\bar{g} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n g_i \quad (3.7a)$$

$$d_g = 2 * \sqrt{\frac{\bar{g}}{\pi}} \quad (3.7b)$$

Burada, $\bar{g}$ = örnek alandaki göğüs yüzeyi ortalaması (cm^2), n = örnek alandaki ağaç sayısı (adet) ve d_g = göğüs yüzeyi orta ağacı çapını (cm) ifade etmektedir.

3.2.4.10.2. Weise orta ağacının belirlenmesi

Weise orta ağacı, seçim yöntemlerinde örnek ağaç seçim ölçütü olarak kullanılmıştır. Bu nedenle her örnek alan için ve örnek alanlardaki her çap sınıfı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Örnek alanlarda ve kapsamındaki çap sınıfı gruplarında; kalın çaplılardan azalan şekilde sıralanmış ince çaplı ağaçlara gidilirken %40'ına karşılık olarak gelen çap ile “Weise orta ağacı” belirlenmiştir.

3.2.4.10.3. Aritmetik orta ağacı göğüs çapının belirlenmesi

Aritmetik orta ağacı, seçim yöntemlerinde bir seçim ölçütü olarak kullanılmak üzere Denklem 3.8 ile hesaplanmaktadır. İlgili seçim yöntemlerinde (SY50 ve SY54) her

örnek alan için hesaplanan aritmetik orta ağaç çapının bir üst ve altındaki en yakın değere sahip iki adet ağaç, örnek ağaç olarak seçilmektedir.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N d_{1.30i}}{n} \quad (3.8)$$

Burada, $\bar{d}$ = aritmetik orta ağaç çapı (cm), $d_{1.30i} = i$. ağacın göğüs çapı (cm) ve n = örnek alandaki ağaç sayısını (adet) ifade etmektedir.

3.2.4.11. Çap sınıfları ve çap basamaklarının belirlenmesi

Örnek ağaçların çap sınıflarına ve çap basamaklarına dağılımları ekseninde kurgulanmış bazı seçim yöntemleri için çap sınıflarının tespit edilmesi gerekmektedir. Göğüs çapları için 8,0-19,9 cm aralığı “b” çap sınıfını, 20,0-35,9 cm aralığı “c” çap sınıfını ve 36,0-51,9 cm aralığı ise “d” çap sınıfını ifade etmektedir. Sınıflandırma tüm örnek ağaçlar için MS Office Excel 2016 programında formül yazılarak belirlenmiş ve veri dosyasında kaydedilmiştir. Aynı işlem 2 ve 4 cm çap basamakları için de gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.12. Meşcere rölatif sıklık derecesinin belirlenmesi

Meşcere sıklığı kavramı genel kapsamda alandaki mevcut ağaç gövdelerinin kalabalıklık derecesini ifade etmektedir (Yeşil, 1994). Ormancılık çalışmalarında bu kavram, meşcere geleceğinin öngörümü için hasılat modellerinin kurulması ile, meşcere mevcut durumunun idare ve işletme amaçlarını karşılama yeterliliğinin belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Meşcere sıklığının belirlenmesi amacıyla kullanılan ölçülerin, kolay ve objektif biçimde elde edilebilmesi, biyolojik olarak anlamlı olması ve meşcere gelişimi ve hasılat ile aralarında sıkı bir ilişki bulunması istenmektedir.

Meşcere sıklıkları ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, meşcere hacmi ve kapalılık derecesi gibi dolaysız ölçü yöntemleri kullanılarak belirlenebilir. Ancak bu parametreler tek başlarına kullanıldıklarında anlamlı bir sıklık ölçüsü olarak değerlendirilememektedir.

Bu ölçümlerden kombine edilerek geliştirilmiş yöntemler dolaylı ölçüm yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır. Meşcere sıklığının belirlenmesi amacıyla kullanılan dolaylı ölçüm yöntemleri ise meşcere sıklık göstergesi, ağaç alanı oranı, rekabet faktörü, dikim aralığı göstergesi, rölatif sıklık ve meşcere stok oranı yöntemleri olarak sıralanabilir (Yeşil, 1994).

Bu çalışmada örnek alanların sıklığının belirlenmesinde rölatif sıklık derecesi kullanımı tercih edilmiştir (Curtis vd., 1981). Hektardaki göğüs yüzeyi ile göğüs yüzeyi orta ağacı çapı arasındaki matematik ilişki Denklem 3.9 ile de ifade edilmiştir.

$$RS = \frac{G}{\sqrt{d_g}} \quad (3.9)$$

Burada, RS = rölatif sıklık derecesi, G = hektardaki göğüs yüzeyi (m^2/ha) ve d_g = göğüs yüzeyi orta ağacının çapını (cm) ifade etmektedir.

3.2.5. Meyer'in enterpolasyon yöntemi ve değişkenlerinin modellenmesi

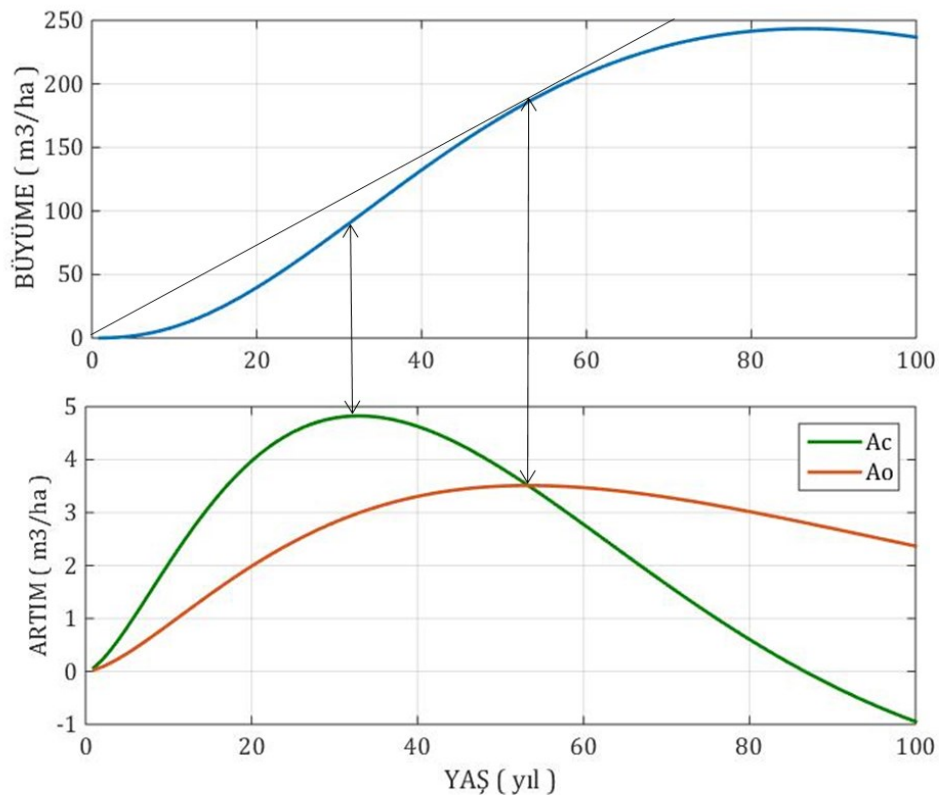
Bu bölüm içeriğinde büyüme ve artıma ilişkin genel bilgiler, Meyer'in enterpolasyon yöntemi, uygulamada kullanımı, formülü ve içerdiği değişkenler, örnek olarak alınması gereken artım kalemi sayısı ile ilgili kapsamlı bilgiler bulunmaktadır. Ayrıca Meyer'in enterpolasyon yöntemi kapsamındaki değişkenler için denenen istatistik modeller değişkenlerin modellenmesi adlı alt bölümde verilmektedir.

3.2.5.1. Büyüme ve artım

Büyüme, ağaçların boy, çap, şekil gelişmeleri sonucu hacminde meydana gelen değişimdir. Artım ise kısa periyotlar (5-10 yıl) içinde meydana gelen büyüme olarak tanımlanmaktadır (Fırat, 1972).

Orman ekosistemi ya da içerisindeki bir canlı, zaman içerisinde büyüyüp gelişmektedir. Bu yüzden büyüme yaşa bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Üreyip çoğalma sonucu mekânın ve olanakların yetmemesi, yaşlanma ve ölüm, doğal büyüme sınırlarına ulaşma nedenleri ile büyüme hızı azalır. Böylece yaşa bağlı olarak

büyümenin eğilimi, asimetrik bir S eğrisi biçimini alır. Kısa zaman aralıklarındaki büyüme miktarlarına artım (büyüme hızı) adı verilmektedir. Artım, matematikte zamana bağlı büyüme fonksiyonunun türevi olarak tanımlanmaktadır. Artımın yaşa bağlı olarak eğilimi, bir en yüksek (azami) noktası olan çan eğrisi biçimindedir. Bu artıma cari artım (Ac) adı verilmektedir. Ağaç ya da meşcerede belirli bir t yaşına kadar büyüme miktarının yaşa bölünmesi ile de ortalama artım (Ao) bulunmaktadır (Kalıpsız, 1982). Büyüme ve artım fonksiyonları için genel grafikler Şekil 3.6.'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Meşcere hacminin büyüme ve artım fonksiyonları genel grafikleri

Artım ve büyümenin doğru olarak ortaya konulması ormancılıkta geleceğe dönük planların hazırlanması ve başarılı bir işletmecilik yapılması açısından önem taşımaktadır. Artımın doğru olarak saptanamaması halinde, ormancılık uygulamalarına yanılğı ile başlanmış olacaktır (Yeşil, 1986).

3.2.5.2. Meyer'in enterpolasyon yöntemi

Meşcere hacim artımını hızlı ve sağlıklı bir şekilde tayin etmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ormancılıkta geleceğe dönük planların hazırlanmasında geçmiş dönemde meydana gelen hacim artımının yanı sıra, gelecekte oluşacak hacim artımının bilinmesine ihtiyaç vardır. Gelecekte oluşacak artım miktarı, geçmişte meydana gelen artımdan yararlanılarak tahmin edilebilmektedir.

Meşcere hacim artımının tayini,

- Dönem başı ve sonunda oluşan artım ölçülerek aralarındaki farkı almak (periyodik ölçme)
- Meşceredeki ağaçların belirli dönemde yapmış oldukları artımları saptamak (tek ölçme)
- Meşcere tablosu (hasılat tablosu)

kullanmak suretiyle hesaplanabilmektedir (Kalıpsız, 1982).

Tek ölçü ile artım tahmininde, meşcerenin bugünkü durumu üzerinden, tek seferde yapılan ölçülerle artımın kestirilmesi yoluna gidilmektedir. Tek ölçü yönteminde örnek alan verilerinden faydalanılmaktadır (Akalp, 1978).

Meyer'in enterpolasyon yöntemi, meşcereyi oluşturan ağaçların hacim artımlarını tayin ederek toplamını almak şeklinde uygulanan “tek ölçme” yöntemlerindendir. Meyer'in hacim artımını tayin için verdiği formül, ağaç türü için hazırlanmış tek girişli dikili kabuklu gövde hacim tablosundaki çap basamakları arasındaki hacim değerleri farkına dayanmaktadır (Kalıpsız, 1984).

Tek ağaçlarda yıllık hacim artımı Denklem 3.10a'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$i_v = \frac{\Delta v}{\Delta d} * i_d \quad (3.10a)$$

Burada, i_v = hacim artımı ($m^3/yıl$), $\frac{\Delta v}{\Delta d}$ = artış faktörü (m^3/cm) ve i_d = periyodik kabuklu göğüs çapı artımını ($cm/yıl$) ifade etmektedir.

Meyer'in interpolasyon yöntemi k sayıda çap basamağı olan bir meşcere için Denklem 3.10b'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

$$I_v = \sum_{i=1}^k \frac{\Delta v}{\Delta d} * i'_d * K * N_i \quad (3.10b)$$

Burada, I_v = meşcerenin yıllık hacim artımı (m^3/ha), k = çap basamağı sayısı (adet), $\frac{\Delta v}{\Delta d}$ = artış faktörü (m^3/cm), i'_d = periyodik kabuksuz göğüs çapı artımı ($cm/yıl$), K =kabuk faktörü, i = çap basamakları sırası ve $N_i = i$. basamaktaki ağaç sayısını (adet) ifade etmektedir.

Hacim artımı tablolarının Meyer'in interpolasyon yöntemi ile hesaplanması ülkemizde 1957 yılında başlamış olup, kullanımı günümüzde de sürdürülmektedir. Orman Genel Müdürlüğünün 21.08.1957 gün ve 3/3951-1 sayılı genelgesi ile, “Orman Amenajman Planlarının tanzimine ve tatbikine ait talimatname”nin 66. maddesi değiştirilerek, cari artımın Meyer yöntemine göre hesaplanması kabul edilmiştir. Amenajman Şube Müdürlüğünün hazırladığı “Hacim artımının Meyer yöntemine göre hesaplanması” adlı kılavuzda interpolasyon yöntemi esas alınmış ve bu yöntem örnek cetveller üzerinden açıklanmıştır (Kalıpsız, 1968).

Orman amenajman planlarının yapılmasında 10.12.2014 tarihinde yürürlüğe giren ve 22.11.2017 tarihinde güncellenen “Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar” isimli 299 no'lu tebliğ uygulanmaktadır. Tebliğ'in, 5.4.1.3 Örnek Alanlarda Yapılan Ölçüm ve Tespitler kısmında, dikili kabuklu gövde hacim artım tablolarının nasıl hazırlanacağı açıklanmaktadır. Yapılması gereken işlemler “Dikili kabuklu gövde hacim artımı tablosu yenilenecek ise örnek alanlarda, Meyer'in Enterpolasyon Yöntemi ile artım tayini için en az üç ağacın 1,30 m'deki yüksekliğinden artım kalemi alınarak, kabuktan itibaren ilk 10 halka ve çift kabuk kalınlıkları ölçülerek tabloya geçirilir. Objektif kalınabilmesi için artım kalemi merkeze en yakın değişik çaplı ağaçlardan ve plan ünitesinde veya işletme sınıfında, her ağaç türü için ayrı ayrı, her çap basamağından olabildiğince eşit miktarda ağaçtan alınır. Eksik kalan çap basamakları için ilave ölçüm yapılır. Artım kalemi, kompasın hareketli kolunun ağaca temas ettiği yerden alınır.” şeklinde tarif edilmektedir.

Uygulamadaki planlama çalışmalarında, hacim ve hacim artım tabloları yenilenmesi talep ve ihtiyacı ile DKGH ve artım tabloları düzenlenmektedir. Planlama ünitesine özgü hazırlanan (örnek alanın merkezine en yakın konumdaki değişik çaplı en az iki ağaçtan ölçülen çap ve boy değerleri kullanılarak) çap-boy eğrileri ile çift girişli DKGH tablolarından yararlanarak tek girişli DKGH oluşturulur. Envanter aşamasında örnek alanlarda seçilen ağaçlardan alınan çift kabuk ve son 10 yıllık halka kalınlıklarının da değerlendirilmesiyle, planlama ünitesinde mevcut her bir ağaç türü için tek bir DKGH ve artım tablosu hazırlanır. Planlama ünitesi için hazırlanan orman amenajman planındaki servet ve artım değerleri ile ilişkili tüm tablolar bu hacim-hacim artımı tablosundan türetilmektedir.

Meyer'in enterpolasyon yöntemi için uygulama birimlerince kullanılan hacim artımı tablosunun oluşturulma aşamaları aşağıda kısaca açıklanmış ve bu aşamaların takibi açısından örnek olarak Çizelge 3.1 verilmiştir (İşivar, 2014). Hacim artımı tablosunun oluşturulması aşamasında 1,30 kabuklu çap, çift kabuk kalınlığı, 1,30 kabuksuz çap, son 10 yıllık halka kalınlığı, periyot ortasında 1,30 kabuksuz çap, yıllık ortalama kabuksuz çap artımı ve kabuk faktörü değerleri (4-10. Sütunlar) hazırlanır. Ölçülerek elde edilen veriler (12.sütun) ile çap basamaklarının periyot ortasındaki çaplar (11. sütun) için "kabuklu çap-kabuklu yıllık çap artımı" ilişkisi denklemi oluşturulur. Mevcut tek girişli çap-hacim denkleminden de çap basamakları arasındaki hacim farkları (14. Sütun) belirlenir. Hacim farkları ortalamaları (15. sütun) alınır ve çap basamakları genişliklerine bölünerek 1 cm kabuklu çap artımına karşılık gelen değerler (16. sütun) elde edilir. Bu değer, oluşturulan grafikteki (denklemdaki) bir ağacın yıllık kabuklu çap artımı değeri (17. Sütun) ile çarpılması ile de çap basamağı genişliğindeki yıllık kabuklu hacim artımı (18. sütun) elde edilir.

Çizelge 3.1. Meyer'in enterpolasyon yöntemi ile hacim artımının belirlenmesi işlemleri (İşivar, 2014)

Çap Basamakları		Örnek ağaçlarının										Bir ağacın kabuklu gövde hacmi (m³)	Basamaklar arasındaki hacim farkı (m³)	Hacim farkları ortalaması (m³)	Kabuklu çap ortasına tekabül eden hacim artımı-Artış-Faktörü (m³)	Bir ağacın yıllık kabuklu çap artımı (grafikten alınan)cm	Bir ağacın yıllık kabuklu hacim artımı (m³)	
		Adedi	Çap basamakları itibariyle ortalama olarak															
			1,30 kabuklu çap cm.	Çift kabuk kalınlığı(cm)	1,30 kabuksuz çap(cm)	Son 10 yıllık halka kalınlığı (cm)	Periyot ortasında 1,30 kabuksuz çap(cm)	Yıllık ortalama kabuksuz çap artımı(cm)	Kabuk Faktörü	Periyot ortasında 1,30 kabuklu çap(cm)	Yıllık ortalama kabuklu çap artımı(cm)							
Genişliği	No	n	D	2B	d=D-2B	L	x=d-L	i=2L/10	K=D/d	X=K*x	İ=K*i	v	v	v'	z'=v'/4	i	z=z'*i	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
04-07,9			6									0.017						
08-11,9	1		10	1.42	8.58	3.20	5.38	0.641	1.165	6.27	0.747	0.025	0.008	0.017	0.004	0.750	0.003	
12-15,9	2		14	2.22	11.78	3.61	8.18	0.722	1.188	9.71	0.857	0.051	0.027	0.036	0.009	0.845	0.008	
16-19,9	3		18	2.90	15.10	3.85	11.24	0.770	1.192	13.41	0.918	0.097	0.046	0.056	0.014	0.898	0.012	
20-23,9	4		22	3.49	18.51	3.93	14.59	0.786	1.188	17.33	0.934	0.163	0.065	0.075	0.019	0.910	0.017	
24-27,9	5		26	3.96	22.04	3.84	18.20	0.769	1.180	21.47	0.907	0.247	0.084	0.094	0.024	0.880	0.021	
28-31,9	6		30	4.32	25.68	3.60	22.08	0.719	1.168	25.80	0.840	0.351	0.104	0.113	0.028	0.808	0.023	
32-35,9	7		34	4.57	29.43	3.18	26.24	0.637	1.155	30.32	0.736	0.473	0.123	0.132	0.033	0.695	0.023	
36-39,9	8		38	4.72	33.28	2.61	30.67	0.522	1.142	35.02	0.596	0.615	0.142	0.152	0.038	0.540	0.020	
40-43,9	9		42	4.76	37.24	1.87	35.37	0.375	1.128	39.89	0.422	0.777	0.161					

Kalıpsız (1968)'in "Meşcere Hacim Artımının Tayininde Kullanılan Meyer Metotları ve Kritiği" isimli çalışması Meyer'in yöntemleri ile ilgili olarak ülkemizde yapılan çalışmaların başında gelmektedir. Yayında hacim artımı ile ilgili verilen genel bilgiler devamında Meyer yöntemlerinin teorik ve pratik esasları açıklanmış, yöntemlerin uygulanışları, hata kaynakları ve Türkiye'deki uygulamalar kapsamında eleştiriler yapılarak sonuçlar ortaya konularak önerilerde bulunmuştur.

Tek ölçü yönteminde meşcerenin güncel yapısı üzerinden elde edilen verilerle artım tahmini yapılmaktadır. Meşcerenin geçmişi hakkında bir bilgi yoktur, yalnızca meşcerede bugün bulunan ağaçların geçmişteki artımlarının ölçülmesi söz konusudur. Bir ağacın artımının tahmin edilmesi zaman alıcı ve uğraştırıcı işlemleri gerektirdiğinden plan yapıcı az sayıda örnek ağaçtan alacağı veri ile yetinmek istemektedir. Ancak ağaçların büyüme ve artım değerleri karmaşık ve çok sayıda faktörle ilişki içerisindedir. Meşcerenin heterojen bir yapıya sahip olması sebebiyle de güvenli bir artım kestirimi yapılabilmesi için çok sayıda örneğe ihtiyaç duyulmaktadır (Kalıpsız, 1984).

Kalıpsız (1968)'in çalışmasında, envantere ilişkin açıklamalar kapsamında, alınması gereken örnek artım kalemi sayısı da incelenmektedir. Buna göre;

- Meyer (1953); göğüs çapı-çap artımı ilişkisinin modellenmesinde, çeşitli çap basamaklarına dağıtılmak üzere, en az 100 ağaçta yapılacak çap artımı ölçümünü gerekli bulmaktadır.
- Prodan (1965); kullanılması gereken artım kalemi sayısının hesaplanmasında, varyasyon katsayısı ve beklenen doğruluk derecesine göre, Denklem 3.11'i tavsiye etmekte ve varyasyon katsayısının $\pm\%20-60$ arasında değişeceğini bildirmektedir.

$$n \geq \frac{C_v^2 * t^2}{m^2} \quad (3.11)$$

Burada C_v = varyasyon katsayısı, t = istenilen güven sınırı için t dağılımı değeri ve m = göze alınan (örnekleme) hata yüzdesini ifade etmektedir.

- Kurth (1961) ve Grossman (1961) ise; belirli bir meşcerede çap artımı varyasyon emsalinin ortalama %40 alınabileceği sonucuna varmışlardır. Bu sonuca göre Kurth meşcere ortalama çap artımı tayini için alınması gereken

artım kalemi sayısını ($C_v = \%40$ ve $t = 2$ için) $m = \pm\%3$ için 711, $m = \pm\%6$ için 178 olarak hesaplamaktadır.

- Hildebrandt (1966) da; meşcere orta ağacının çap artımı varyasyon katsayısını ortalama olarak çamda $\%36,7$ ve ladinde $\%28,7$ bularak, sadece orta ağaç için çap artımının $\pm\%10$ hata ile tayini amacıyla 30 ile 60 adet arasında değişen artım kalemine ihtiyaç olduğunu belirtmiştir (Kalıpsız, 1968).

Kalıpsız (1968), çalışması sonucunda Türkiye'deki uygulamaların incelenmesi ve eleştirilmesinin devamında uygulamadaki hataların;

- Göğüs çapı-çap artımı ilişkisi kurulurken tepe kalitesi, sıklık derecesi, meşcere yaşı ve bonitet faktörlerinin dikkate alınmaması,
- İlişkinin doğrusal bir fonksiyon ile hatalı biçimde kurulması,
- Uygunluğu kontrol edilmeyen hacim tabloları ile üretilen hatalı sonuçlar,
- Arazi çalışmalarında ölçü ve değerlendirme işlemlerine yeterli düzeyde özen gösterilmemesi

vb. nedenler ile oluştuğunun tespit edildiğini belirtmiştir.

Çözüm olarak da;

- Her meşcere tipi için ayrı bir göğüs çapı-çap artımı ilişkisi kurulması,
- İlişkinin bir doğru ile değil, ikinci dereceden bir polinom ile ifade edilmesi,
- Hacim tablolarının temsil hatasını mümkün olduğunca azaltılması ve meşcereye uygunluğunun kontrolü,
- Ölçüm ve değerlendirme aşamalarında ise denetim ve istatistik kontrol

işlemlerini önermektedir.

Artımın belirlenmesine yönelik yöntemlerin tamamı teorik olarak doğrudur. Ancak bazı kabul ve ihmallere dayandıklarından aynı zamanda yaklaşıktırlar (Kalıpsız, 1973). Meyer yöntemlerinde, diğer dendrometri yöntemlerinde de olduğu gibi ölçme ve değerlendirmeler sırasında yapılabilen sistematik, tesadüfi ve temsil hataları nedeniyle matematik bir kesinlik beklenilmemelidir. Ancak hata kaynaklarını tanımak ve sonuca etkilerini bilmek, bunları azaltmayı ve gerçek değere yaklaşmayı mümkün kılacaktır (Kalıpsız, 1968).

3.2.5.3. Değişkenlerin modellenmesi

Test edilen istatistik modellerin tamamı bu bölümde denklem numaraları ile birlikte yer almaktadır. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkisi için denenen modeller ($d'_{1.3} = f(d_{1.3})$), kabuklu göğüs çapı-boy ilişkisi modelleri ($h = f(d_{1.3})$), tek girişli göğüs çapı-yıllık çap artımı modelleri ($I_d = f(d_{1.3})$) ve dört girişli göğüs çapı-yıllık çap artımı modelleri ($I_d = f(d_{1.3}, BE, SD, t)$) alt bölümler halinde verilmiştir.

3.2.5.3.1. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkisi

Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı modelleri kabuk faktörü hesaplanması aşamasında kullanılmaktadır. Her bir seçim yöntemi için hesaplanan model, regresyon analizinden önce periyot ortasındaki kabuksuz göğüs çapının ve kabuksuz göğüs çapı artımının kabuklu hale getirilmesi için gereklidir.

Meyer'in enterpolasyon yönteminde hacim artımının hesaplanmasında kullanılacak kabuk faktörü, Denklem 3.12'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır. Model kabuklu göğüs çapının bir fonksiyonu olarak kabuksuz göğüs çapını açıklamakta, devamında kabuklu göğüs çapının kabuksuza bölümü ile kabuk faktörü elde edilmektedir.

$$K = \frac{d_{1.3}}{d'_{1.3}} \quad (3.12)$$

Burada, K = kabuk faktörü, $d'_{1.3}$ = kabuksuz göğüs çapı (cm) ve $d_{1.3}$ = kabuklu göğüs çapını (cm) ifade etmektedir.

Denenecek modeller doğrusal formulu, en yüksek 2. derece polinoma kadar toplam beş adet seçilmiştir.

$$d'_{1.3} = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.13)$$

$$d'_{1.3} = \beta_1 * d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.14)$$

$$d'_{1.3} = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * d_{1.3}^2 + \varepsilon \quad (3.15)$$

$$d'_{1.3} = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * \ln d_{1.3}^2 + \varepsilon \quad (3.16)$$

$$d'_{1.3} = \beta_0 + \beta_1 * \ln d_{1.3} + \beta_2 * d_{1.3}^2 + \varepsilon \quad (3.17)$$

Burada, $d'_{1.3}$ = kabuksuz göğüs çapı (cm), $d_{1.3}$ = kabuklu göğüs çapı (cm), $\beta_{0,1,2,...n}$ = parametre katsayıları, $\ln = e$ tabanlı doğal logaritma ve ε = hata miktarını ifade etmektedir.

3.2.5.3.2. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu ilişkisi

Modellerin ilk beşi doğrusal, diğer beşi de doğrusal olmayan formlarda toplam on adet seçilmiştir. Bu modeller artış faktörünün hesaplanması amacıyla, çift girişli hacim tablolarının tek girişli forma dönüştürülmesi ön işlemi için değerlendirilmiştir.

$$h = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.18)$$

$$h = \beta_0 + \beta_1 * \ln d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.19)$$

$$h = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * \ln d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.20)$$

$$h = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * d_{1.3}^2 + \varepsilon \quad (3.21)$$

$$h = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * d_{1.3}^2 + \beta_3 * d_{1.3}^3 + \varepsilon \quad (3.22)$$

$$h = \alpha + d_{1.3}^\beta + \varepsilon \quad (3.23)$$

$$h = e^{\left(\alpha + \frac{\beta}{d_{1.3}}\right)} + \varepsilon \quad (3.24)$$

$$h = \alpha + \beta^{d_{1.3}} + \gamma * \ln d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.25)$$

$$h = \alpha + d_{1.3}^\beta + \gamma * \ln d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.26)$$

$$h = 1.3 + \left(\frac{d_{1.3}^2}{\alpha + \beta * d_{1.3} + \gamma * d_{1.3}^2} \right) + \varepsilon \quad (3.27)$$

Burada, h = ağaç boyu (m), $d_{1.3}$ = kabuklu göğüs çapı (cm), $\beta_{0,1,2,...n}$ = doğrusal formu modeller için parametre katsayıları, α, β, γ = non-linear modellerdeki farklı parametre değerleri, $\ln = e$ tabanlı doğal logaritma ve ε = hata miktarını ifade etmektedir.

3.2.5.3.3. Tek girişli yıllık çap artımı

Denenecek modeller ilk altısı doğrusal, diğer altısı da doğrusal olmayan formülü olmak üzere on iki adettir. Doğrusal olmayan modeller için ilişkilerin doğasına uygun denklemler (Ratkowsky, 1989) seçilerek kullanılmıştır. Modeller çap artımı faktörü olarak kullanılmak üzere değerlendirilecektir.

$$I_d = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.28)$$

$$I_d = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * d_{1.3}^2 + \varepsilon \quad (3.29)$$

$$I_d = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * d_{1.3}^2 + \beta_3 * d_{1.3}^3 + \varepsilon \quad (3.30)$$

$$I_d = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * \ln d_{1.3} + \varepsilon \quad (3.31)$$

$$I_d = \beta_0 + \beta_1 * 1/d_{1.3} + \beta_2 * 1/d_{1.3}^2 + \varepsilon \quad (3.32)$$

$$I_d = \beta_0 + \beta_1 * \ln d_{1.3} + \beta_2 * 1/\ln d_{1.3}^2 + \varepsilon \quad (3.33)$$

$$I_d = \alpha * d_{1.3}^\beta * \left(1 - \left(\frac{1}{d_{1.3}}\right)\right)^\gamma + \varepsilon \quad (3.34)$$

$$I_d = \alpha * d_{1.3}^\beta * e^{(-\gamma * d_{1.3})} + \varepsilon \quad (3.35)$$

$$I_d = (\alpha + \beta * d_{1.3}) * \gamma^{d_{1.3}} + \varepsilon \quad (3.36)$$

$$I_d = \frac{d_{1.3}}{(\alpha + \beta * d_{1.3} + d_{1.3}^\gamma)} + \varepsilon \quad (3.37)$$

$$I_d = e^{(\alpha + \beta * \ln d_{1.3} + \gamma^{d_{1.3}})} + \varepsilon \quad (3.38)$$

$$I_d = \frac{d_{1.3}}{(\alpha + \beta * d_{1.3} + \gamma * d_{1.3}^2)} + \varepsilon \quad (3.39)$$

Burada, I_d = kabuklu çap artımı (cm), $d_{1.3}$ = kabuklu göğüs çapı (cm), $\beta_{0,1,2,...,n}$ = doğrusal formülü modeller için parametre katsayıları, α, β, γ = non-linear modellerdeki farklı parametre değerleri, $\ln = e$ tabanlı doğal logaritma, e = euler sayısı (2,7183) ve ε = hata miktarını ifade etmektedir.

Bağımsız değişken periyot ortasındaki kabuksuz göğüs çapı ile bağımlı değişken kabuksuz yıllık çap artımı verileri, aynı seçim yöntemine ait örnek ağaçlar kullanılarak oluşturulmuş modellerden elde edilen kabuk faktörü ile çarpılmış, tek girişli çap artımı modelleri için regresyon analizleri bu işlemlerden sonra gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.3.4. Dört girişli yıllık çap artımı

Modellerin tamamı doğrusal formulu seçilmiştir. Eksi değerli yıllık hacim artımı üretme olasılığının önüne geçmek amacıyla, bağımlı değişken toplam yirmi bir adet modelin on ikisi “karekök”, dokuzu ise “e tabanlı doğal logaritma” fonksiyonu biçiminde ifade edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan modellerin bir bölümü, konu ile ilgili incelenen diğer çalışmalardaki (Saraçoğlu, 1988; Vanclay, 1994; Carus, 1995; Kangas ve Maltamo, 2006; Carus ve Çiçek, 2007; Ercanlı vd., 2007; Yıldızbakan vd., 2012; Carus ve Gülден, 2014; Çatal vd., 2014) farklı sayılarda bağımsız değişkenler ile yapılandırılmış istatistik modellerin dört girişli forma uyarlanmaları ile düzenlenmişlerdir.

Diğer bölümü için ise dört bağımsız değişkenin farklı kombinasyonları ile 64 farklı formda parametre türetilmiştir. Bu amaçla parametrenin önemlilik düzeyini (p değerini) esas alarak çalışan stepwise regresyon tekniği kullanılmıştır. Opsiyonel olarak p değerinin toleransının azaltılmasıyla önemliliğine ait güven düzeyinin de artırılması hedeflenmiştir. Verilerin geneli için bu şekilde uygulanan regresyon analizleri sonucu, önemlilik düzeyi yüksek parametrelerden oluşan modeller çıktı tablolarından değerlendirilerek seçilmiştir. Etkin ve çok fazla parametre sayısına sahip olmayan modeller değerlendirmeye alınmıştır.

Regresyon analizleri yapılmadan önce Meyer’in Enterpolasyon yönteminin uygulanabilmesi için bağımsız değişken değerleri periyot ortasındaki değerlere dönüştürülmesi gerekir. Bu nedenle;

- Periyot ortasındaki meşcere yaşı şimdiki meşcere yaşından periyot yarı süresi olan beş eksilterek tekrar hesaplanmıştır.

- Tek girişli çap artımı modellerinde olduğu gibi, periyot ortasındaki kabuksuz göğüs çapı ile kabuksuz yıllık çap artımı verileri, aynı seçim yöntemine ait örnek ağaçlar kullanılarak oluşturulmuş modellerden elde edilen kabuk faktörü ile çarpılarak elde edilmiştir.
- Sıklık derecesi için meşcereden ayrılan fert olmadığı varsayımı kabulüyle; beş yıl önceki rölatif sıklık derecesi beş yıl önceki kabuklu göğüs çapı değerlerinin her seçim yöntemi için tekrar hesaplanması ile elde edilmiştir.
- Bonitet endeksi için ise bonitetin değişmediği varsayılarak aynı değerler değiştirilmeden kullanılmıştır

Aşağıda sıralı 21 adet model, öncesinde “sabit (β_0) içeren” ve “sabit (β_0) içermeyen” formları ile 54 SY için pratik biçimde yarıştırmıştır. Değerlendirme AIC, BIC, RMSE, R^2 , MAE, MAPE, SE ve bias ölçüt setiyle yapılmıştır. Diğerinden daha iyi sonuç veren sabitli veya sabit içermeyen model formundan hangisinin kullanılacağı böylelikle seçilmiştir. Ön-test sonucu seçilen modellerin son formları aşağıda listelenmiştir.

$$\sqrt{I_d} = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * BE + \beta_3 * SD + \beta_4 * t + \varepsilon \quad (3.40)$$

$$\begin{aligned} \sqrt{I_d} = & \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * BE + \beta_3 * SD + \beta_4 * 1/t + \beta_5 * BE \\ & * SD + \beta_6 * BE/t + \beta_7 * SD/t + \beta_8 * BE * SD/t + \beta_9 \\ & * d_{1.3} * BE + \beta_{10} * d_{1.3} * SD + \beta_{11} * d_{1.3} * BE * SD + \beta_{12} \\ & * BE * SD * t + \beta_{13} * d_{1.3}/t + \beta_{14} * BE/t + \beta_{15} \\ & * d_{1.3} * BE/t + \beta_{16} * d_{1.3} * SD/t + \beta_{17} \\ & * d_{1.3} * BE * SD/t + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} \sqrt{I_d} = & \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * BE + \beta_3 * d_{1.3} * SD/t + \beta_4 * d_{1.3} * BE \\ & + \beta_5 * d_{1.3} * t + \beta_6 * d_{1.3} * t^2 + \beta_7 * d_{1.3} * t^3 + \beta_8 * d_{1.3} \\ & * t^4 + \beta_9 * d_{1.3} * t * BE + \beta_{10} * d_{1.3} * t^2 * BE + \beta_{11} * d_{1.3} \\ & * t^3 * BE + \beta_{12} * d_{1.3} * t^4 * BE + \beta_{13} * d_{1.3}/t + \beta_{14} \\ & * d_{1.3} * BE/t + \beta_{15} * BE/SD + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.42)$$

$$\begin{aligned}\sqrt{I_d} = & \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} * BE/t + \beta_2 * 1/SD + \beta_3 * 1/t + \beta_4 \\ & * SD/d_{1.3} + \beta_5 * d_{1.3} * SD + \beta_6 * BE * t + \beta_7 \\ & * BE * SD/t + \varepsilon\end{aligned}\quad (3.43)$$

$$\begin{aligned}\sqrt{I_d} = & \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} * BE + \beta_2 * 1/SD + \beta_3 * 1/t + \beta_4 \\ & * SD/d_{1.3} + \beta_5 * BE * t + \beta_6 * d_{1.3} * BE/t + \beta_7 \\ & * BE * SD/t + \beta_8 * BE * t/d_{1.3} + \varepsilon\end{aligned}\quad (3.44)$$

$$\begin{aligned}\sqrt{I_d} = & \beta_1 * 1/(d_{1.3} * BE) + \beta_2 * SD/t + \beta_3 * 1/BE + \beta_4 * 1/t \\ & + \beta_5 * d_{1.3}/t + \beta_6 * BE/SD + \beta_7 * SD/d_{1.3} + \beta_8 * t/d_{1.3} \\ & + \beta_9 * d_{1.3} * BE + \beta_{10} * BE * SD + \beta_{11} * \ln d_{1.3}/t + \beta_{12} \\ & * 1/(SD * t) + \beta_{13} * t * d_{1.3}^2/t + \beta_{14} * d_{1.3} * BE/t + \beta_{15} \\ & * d_{1.3} * t/SD + \beta_{16} * BE * SD/t + \beta_{17} * BE * t/d_{1.3} + \varepsilon\end{aligned}\quad (3.45)$$

$$\begin{aligned}\sqrt{I_d} = & \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} * BE/t + \beta_2 * SD/d_{1.3} + \beta_3 * 1/t + \beta_4 \\ & * 1/BE + \varepsilon\end{aligned}\quad (3.46)$$

$$\begin{aligned}\sqrt{I_d} = & \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} * BE/t + \beta_2 * SD/d_{1.3} + \beta_3 * 1/t + \beta_4 \\ & * 1/SD + \beta_5 * BE * SD/t + \beta_6 * d_{1.3} * SD/t + \varepsilon\end{aligned}\quad (3.47)$$

$$\sqrt{I_d} = \beta_1 * d_{1.3}/t + \beta_2 * BE + \beta_3 * SD/t + \beta_4 * 1/t + \varepsilon \quad (3.48)$$

$$\begin{aligned}\sqrt{I_d} = & \beta_0 + \beta_1 * 1/(d_{1.3} * BE * SD * t) + \beta_2 * 1/t + \beta_3 * d_{1.3}/t \\ & + \beta_4 * BE + \beta_5 * BE * SD/d_{1.3} + \varepsilon\end{aligned}\quad (3.49)$$

$$\sqrt{I_d} = \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * BE + \beta_3 * SD + \beta_4 * t + \varepsilon \quad (3.50)$$

$$\begin{aligned}\sqrt{I_d} = & \beta_0 + \beta_1 * 1/(d_{1.3} * BE * SD * t) + \beta_2 * 1/t + \beta_3 * BE \\ & + \beta_4 * BE * SD/d_{1.3} + \beta_5 * SD/d_{1.3} + \beta_6 \\ & * 1/d_{1.3} + \beta_7 * SD/BE + \varepsilon\end{aligned}\quad (3.51)$$

$$\begin{aligned}\ln I_d = & \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * BE + \beta_3 * SD + \beta_4 * t + \beta_5 \\ & * \ln BE + \beta_6 * 1/SD + \beta_7 * \ln t + \varepsilon\end{aligned}\quad (3.52)$$

$$\begin{aligned} \ln I_d = & \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * BE + \beta_3 * SD + \beta_4 * t + \beta_5 \\ & * \ln BE + \beta_6 * 1/SD + \beta_7 * \ln t + \beta_8 * d_{1.3} * t + \beta_9 \\ & * BE * t + \beta_{10} * BE * SD + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.53)$$

$$\begin{aligned} \ln I_d = & \beta_0 + \beta_1 * d_{1.3} + \beta_2 * BE + \beta_3 * SD + \beta_4 * t + \beta_5 * d_{1.3}/t \\ & + \beta_6 * d_{1.3}^2 + \beta_7 * \ln t + \beta_8 * \ln (d_{1.3}/t) + \beta_9 * \ln SD \\ & + \beta_{10} * \ln BE + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.54)$$

$$\begin{aligned} \ln I_d = & \beta_0 + \beta_1 * 1/(d_{1.3} * BE * SD * t) + \beta_2 * \ln d_{1.3} + \beta_3 \\ & * \ln t + \beta_4 * 1/SD + \beta_5 * \ln (SD/d_{1.3}) * \beta_6 * \ln(BE/t) \\ & + \beta_7 * 1/(d_{1.3} * BE * SD) + \beta_8 * 1/(SD * t) + \beta_9 \\ & * 1/(BE * SD * t) + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.55)$$

$$\ln I_d = \beta_1 * \ln d_{1.3} + \beta_2 * \ln BE + \beta_3 * \ln SD + \beta_4 * \ln t + \varepsilon \quad (3.56)$$

$$\begin{aligned} \ln I_d = & \beta_1 * d_{1.3} * BE/SD + \beta_2 * t + \beta_3 * \ln t + \beta_4 * d_{1.3}/SD \\ & + \beta_5 * d_{1.3} * t/SD + \beta_6 * \ln t/SD + \beta_7 * d_{1.3}^2 + \beta_8 * t \\ & * d_{1.3}^2 + \beta_9 * \ln t * d_{1.3}^2 + \beta_{10} * BE + \beta_{11} * t * BE + \beta_{12} \\ & * \ln t * BE + \beta_{13} * d_{1.3} * BE * t/SD + \beta_{14} * d_{1.3} * BE \\ & * \ln t/SD + \beta_{15} * BE * d_{1.3}^2 + \beta_{16} * BE * t * d_{1.3}^2 + \beta_{17} \\ & * BE * \ln t * d_{1.3}^2 + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.57)$$

$$\ln I_d = \beta_1 * BE + \beta_2 * SD * t/d_{1.3} + \beta_3 * \ln t + \varepsilon \quad (3.58)$$

$$\begin{aligned} \ln I_d = & \beta_1 * 1/d_{1.3} * BE * SD * t + \beta_2 * \ln t + \beta_3 * SD * t/d_{1.3} \\ & + \beta_4 * BE + \beta_5 * t^2 + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.59)$$

$$\begin{aligned} \ln I_d = & \beta_1 * 1/(d_{1.3} * BE * SD * t) + \beta_2 * \ln t + \beta_3 * SD * t/d_{1.3} \\ & + \beta_4 * BE + \beta_5 * t^2 + \beta_6 * t/BE + \beta_7 * BE * t/SD + \varepsilon \end{aligned} \quad (3.60)$$

Burada, I_d = periyodik yıllık kabuklu çap artımı (cm), $d_{1.3}$ = kabuklu göğüs çapı (cm), BE = bonitet endeksi, SD = sıklık derecesi, t = meşcere yaşı, $\beta_{0,1,2,...,n}$ = doğrusal formülü modeller için parametre katsayıları, $\ln = e$ tabanlı doğal logaritma ve ε = hata miktarını ifade etmektedir.

Son dokuz model için yapılan regresyon analizlerinde bağımlı değişken değeri logaritması alınarak kullanılmıştır. Bu durumlarda oluşan sistematik hatanın giderilmesi amacıyla, modellerde antilogaritma alınarak bulunan değerler bir düzeltme faktörü (df) ile çarpım işleminden sonra kullanılabilir (Alemdağ, 1962; Çatal, 2009). Doğal logaritma dönüşümleri için düzeltme faktörü hesabı Denklem 3.61’de belirtilmiştir.

$$df = e^{0.5 * Se^2} \quad (3.61)$$

Burada, df = düzeltme faktörü, e = euler sayısı (2, 7183) ve Se = modele ait standart hatayı ifade etmektedir.

3.2.6. Örnek ağaç seçim yöntemleri

Çalışma konusunun hacim artımı tahminine yönelik örnek ağaç seçim yöntemleri geliştirilmesine ilişkin olması, orman envanteri, örnekleme kavramı ve yöntemleri ile ilgili genel bilgilerin hatırlanmasını gerekli kılmaktadır. Bu amaçla özet bilgiler yanında çalışmada kullanılan seçim yöntemlerinin kurgulanmasına ilişkin açıklamalar alt başlıklarda yer almaktadır.

3.2.6.1. Orman envanteri ve örnekleme yöntemleri

Orman envanteri; belirli bir zaman kesitinde üretim sürecine katılan faktörlerin ve oluşan ürün miktarının sayım, ölçüm ve değerlendirme yolu ile saptanması işlemidir. Ormancılıkta üretimi etkileyen faktörler ve elde edilen ürünler çok çeşitlidir ve her biri için uygulanan envanter yöntemleri de önemli farklılıklar göstermektedir (Kalıpsız, 1984).

Bir orman işletmesinin planlanması amacı ile harekete geçmek bizi doğal ve ekonomik durum envanteri kavramları ile karşı karşıya getirir. Doğal durum envanteri, alan, yetişme ortamı, ağaç varlığı ve artımı ile yan varlıkların envanterini kapsar. Ekonomik durum envanteri kapsamında ise kapasite envanteri, üretim ve pazarlama araştırmaları ile örgütlenme ve yönetim araştırmaları yer alır. Nasıl bir envanter yapılacağı çalışmanın başlangıcında kararlaştırılarak planlanmalı (Eler, 1999) ve envanter

planlamasında da her araştırmada olduğu gibi "ne bilinmek isteniyor?", "niçin bilinmek isteniyor?" ve "nasıl bilinebilir?" sorularına yanıt aranmalıdır (Kalıpsız, 1984).

Orman toplumunun sonsuz sayıda olan tüm özelliklerini belirlemek ve ölçmek olanaksızdır. Bu nedenle sadece karar verme ve planlama aşamasında en etkili görülen karar ölçütlerinin belirlenmesi ve ölçülmesiyle yetinilmelidir. Envanterin planlanmasında, yeter duyarlılıkta görülen en ucuz, en kolay yöntem ve araçlar seçilmelidir. Orman envanterinde genellikle örnekleme yoluna gitmek gerekmekte, örnekleme yönteminde ise tutarlı ve güvenilir bilgiler elde edebilmek için istatistik yöntemin uygulanması öğütlenmektedir (Kalıpsız, 1984).

Bilimsel araştırmalarda çok sayıda nesne ve karmaşık olaylardan oluşan toplum için parametrelere ait ilişki modelleri geliştirilmekte ve genel kurallar ortaya konulmaktadır. Asıl amaç toplumun tamamına ait verileri elde etmek ve değerlendirmek (tam sayım, tam ölçüm) olsa da çoğu kez bu mümkün olmadığından, onu temsil eden yeterli büyüklükte örnek bir parça üzerinden elde edilen veriler ile araştırma yürütülmektedir (Daşdemir, 2016). Toplumu temsil kabiliyetinde olan n sayıda örnek üzerinde yürütülen ölçümler ile toplumun tamamı hakkında çıkarımlar yapılan bu yönteme “örnekleme” adı verilmektedir (Sakıcı, 2009).

Örnekleme yöntemleri çok sayıda ve farklı biçimlerde sınıflandırılmaktadır (Sakıcı, 2009; Daşdemir, 2016). Literatürde en fazla karşılaşılan sınıflandırma, örnek birimlerinin ait oldukları topluma nasıl dağıtılacağı ile ilişkili kurgulanmış olan sınıflandırma şeklidir. Yöntemler bu sınıflandırmada bilinçli ve rastgele örnekleme yöntemleri olarak iki grupta toplanır.

- Bilinçli örnekleme yöntemleri, monografi, kota, yoğunluk ve güdümlü olarak tanımlanan alt gruplar biçiminde sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerle belirli özelliklere sahip birimler bir önyargıya dayanarak toplumdan bilinçli şekilde seçilmekte ve bunlar üzerinde ölçüm, gözlem ve tespitler yapılmaktadır. Örnekler bilinçli bir seçim ile elde edildiklerinden, üzerlerinde istatistik analiz ve denetim teknikleri uygulanamaz ve toplum için genelleştirme olanağı yoktur.

- Rastgele örnekleme yöntemleri, basit rastgele, sistematik, katmanlı (tabakalı), küme ve ardışık örnekleme yöntemleri şeklinde sınıflandırılır. Örneklem seçimi tamamen rastlantısal yapılıdır. Toplumu oluşturan tüm birimlerin örnekleme katılma şansı bulunur. Bu nedenle de olasılık kuralları ve dağılımları uygulanabilmekte, temsil yetenekleri denetlenebilmekte, istatistik analiz ve değerlendirme teknikleri uygulanabilmektedir. Sonuçlar da toplum için genelleştirilebilir nitelik taşır (Daşdemir, 2016).

Bu çalışmada da kurgulanan örnek ağaç seçim yöntemleri rastgele örnekleme yöntemleri grubunda yer almaktadır.

3.2.6.2. Seçim yöntemlerinin kurgulanması

Farklı örnekleme yöntemleri ve kombinasyonları ile beraber, farklı örnek sayıları ile oluşturulan her bir yöntem, “Seçim Yöntemi” (SY) şeklinde ifade edilmektedir. Bu amaçla birbirinden farklı 54 adet SY kurgulanarak denenmiştir. Ölçümü yapılan 47 adet örnek alan içerisindeki ağaçlardan, SY ölçütleri doğrultusunda çekilen örnek ağaç verileri kullanılarak, analizler her bir SY için ayrı yapılmıştır.

Seçim yöntemleri;

- Örnek alan merkezine mesafenin,
- Rastlantısallığın,
- Weisse ağacının,
- Göğüs çapı değerleri ile ilgili sınıflamaların ve
- Çap dağılımları ile ilişkili bazı ağaçların

ana aktör olduğu gruplar şeklinde kategorize edilebilir. Kurgulanan seçim yöntemlerini, bir önceki başlıkta sınıflandırılması yapılan basit rastgele (SY07-SY12), sistematik (SY01), tabakalı (SY40-SY44), küme (SY14-SY16) ve bu grupların farklı kombinasyonları (SY22-SY39) ile oluşturulmuş sınıflar içerisinde de konumlandırmak mümkündür.

Seçim yöntemleri için her örnek alandan seçilen ağaç sayısı 1-15 arasında değişmektedir. Seçim yöntemleri ile oluşturulan örnek ağaçların toplam sayıları (örnek

hacimleri) en az 47 (her örnek alandan bir adet ağaç seçildiğinde), en fazla 532 (4 cm'lik çap basamaklarına rastgele dağıtılmış ikişer ağaç seçildiğinde) adettir.

Çizelge 3.2'de 54 adet SY'nin sıra numaraları, ölçütlerinin ne olduğu, örnek alandan çekilen ağaç sayısı ve istatistik modeller için toplam kaç ağaç kullanıldığı belirtilmektedir.

Çizelge 3.2. Kurgulanan örnek ağaç seçim yöntemleri (SY)

SY no	Seçim Yöntemi	Ağaç Sayısı (adet)	Toplam Ağaç Sayısı
01	Merkeze (M) en yakın	1	47
02	M'e en yakın	3	141
03	M'e en yakın	4	188
04	M'e en yakın	5	235
05	M'e en yakın	7	329
06	M'e en yakın	10	470
07	Rastgele (Rs)	1	47
08	Rs	3	141
09	Rs	4	188
10	Rs	5	235
11	Rs	7	329
12	Rs	10	470
13	Weise orta ağacı (W_{oa})	1	47
14	W_{oa} ve en yakın mesafedeki	1+2	141
15	W_{oa} ve en yakın mesafedeki	1+3	188
16	W_{oa} ve en yakın mesafedeki	1+4	235
17	W_{oa} ile azalan en yakın çaptaki	1+2	141
18	W_{oa} ile azalan en yakın çaptaki	1+3	188
19	W_{oa} ile azalan en yakın çaptaki	1+4	235
20	W_{oa} ve en yakın azalan ile artan çaplı	1+3+1	235
21	W_{oa} ve en yakın azalan ile artan çaplı	1+2+2	235
22	M'e en yakın ve en ince çaplı	1+1	94
23	M'e en yakın ve en ince çaplı	2+2	188
24	M'e en yakın ve en ince çaplı	3+2	235
25	M'e en yakın ve en kalın çaplı	1+1	94
26	M'e en yakın ve en kalın çaplı	2+2	188
27	M'e en yakın ve en kalın çaplı	3+2	235
28	Rs ve en ince çaplı	1+1	94
29	Rs ve en ince çaplı	2+2	188
30	Rs ve en ince çaplı	3+2	235
31	Rs ve en kalın çaplı	1+1	94
32	Rs ve en kalın çaplı	2+2	188
33	Rs ve en kalın çaplı	3+2	235

Çizelge 3.2. Kurgulanan örnek ağaç seçim yöntemleri (SY) (Devam)

SY no	Seçim Yöntemi	Ağaç Sayısı (adet)	Toplam Ağaç Sayısı
34	W_{oa} ve en ince çaplı	1+1	94
35	W_{oa} , W_{oa} azalan ve en ince çaplı	1+1+2	188
36	W_{oa} , W_{oa} azalan ve en ince çaplı	1+2+2	235
37	W_{oa} ve en kalın çaplı	1+1	94
38	W_{oa} , W_{oa} azalan ve en kalın çaplı	1+1+2	188
39	W_{oa} , W_{oa} azalan ve en kalın çaplı	1+2+2	235
40	n adet 2 cm lik çap basamaklarına(Çb) Rs dağıtılmış	$n * 1$	482
41	n adet 4 cm lik Çb'na rastgele dağıtılmış	$n * 1$	311
42	n adet 4 cm lik Çb'na rastgele dağıtılmış	$n * 2$	532
43	n adet Çap sınıflarına (Çs) rastgele dağıtılmış	$n * 1$	121
44	n adet Çs'na rastgele dağıtılmış	$n * 2$	223
45	n adet Çs'daki en kalın çaplı	$n * 1$	121
46	n adet Çs'daki en ince çaplı	$n * 1$	121
47	n adet Çs'daki Weise orta çaplarından	$n * 1$	121
48	n adet Çs'daki M'e en yakın	$n * 1$	121
49	n adet Çs'daki W_{oa} 'e en yakın	$n * 1$	121
50	Aritmetik çap ortalamasının ($A_{ço}$) üst ve altındaki	1+1	94
51	Çap dağılımının “Ortanca” değerini temsil eden	n	76
52	Çap dağılımının “Mod” değerini temsil eden	n	56
53	Göğüs Yüzeyi orta ağacının (GY_{oa})üst ve altındaki	1+1	94
54	GY_{oa} ile $A_{ço}$ arasındaki	n	131

Burada, M= örnek alan merkezi, Rs = rastgele, W_{oa} = Weise orta ağacı, Çs = çap sınıfları, Çb = çap basamakları, $A_{ço}$ = aritmetik orta ağaç çapı ve GY_{oa} = göğüs yüzeyi orta ağacını ifade etmektedir.

Örnek alan merkezine yakınlık ölçütü ile kurgulanan gruptaki ağaçlar tablo işlemci dosyasındaki mesafe sütunun küçükten büyüğe sıralanması ile ilk 1, 3, 4, 5, 7, 10 ağaç olarak seçilmişlerdir.

Rastgele ağaçların seçiminde “rastgele rakamlar tablosu” kullanılmıştır (NIST, 2018). İlgili tablo B-2 ile B-8 sayfa numaraları arasındaki toplam 7 sayfadan, her sayfa da 50 (5x10) satır ve 10 sütun ile altışar rakamlı rastgele sayılardan oluşmaktadır. Her örnek alan için ağaç sayısına bağlı olarak bu tablodan toplam 10 adet ağaç 1., 2., 3., ... 10. rastgele ağaç biçiminde sıra gözetilerek seçilmiş, veri dosyasına işlenmiştir. Rastlantısallığın kendi içinde değerlendirilebilme olasılığı bakımından, fazla sayıda ağaç ile oluşturulmuş seçim yöntemi, daha az ağaç sayısı ile oluşturulmuş yöntemdeki

ağaçları da kapsayacak şekilde bir kurgu tercih edilmiştir. Örneğin 10 rastgele ağacın seçildiği yöntemdeki ağaçlar, 7 rastgele ağacın seçildiği yöntemdeki 7 ağaç ve ilave olarak rasgele seçilen farklı 3 ağaçtan oluşmaktadır. Ayrıca çap basamakları ve çap sınıfları ile ilgili seçim yöntemlerinin rastlantısal kombinasyonlarında da öncelikle bu sıralı çekilmiş ağaçlar gözetilmiştir.

Weise ağacına yakınlık ölçütü ile oluşturulan yöntemlerde örnek ağaç seçimleri, koordinatları hesaplanmış ağaçlar içerisinde CBS programı ile yapılmıştır.

Çap sınıflandırmaları ve dağılımlarına ilişkin “mod” ve “ortanca” ağaçlar gibi ölçütler kullanılan yöntemlerde, MS Office Excel programının istatistik modülleri ve formülleri kullanılmıştır.

Veri dosyalarında ek olarak SY01’den başlayarak SY54’e kadar 54 sütun oluşturulmuştur. Her SY için oluşturulan bu sütunlarla 1408 adet ağaç için oluşturulmuş her satırdan, ölçütlere uygun seçilen örnek ağaçların kesiştiği hücreler “1”, seçilmeyenler “0” ile işaretlenmiştir. Böylece her SY için hangi örnek ağacın çekileceği belirlenerek veri dosyaları düzenlenmiştir.

3.2.7. Verilerin değerlendirilmesi ve istatistik analizler

Test edilerek en iyileri seçilen modellerin ve en iyi modeller ile oluşturulan seçim yöntemlerinin, kendi aralarında karşılaştırmalarının hangi başarı ölçütleri ile yapıldığı ve değerlendirme işlemlerine ilişkin istatistik yöntemler bölüm alt başlıklarında açıklanmaktadır.

3.2.7.1. Model seçimleri için kullanılan başarı ölçüt setleri ve puanlama yöntemi

Modellerin seçiminde Akaike Information Criterion (AIC), Bayesian Information Criterion (BIC), Root Mean Squared Error (RMSE), düzeltilmiş belirtme katsayısı (R^2_{adj}), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percent Error (MAPE), Standart Error (Se) ve ortalama toplam hata (bias) olmak üzere toplam sekiz adet başarı ölçütü kullanılmıştır. İstisna olarak tek girişli çap artımı modelleri için yapılan yarışmada anlamlı bir ilişkinin çok zayıf olması nedeniyle R^2_{adj} başarı ölçütü kullanılmamıştır.

Çap-boy ve kabuk modelleri için de bias kullanımı tercih edilmemiştir. Her bir ölçütün diğerinden üstün olmadığı varsayımıyla puanlama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

$$AIC = n * \ln (2\pi) + 1 + \ln \left(\frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n (y_t - y'_t)^2 \right) + 2 * (p + 1) \quad (3.62)$$

$$BIC = n * \ln (2\pi) + 1 + \ln \left(\frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n (y_t - y'_t)^2 \right) + \ln (n) * (p + 1) \quad (3.63)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n (y_t - y'_t)^2} \quad (3.64)$$

$$R^2_{adj} = 1 - \left\{ 1 - \left\{ 1 - \left(\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - y'_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2} \right) \right\} * \left\{ \frac{n-1}{n-p-1} \right\} \right\} \quad (3.65)$$

$$MAE = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n |y_t - y'_t| \quad (3.66)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n \frac{|y_t - y'_t|}{y_t} \quad (3.67)$$

$$Se = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - y'_t)^2}{n - p}} \quad (3.68)$$

$$bias = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n (y_t - y'_t) \quad (3.69)$$

Burada, y_t = ölçülen değer, y'_t = tahmin değeri, n = örnek sayısı, t = ölçüm sırası, p = parametre sayısı ve $\bar{y}_t$ = ölçülen değer aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.

AIC ve BIC değerlerinin en küçük, R^2_{adj} 'nin bire (1) en yakın ve diğer ölçüt değerlerinin ise sıfıra en yakın olması arzu edilmektedir. Değerlendirme de bu sıra ile gerçekleşmiştir. Her bir seçim yönteminde, dört farklı işlemde modellerin başarı ölçütü için aldığı değer 1 ile 100 puan skalasında dağıtılmıştır. En küçük puan en iyi

değeri ifade edecek şekilde düzenlenmiş ve yapılan bağıl puanlama işlemi için aşağıda verilen Denklem 3.70 kullanılmıştır.

$$BP_{ij} = \frac{(D_{ij} - D_{ij_{min}}) * 99}{(D_{ij_{max}} - D_{ij_{min}})} + 1 \quad (3.70)$$

Burada, $i=1,2, 3, \dots 54$ adet seçim yöntemi numarasını, $j = 1, 2, 3, \dots n$ adet model numarasını (n =test edilen model sayısı), $BP_{ij} = i$. seçim yöntemi için j . modelin başarı puanını, $D_{ij} = j$. modelin i için başarı ölçütü değerini ve $D_{ij_{max}}, D_{ij_{min}} =$ başarı ölçütünün j ve i için maksimum ve minimum değerini ifade etmektedir.

Her bir başarı ölçütü için toplam puanı en düşük olan en iyi model olacak şekilde sıralanmıştır. En iyi modellerden başlanarak fonksiyon eğrileri veri dağılımları üzerinde incelenmiştir. Bazı çaplar itibariyle eksi değerli hacim artımı üreten, çap ilerledikçe artımın da artmaya başladığı bazı 3. dereceden polinom modelleri gibi doğal kanuniyete aykırı hareket edenler, ekstrapolasyona uygun olmayanlar, artık dağılımları ile birlikte incelenerek değerlendirilmiştir. Puanlama sonucu birinci gelen modeller arasında uygun olmayanlar değerlendirme dışı bırakılmış, bir sonraki en iyi puanlı model başarılı seçilmiştir.

3.2.7.2. Seçim yöntemleri için kullanılan başarı ölçüt setleri ve puanlama yöntemi

En iyi modeller seçildikten sonra seçim yöntemlerinin en iyilerinin belirlenmesi amacıyla bias, percent bias, RMSE, Percent Variation Explained (PVE), MAE, MAPE ve Standart Error (SE) olmak üzere toplam 7 adet başarı ölçütü kullanılmıştır. Burada da istisna olarak tek girişli çap artımına ilişkin seçim yöntemleri yarışırken PVE başarı ölçütünün kullanımı tercih edilmemiştir. Bu başarı ölçütleri karşılaştırması toplam 1408 adet ağacın, her seçim yöntemi için regresyon analizinde kullanılmamış kalan kısmı ile test edilmiştir. Yine her bir ölçütün diğerinden üstün olmadığı, her birinin eşit etkiye sahip olduğu varsayımıyla puanlama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

$$bias = \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N (y_t - y'_t) \quad (3.71)$$

$$percent\ bias = \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N \frac{(y_t - y'_t)}{|y_t|} \quad (3.72)$$

$$MAE = \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N |y_t - y'_t| \quad (3.73)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N \frac{|y_t - y'_t|}{y_t} \quad (3.74)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N (y_t - y'_t)^2} \quad (3.75)$$

$$PVE = 1 - \left\{ 1 - \left\{ 1 - \left(\frac{\sum_{t=1}^N (y_t - y'_t)^2}{\sum_{t=1}^N (y_t - \bar{y}_t)^2} \right) \right\} \right\} \quad (3.76)$$

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (y_t - y'_t)^2}{N}}}{\sqrt{N}} \quad (3.77)$$

Burada, y_t = ölçülen değer, y'_t = tahmin değeri, $\bar{y}_t$ = ölçülen değer aritmetik ortalaması, t = ölçüm sırası ve N = karşılaştırılan değer çiftlerinin sayısını ifade etmektedir.

Bu durumda da PVE'nin yüze (100) en yakın, diğer ölçüt değerlerinin ise sıfıra en yakın olması arzu edilmektedir. Değerlendirme de bu sıra ile gerçekleştirilmiş, 54 seçim yönteminin her birinin başarı ölçütü için aldığı değer 1 ile 100 puan skalasında dağıtılmıştır. En küçük puan en iyi değeri ifade edecek şekilde düzenlenmiş ve yapılan "bağıl puanlama" işlemi için yine (3.70) numaralı denklem aşağıdaki forma (Denklem 3.78) dönüştürülerek kullanılmıştır. Denklem 3.70'teki sembollerden farklı olarak her seçim yöntemi için seçilen en iyi model (ij), artık seçim yöntemi (i) olarak ifade edilmektedir.

$$BP_i = \frac{(D_i - D_{i_{min}}) * 99}{(D_{i_{max}} - D_{i_{min}})} + 1 \quad (3.78)$$

Burada, $i=1, 2, 3, \dots, 54$ adet seçim yöntemi numarasını, $BP_i = i$. seçim yöntemi için başarı puanını, $D_i = SY_i$ için başarı ölçütü değerini ve $D_{i_{max}}, D_{i_{min}} =$ başarı ölçütünün SY_i için maksimum ve minimum değerini ifade etmektedir.

Değerlendirmeler sonucunda her bir başarı ölçütü için puanlanan seçim yöntemlerinden, toplam puanı en düşük olan yöntemler en iyi puanlı SY şeklinde sıralanmış olmaktadır.

3.2.8. Optimizasyon

Genel olarak daha iyi bir sonuç buluncaya kadar, olası tüm çözümlerin amaç işlevine göre aranması ve karşılaştırılması işlemi “optimizasyon” olarak tanımlanmaktadır (Ergül, 2010). Optimizasyon temel olarak iki alt bileşenden oluşur. Bunlardan ilki, gerçek hayatta karşılaşılan bir problemin matematik bir ifadesi şeklinde tanımlanan “modelleme”, diğeri ise modelin çeşitli yöntemler kullanarak en iyi sonucu alması olarak ifade edilen “çözümleme” bileşenidir.

Çalışma kapsamında, Meyer’in enterpolasyon yöntemini oluşturan faktörler için modellenen seçim yöntemleri arasında ve etkinlik değerleri ile birlikte çok amaçlı optimizasyon yöntemleri uygulanmıştır. Optimizasyon ve öncesinde verilere uygulanan normalleştirme ile ilgili genel bilgiler, optimizasyon çeşitleri ve kullanılan yöntem ve kavramlar alt başlıklarda açıklanmaya çalışılmıştır.

3.2.8.1. İstatistiksel normalizasyon

İstatistiksel normalleştirme veri işleme alanlarında kullanılan bir yöntemdir. Veriler arasındaki farklılığın çok fazla olduğu durumlarda verileri tek bir düzen içerisinde ele almanın yanında farklı ölçeklendirme sisteminde bulunan verilerin birbirleri ile karşılaştırılabilir bir forma taşınmasıdır. Burada amaç matematik fonksiyonlar kullanarak farklı sistemlerde bulunan verileri ortak bir ölçeğe taşımak ve karşılaştırılabilir hale getirmektir.

Farklı biçimlerde gerçekleştirilebilen normalleştirme yöntemi, bu çalışmada bütün girdilerin belirli bir aralıkta (çoğunlukla 0-1 aralığında) ölçeklendirilmesi şeklinde, Denklem 3.79’da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.79)$$

Burada x = girdi değeri, x' = girdi değerinin ölçeklendirilmiş hali, x_{min} = girdi setindeki en küçük değer ve x_{max} = girdi setindeki en büyük değeri ifade etmektedir (Öztemel, 2016).

Her seçim yöntemi için, yöntemin aldığı başarı puanları, farklı sayılarda ölçütlerle puanlandığından aynı ölçekte değerlendirilmeleri mümkün olmayacaktır. Bu nedenle seçim yöntemlerine ait toplam başarı puanları normalleştirme işlemine konu edilmiştir. Seçim yöntemlerinin bu normalleştirilmiş değerlerle yapılacak optimizasyon işlemleri daha uygun, puanlarının tek bir ölçeğe taşınmasıyla da değerlendirilmeleri anlaşılır olacaktır.

Ayrıca rasyonel bir karşılaştırma işlemi için, her bir seçim yönteminde örnek ağaçların seçimi ve ölçümü süresince harcanan zaman ve iş gücü parametreleri, yani maliyet fonksiyonu bu çalışma kapsamında değerlendirilememiştir. Bu ölçüte en yakın kabul edilebilecek “ağaç sayısı” değerleri mevcuttur. Bu sebeple, yöntem toplam puanlarının, elde edildikleri regresyon analizine konu örnek hacmi (örnek ağaç sayısı) ile beraber değerlendirilmelerinin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Örnek ağaç sayısı üzerinden “İşlem Süresi” (IS_{as}) olarak isimlendirilmesi kararlaştırılmış ve bu ağaç adedi değerlerine optimizasyon işlemleri öncesinde istatistiksel normalleştirme uygulanmıştır.

3.2.8.2. Çok amaçlı optimizasyon yöntemleri

Optimizasyon amaç sayısı bakımından tek amaçlı ve çok amaçlı olmak üzere ikiye ayrılır. Optimizasyon konusundaki çalışmaların çoğunluğu yalnızca tek bir amaçla ilgilidir. Problemler ise büyük ölçüde tek amaçtan fazlasını gerektirmektedir. Fiziksel bir sistemi modelleyen bir optimizasyon problemi tek bir amaç işlevi ile gösterilebiliyorsa en iyi çözümün bulunması işlevi “tek amaçlı optimizasyon”,

problem birden fazla amacı içinde barındırıyorsa bir veya daha fazla en iyi çözümün bulunması işlevi de “çok amaçlı optimizasyon” şeklinde tanımlanmaktadır (Ergül, 2010).

Gerçek yaşamda daha çok birden fazla amaca sahip optimizasyon problemleriyle karşılaşmaktadır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü tek amaçlı optimizasyon problemlerine göre daha zordur. Özellikle birbirleriyle çelişen amaçların varlığı problemin karmaşıklığını arttırmakta, çözümü daha da zorlaştırmaktadır. Ayrıca birden fazla ölçütün söz konusu olduğu bu problemlerde farklı çözüm alternatifleri söz konusu olmaktadır.

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan yöntemlerden ilki performans ölçütlerinde amaçların birleştirilmesidir. Farklı amaçlar bir değerde birleştirilerek, tek amaçlı problem formuna getirilmesiyle çözüm üretilir. Bunun için en çok kullanılan yöntem her bir amacın ağırlıklı olarak değerlendirilmesidir. İkinci yöntem amaçların her seferinde değiştirilerek çözümler üretilmesidir. Her çözümde doğru tercih sırası ile amaç fonksiyonu değiştirilerek kalan diğer amaçlar kısıt biçimine getirilir ve tek amaçlı problemlerdeki gibi çözüm üretilir. Çok amaçlı optimizasyon problemleri için kullanılan üçüncü yöntem ise “Pareto optimal” yöntemidir (Kaya ve Fırlalı, 2016).

3.2.8.3. Pareto optimal ve baskınlık kavramı

Pareto optimal, çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde birden fazla amacın eş zamanlı biçimde en iyilenmesi yöntemlerinden biridir. Bu optimizasyon problemlerinde, çoğunlukla tüm fonksiyonları eş zamanlı olarak optimize eden tek bir sonuç bulunmamaktadır. Bu yüzden bir optimal çözümler kümesi söz konusudur. Bu küme Pareto optimal küme olarak adlandırılmaktadır.

Amaç fonksiyonlarına uygun olarak bir çözüm kümesinin belirlenmesi gerekliliğinde, optimal bir noktanın belirlenmesi için Pareto optimal “baskın” ve diğer Pareto optimal kavramlarına ilişkin tanımlar aşağıda verilmektedir.

Optimizasyon parametreleri veya karar vektörü Denklem 3.80’de verildiği gibidir.

$$x = [x_1, x_2, x_3, \dots \dots x_N]^T \quad (3.80)$$

Burada, x = karar vektörünü, T = transpozu ve N = parametre sayısını ifade etmektedir. Her birey bu parametrelerin birleşiminden oluşmaktadır.

Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan çok amaçlı optimizasyon problemleri için amaç işlevi Denklem 3.81’de verilmektedir.

$$F(x) = [f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots \dots f_m(x)]^T \quad (3.81)$$

Burada, m = amaç işlevi sayısı, $F(x)$ = m amaçlı amaç işlevi ve T = transpozu ifade etmektedir(Ergül, 2010).

Baskınlık: Bir karar vektörü (x_1), bir başka karar vektörüne (x_2) yalnız ve yalnız

- x_1 tüm amaç işlevlerinde x_2 ’ den iyi,
- x_1, x_2 ’ den en azından bir amaç işlevinde çok iyi

olma durumu sağlandığında baskın olur ($x_1 < x_2$ olarak gösterilir).

Benzer olarak, bir amaç vektörü (f_1) bir diğer amaç vektörüne (f_2), tüm amaçlarda ondan daha iyi ise veya en azından bir amaç işlevinde ondan çok iyi ise baskın olur ($f_1 < f_2$).

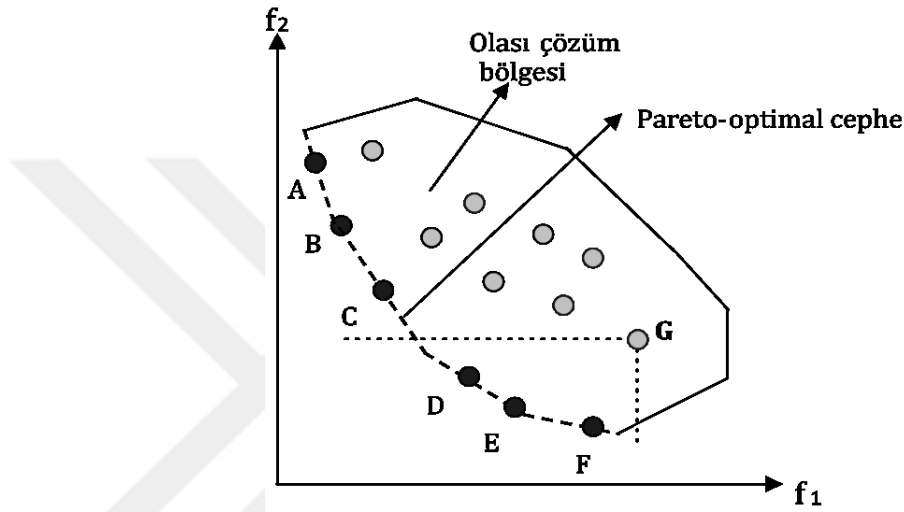
Pareto-optimal: Bir karar vektöründe (x^*) baskın olan başka bir karar vektörü yoksa Pareto-optimal olarak adlandırılır. Amaç vektörü ($f^*(x)$), eğer x Pareto-optimal ise Pareto-optimaldir.

Pareto-optimal küme: Pareto-optimal karar vektörleri veya Pareto-optimal bireylerden oluşan kümedir ve P^* ile gösterilir.

Pareto-optimal cephe: Tüm amaç işlevleri dikkate alındığında, baskın olan tüm bireylerden / karar vektörlerinden oluşan cephedir ve PF^* ile gösterilir.

Tercih Edilen Çözüm: Çözüm kümesi içerisinde, karar verici tarafından ek ölçütler kullanılarak seçilen baskın (Pareto) bir çözümdür.

Şekil 3.7’de Pareto optimal kavramlar ve bireyler arasındaki baskınlık ilişkisi gösterilmektedir. Burada D, E ve F bireylerinin hepsi G bireyinden baskındır. Çünkü her iki amaçta da ondan iyidirler. İki amaçlı bir en küçükleme problemi üzerinde, Pareto-optimal (veya kısaca Pareto) bireyler, bu bireylerden oluşan $P^*=\{A,B,C,D,E,F\}$ Pareto-optimal küme ve Pareto-optimal cephe (çizgili bölge) gösterilmektedir (bu bir en küçükleme problemidir). Siyah noktalar Pareto optimal bireyleri, gri noktalar Pareto olmayan bireyleri göstermektedir (Ergül, 2010)



Şekil 3.7. Pareto optimal kavramları ve baskınlık ilişkileri (Ergül, 2010)

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin asıl amacı, Pareto cephesini bulmak veya yaklaşmak, bu cephe üzerinde düzgün bir dağılım sağlayarak karar vericiye alternatif karar seçenekleri sunmaktır. Yakın zamanda yapılan çalışmalar, Pareto optimalin çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde en etkili yöntem olduğunu ve diğer yöntemlere üstünlüklerini göstermiştir (Kaya ve Fırlı, 2016).

Bu çalışmada öncelikle seçim yöntemleri ayrı ayrı başarı ölçüt setleri ile puanlanarak kendi aralarında sıralanmıştır. Sonrasında tümleşik biçimde karşılaştırılmış, çok amaçlı optimizasyon işlemleri Pareto optimal yöntem ile değerlendirmiştir.

Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı (K_1K_s), göğüs çapı-ağaç boyu- (ÇB), tek girişli periyodik çap artımı (1GPÇA) ve dört girişli periyodik çap artımı (4GPÇA) biçimindeki Meyer’in enterpolasyon formülü çarpanlarını oluşturacak denklemler, işlem süresi ($İS_{as}$) olarak isimlendirilecek örnek ağaç sayısı ile beraber Pareto optimal yöntemi ile,

- $\dot{I}S_{as}-K_lK_s$, $\dot{I}S_{as}-\dot{C}B$, $\dot{I}S_{as}-1GP\dot{C}A$, $\dot{I}S_{as}-4GP\dot{C}A$
- $\dot{C}B-1GP\dot{C}A$, $\dot{C}B-4GP\dot{C}A$
- $\dot{I}S_{as}-\dot{C}B-1GP\dot{C}A$, $\dot{I}S_{as}-\dot{C}B-4GP\dot{C}A$

şeklinde toplam sekiz ayrı formda değerlendirilmişlerdir. Bu formlar karar vericinin amaçlarına ilişkin senaryolar için düzenlenmiştir. Örneğin karar verici tek girişli gövde hacim modeli oluşturmaksızın hacim artımı modelini yenilemek istediğinde yalnızca tek veya dört girişli periyodik çap artımı puanını ve işlem süresini en küçükleyici çözüm kümesine başvuracaktır. Her ikisini de yenilemek istiyor ise tek veya dört girişli periyodik çap artımı ile çap-boy ve işlem süresini en küçükleyen Pareto optimal kümeden çözüm alacaktır.

Optimizasyon değerlendirmeleri R programlama dili ve “rPref” kütüphanesi kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak karar vericiye (plan yapıcıya) Pareto optimal küme ile en iyi çözümler 1. seviye ve bazen 2. seviye biçiminde sunulmuştur. Seviye 1’in çözüm kümesinin küçük olduğu ve 2. seviyede 1.’ye yakın derecede başarılı yöntemlerin yer aldığı durumlarda 2. seviye çözüm kümesi de verilmiştir.

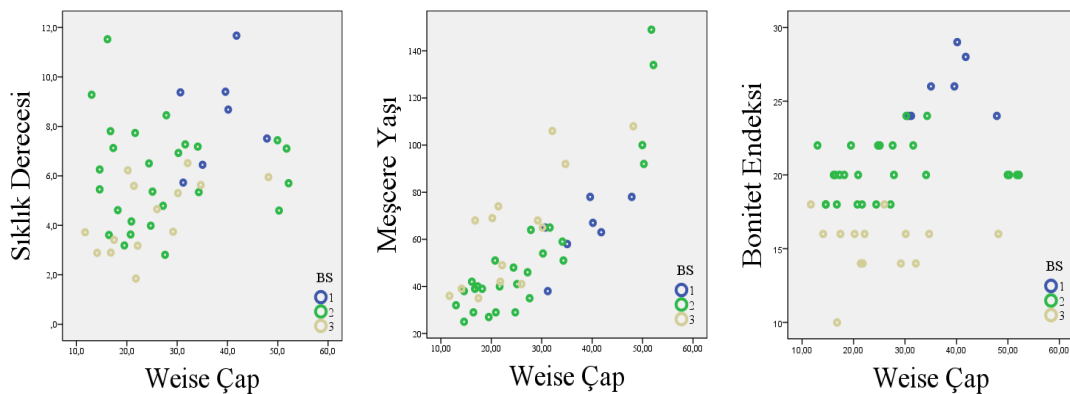
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında 47 örnek alan için elde edilen veriler ile meşcere elemanlarına ilişkin bazı tanımsal istatistikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Örnek alanlar için bazı meşcere elemanlarının tanımsal istatistikleri

Örnek alan ve meşcere özellikleri	N	En küçük	En büyük	Ortalama	Standart Sapma	Varyasyon yüzdesi (%)
Örnek alan büyüklüğü (m ²)	47	200.0	1040.0	531.06	180.12	33.92
Örnek alan yarıçapı (m)	47	7.98	18.19	12.82	2.16	16.87
HÇK	47	9.62	50.00	21.12	7.98	37.77
Meşcere Yaşı (yıl)	47	25.00	149.00	58.23	27.76	47.67
Meşcere üst boy (m)	47	8.72	27.02	15.92	4.55	28.59
Meşcere göğüs yüzeyi (m ² /ha)	47	8.55	72.29	30.49	14.21	46.60
Meşcere ağaç sayısı (adet/ha)	47	192.31	2350.0	665.24	468.79	70.47
Aritmetik orta ağaç göğüs çapı (cm)	47	11.97	49.94	26.08	10.38	39.80
Göğüs yüzeyi orta ağacı göğüs çapı (cm)	47	12.47	50.78	26.90	10.53	39.13
Weise orta ağacı göğüs çapı (cm)	47	11.70	52.15	27.94	11.37	40.69
Rölatif Sıklık Derecesi	47	1.85	11.67	5.92	2.26	38.16
Bonitet Endeksi (m)	47	10.00	29.00	19.60	3.92	19.98
Meşcere hacim (m ³ /ha)	47	33.18	629.84	204.34	146.34	71.62

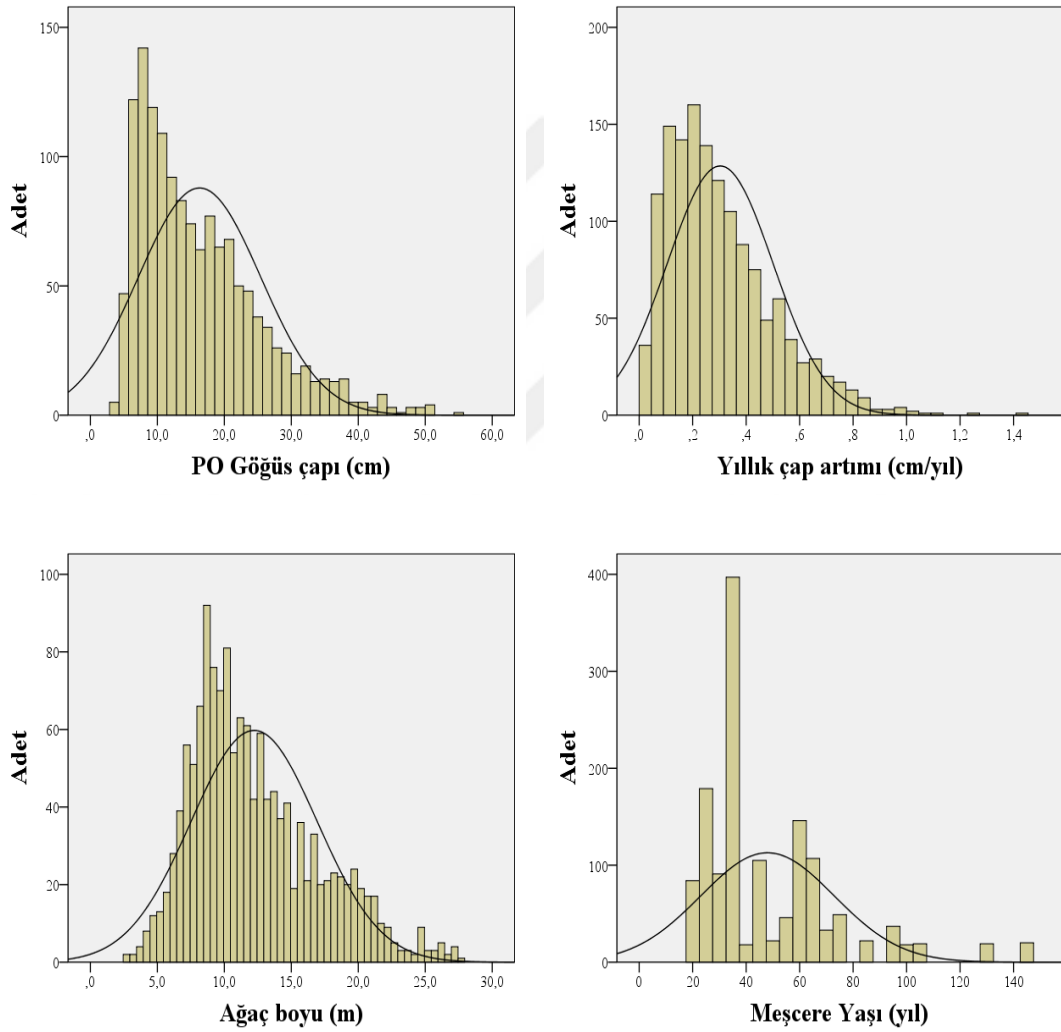
Örnek alanlar için belirlenen Weise ağacı çapları ile örnek alanların bonitet sınıfları açısından rölatif sıklık dereceleri, bonitet endeksleri ve meşcere yaşları dağılımlarını gösterir grafikler Şekil 4.1’de verilmektedir.



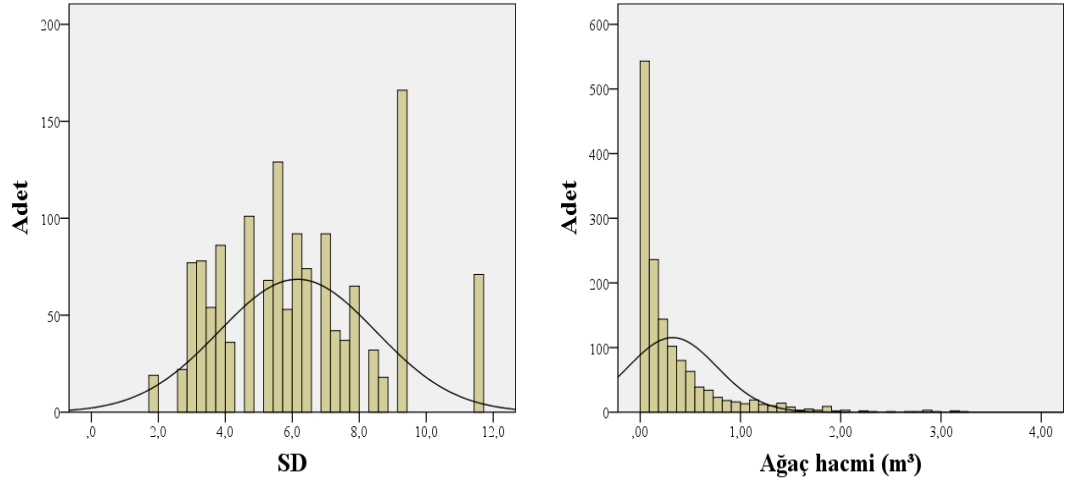
Şekil 4.1. Örnek alanlara ait Weise ağacı göğüs çapı ile rölatif sıklık dereceleri, meşcere yaşları ve bonitet endeksleri değerlerinin dağılımları

Bu grafikler arazi çalışmalarının ilk aşamalarından itibaren düzenlenerek oluşturulmaya başlanmıştır. Dağılım yönü ve değişken değerlerinin aralıkları sürekli takip edilmesi gerekli özelliklere sahip örnek alan seçilmesi aşamalarında etkili biçimde yön belirleyici olmuştur.

Örnek alanlardaki ağaçlar için hazırlanan periyot ortası (PO) kabuksuz göğüs çapı, yıllık kabuksuz göğüs çapı artımı, boyları, meşcere yaşı, rölatif sıklık dereceleri (SD) ve hacim değerlerinin frekans dağılım grafikleri Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Örnek alanların alındığı meşcerelerin bazı hacim ve hacim elemanlarının frekans dağılımları



Şekil 4.2. Örnek alanların alındığı meşcerelerin bazı hacim ve hacim elemanlarının frekans dağılımları (Devam)

Bu alt bölümde ilk olarak test edilen istatistik modeller ve en uygun olanlarının belirlenmesi, daha sonra en iyi modeller ile kullanılan seçim yöntemlerinin yarıştırmaları ve puanlanmaları, seçim yöntemleri için Meyer'in enterpolasyon yöntemi ile meşcere hacim artımlarına ait tahminlerin birbirleri ile karşılaştırılmaları ve en son olarak da değişkenlerin seçim yöntemleri için optimizasyonlarına ilişkin bulgu ve tartışmalar ve bazı karşılaştırmalar sunulmaktadır.

4.1. İstatistik Modeller

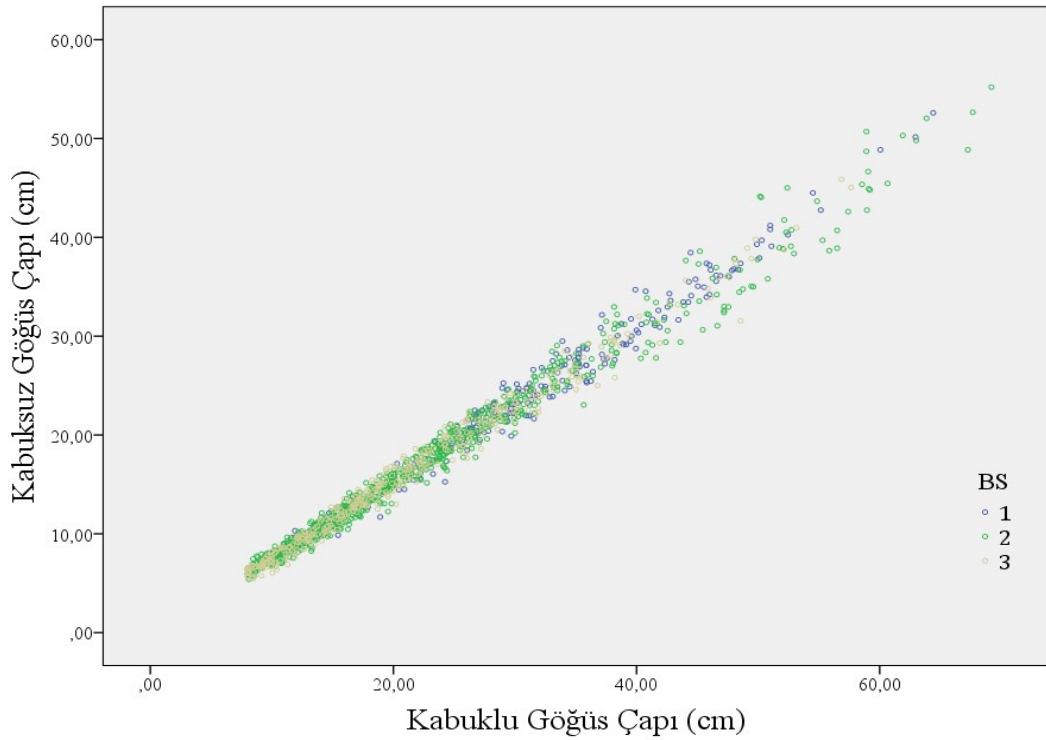
Kabuk faktörü, artış faktörü ve (tek ve dört girişli) periyodik çap artımı faktörleri hacim artımının elde edilmesi için kullanılan çarpanlardır. Bu dört faktöre ilişkin bulgular yarışma çizelgeleri, grafikler ve parametre değerleri ilk dört, genel değerlendirmeler ise son sıradaki beşinci alt bölümde sunulmaktadır.

Bulgulara ilişkin çizelge ve grafikler, sayı ve boyutlarının büyüklüğü nedeniyle tez metninde tamamen verilememiş, bazı seçim yöntemleri için örnek biçiminde sunulmuştur.

Değişkenler için test edilen istatistik modellerin seçim yöntemlerine göre başarı dağılımları da grafik olarak gösterilmektedir.

4.1.1. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı (KıKs) modelleri

Toplam 47 örnek alan içerisinde 1408 adet kızılçam ağacına ait kabuklu ve kabuksuz göğüs çapı değerlerin bonitet sınıflarına (BS) göre dağılım grafiği Şekil 4.3’de görülmektedir. Dağılım grafiklerinde, iki değişkenin değerlerini görüntülemek için kartezyen koordinatlar kullanılarak yerleştirilen noktalar topluluğu kullanılır. Her ekseninde görüntülenen birer değişken ile değişkenler arasındaki ilişki veya korelasyon hakkında bilgi verir. Şekilde gözlenen pozitif doğrusal ilişki ve noktaların yakınlığı ile yorumlanan güçlü korelasyon, değişken değerleri arasındaki ilişkinin doğal kanuniyetlere uygun olduğunun göstergesidir.



Şekil 4.3. Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapı değerlerinin dağılımı

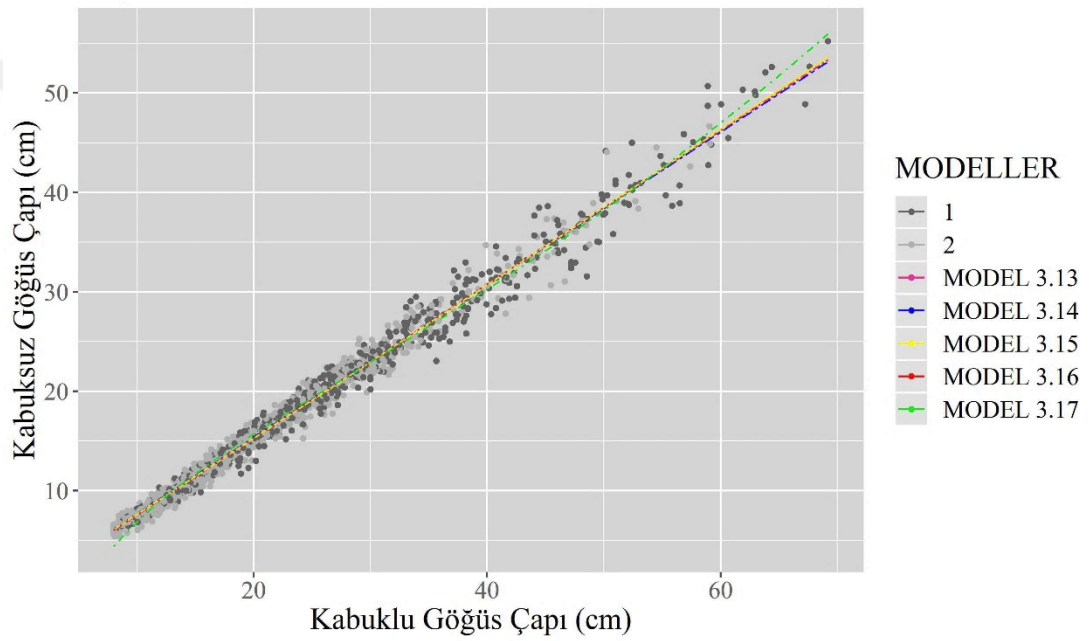
Seçim yöntemleri için test edilen toplam 270 (54x5) adet modelin başarı ölçütleri ile hesaplanan değerleri ve toplam başarı puanları (TBP), ilk 3 seçim yöntemi (SY01, SY02, SY03) için toplam 15 (3x5) model ile Çizelge 4.2’de örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı modelleri için başarı ölçütleri tablosu örneği (SY01, SY02, SY03)

SY	Model	AIC	P	BIC	P	RMSE	P	R _{adj} ²	P	MAE	P	MAPE	P	Se	P	TBP
01	3.13	157.5	84	163.0	60	1.2122	97	0.9805	95	0.7623	14	3.9393	12	1.2389	96	457.9
01	3.14	155.7	60	159.4	12	1.2149	100	0.9808	84	0.7644	17	3.9165	10	1.2281	85	368.3
01	3.15	156.4	70	163.8	70	1.1737	61	0.9813	68	0.7666	21	3.9996	19	1.2131	69	379.4
01	3.16	158.7	100	166.1	100	1.2029	89	0.9804	100	0.7537	1	3.8404	1	1.2432	100	490.7
01	3.17	151.1	1	158.5	1	1.1090	1	0.9833	1	0.8186	100	4.7061	100	1.1462	1	205.0
02	3.13	461.0	53	469.8	51	1.2146	100	0.9813	54	0.8189	2	4.3159	1	1.2233	55	315.3
02	3.14	459.0	1	464.9	1	1.2146	100	0.9814	1	0.8186	1	4.3160	1	1.2189	1	106.2
02	3.15	461.8	75	473.6	90	1.2097	31	0.9813	48	0.8190	2	4.3512	7	1.2227	48	300.3
02	3.16	462.8	100	474.6	100	1.2139	89	0.9812	100	0.8186	1	4.3148	1	1.2270	100	491.5
02	3.17	461.3	62	473.1	85	1.2075	1	0.9814	21	0.8537	100	4.9325	100	1.2205	21	388.6
03	3.13	615.8	13	625.5	29	1.2250	5	0.9796	2	0.8198	4	4.3361	4	1.2316	2	60.2
03	3.14	614.8	1	621.2	1	1.2281	21	0.9796	1	0.8218	8	4.3133	1	1.2314	1	33.8
03	3.15	617.8	36	630.8	64	1.2250	5	0.9795	17	0.8193	3	4.3300	3	1.2349	17	145.9
03	3.16	617.6	34	630.5	62	1.2243	1	0.9795	14	0.8184	1	4.3259	3	1.2341	14	128.1
03	3.17	623.3	100	636.3	100	1.2430	100	0.9788	100	0.8689	100	4.9784	100	1.2531	100	700.0

Seçim yöntemleri için en başarılı seçilen modellere ait R_{adj}^2 değerleri 0,9766-0,9898 arasında, MAPE değerleri 3,3968-5,1102 arasında ve RMSE değerleri 0,7687-1,5989 arasında yer almaktadır.

Seçim yöntemi 42 (Model 3.13 ile en iyi TBP almış olan) için, regresyon analizleri ile değerlendirilen model grafikleri, örnekleme değerleri üzerinde görülecek biçimde şekil 4.4'te verilmiştir. Açık gri renkli noktalar tüm ağaçlara ait değerlerin, siyah noktalar ise seçim yöntemi ile çekilmiş ağaçlardan elde edilen verilerin dağılımlarıdır. Model eğrileri (ya da doğrular) farklı renk ve çizgi tipi ile gözlenmektedir.



şekil 4.4. SY42 için test edilen modellerin örnek hacmi üzerinde gösterimleri

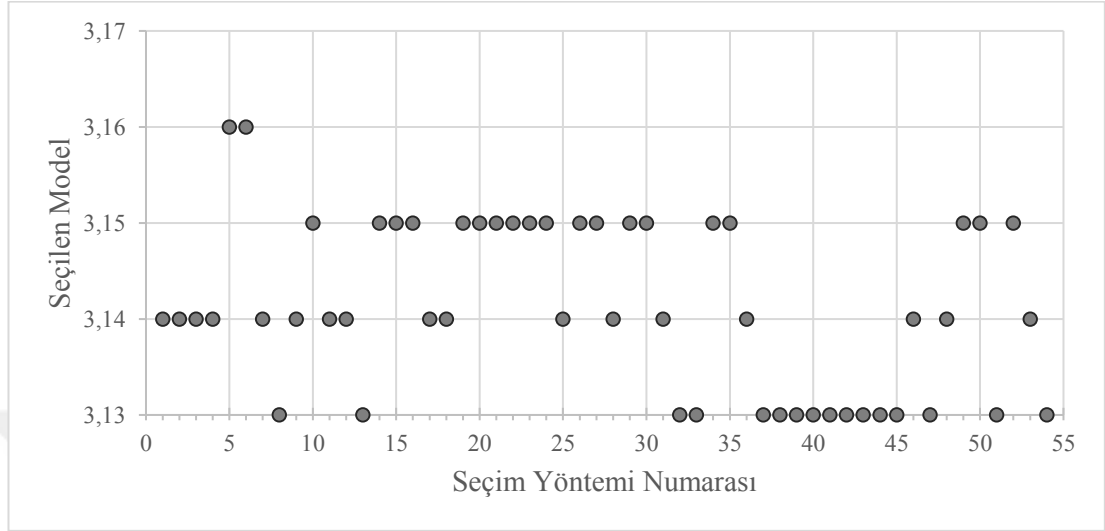
İlk üç seçim yöntemi için toplam 15 adet modelin regresyon analizleri ile hesaplanan parametre ve p değerleri izelge 4.3'te örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı modelleri için parametre değerleri tablosu örneği (SY01, SY02, SY03)

SY	Model	β_0	β_1	β_2	p_0	p_1	p_2	Model_p	Örnek sayısı
01	3.13	-0.197694130	0.781059917		6.6E-01	2.5E-40		2.5E-40	47
01	3.14		0.774410392			1.3E-58		1.3E-58	47
01	3.15	1.125881127	0.673542154	0.001815722	2.1E-01	2.0E-13	9.4E-02	3.6E-39	47
01	3.16	2.339066666	0.828263959	-1.19226898	4.5E-01	8.4E-18	4.1E-01	1.1E-38	47
01	3.17	-12.229803326	8.277429876	0.007657510	2.0E-07	1.6E-14	2.3E-19	3.0E-40	47
02	3.13	-0.020847549	0.766324979		9.3E-01	3.3E-122		3.3E-122	141
02	3.14		0.765635071			2.8E-175		2.8E-175	141
02	3.15	0.434356467	0.727387896	0.000683157	3.8E-01	6.3E-41	2.9E-01	2.0E-120	141
02	3.16	0.675662520	0.780060883	-0.33482857	7.0E-01	1.3E-47	6.8E-01	3.3E-120	141
02	3.17	-13.072658478	8.601866367	0.007242905	7.6E-21	4.9E-41	6.0E-48	1.6E-120	141
03	3.13	0.209056520	0.753828442		3.4E-01	2.6E-159		2.6E-159	188
03	3.14		0.760810101			1.2E-231		1.2E-231	188
03	3.15	0.180497103	0.756225716	-0.00004162	6.9E-01	1.4E-54	9.4E-01	3.1E-157	188
03	3.16	-0.549559613	0.739229005	0.361019679	7.3E-01	2.8E-58	6.3E-01	2.8E-157	188
03	3.17	-14.036913733	8.996232338	0.006756416	1.9E-27	2.1E-53	4.6E-57	4.6E-156	188

p değerleri; 0.001 den küçük olanlar yeşil, 0.001-0.01 arasındakiler mavi, 0.01-0.05 arasındakiler kırmızı, 0.05 ten büyükler gri renklendirilmiştir.

Kabuksuz göğüs çapı-kabuklu göğüs çapı ilişkilerini açıklayan toplam beş adet modelin seçim yöntemleri açısından başarı durumlarını gösteren dağılım grafiği Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. Seçim yöntemleri ile başarılı olmuş kabuksuz çap kestirimi modellerinin dağılımları

Model 3.15, 3.14 ve 3.13, sırası ile 19, 17 ve 16 adet seçim yöntemi için en uygun model olarak seçilmişlerdir. Model 3.16 ise toplam iki kez seçilmiş, 3.17 numaralı model herhangi bir seçim yöntemi için başarılı bulunmamıştır.

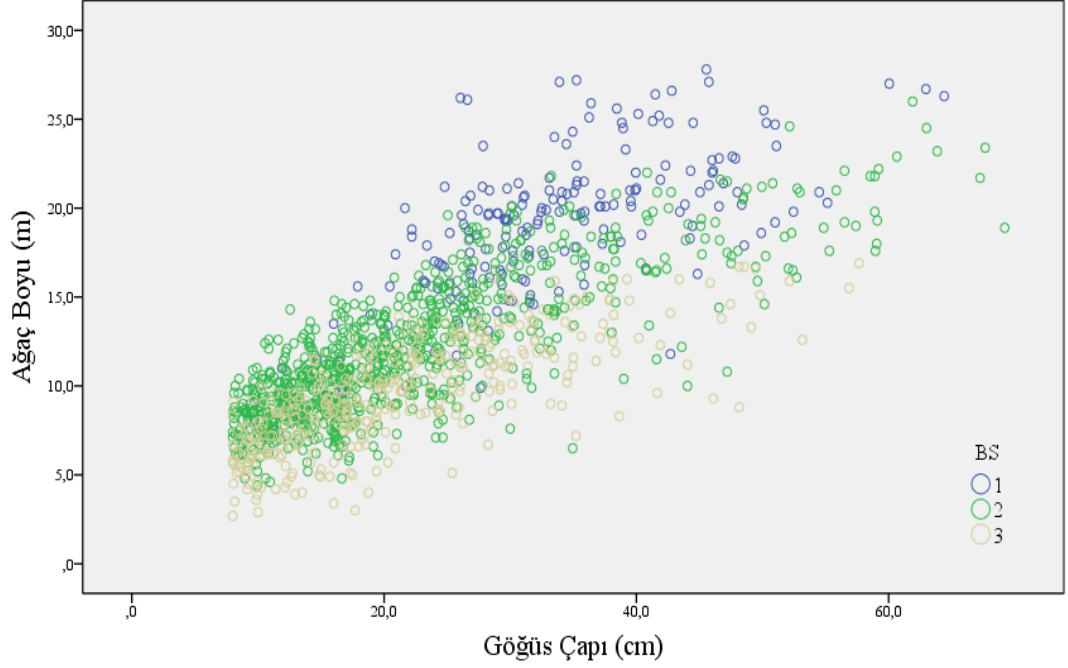
Genel olarak model 3.13'ün 32-45 numaralı seçim yöntemleri arasında, model 3.14'ün 1-14, model 3.15'in de 14 ile 35 numaralı seçim yöntemleri arasında başarı açısından gruplaştığı gözlenmektedir.

4.1.2. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu (ÇB) modelleri

Örnek alanlar içerisindeki 1408 adet kızılçam ağacına ait kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu değerlerinin bonitet sınıflarına (BS) göre dağılım grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. İlgili dağılım grafiğinde;

- Göğüs çapının bir fonksiyonu olarak, giderek azalan biçimde artan ağaç boyu değişkenine ait değerlerin dağılımı,
- Noktaların birbirlerine yakınlık dereceleri ile anlamlı olarak yorumlanabilecek korelasyon,

- Bonitet sınıfları için ayrıca göğüs çapı değerine karşılık boy değerlerinin dağılım yoğunluk biçimleri ile değişken değerlerinin doğal kanuniyetlere uygun biçimde hareket ettikleri gözlenmektedir.



Şekil 4.6. Kabuklu göğüs çapı ile ağaç boyu değerlerinin dağılımı

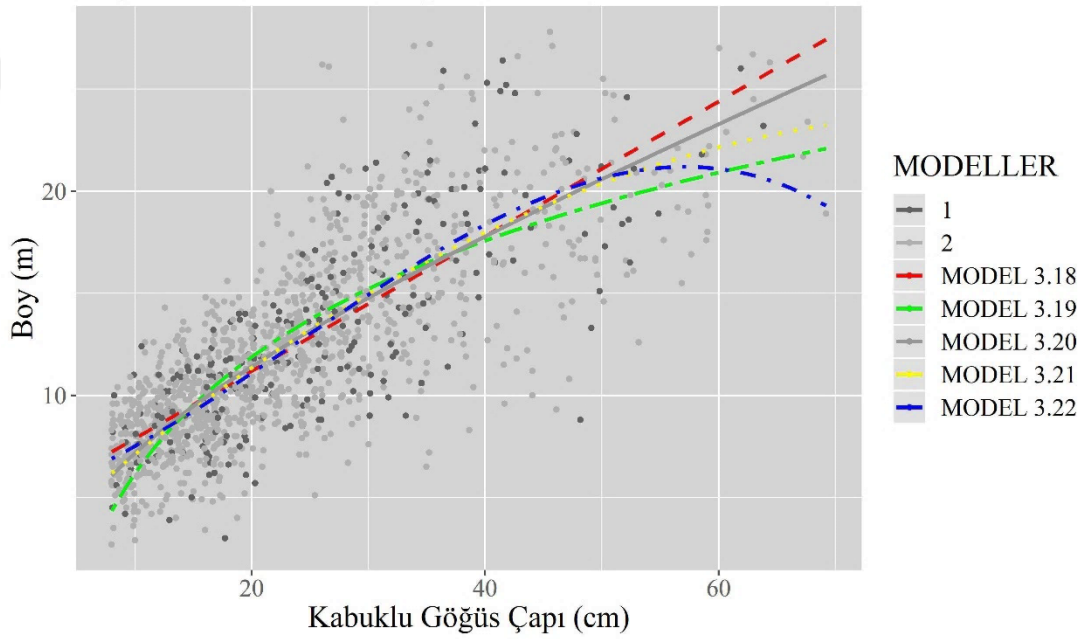
Modellerin ilgili başarı ölçütleri ile yarıştırmaları sonucu hesaplanan değerleri ve bağıl puanlama ile aldıkları başarı puanları Çizelge 4.4'te ilk iki seçim yöntemi için 20 (2x10) adet model örnek olarak verilmiştir. Tüm seçim yöntemleri için toplam 540 (54x10) adet model test edilmiştir.

Çizelge 4.4. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu modelleri için başarı ölçütleri tablosu örneği (SY01 ve SY02)

SY	Model	AIC	P	BIC	P	RMSE	P	R _{adj} ²	P	MAE	P	MAPE	P	Se	P	TBP
01	3.18	263.4	100	268.9	69	3.740	100	0.424	100	2.962	100	23.099	2	3.822	100	570.2
01	3.19	259.9	11	265.4	1	3.603	42	0.466	27	2.934	79	23.573	2	3.682	28	190.2
01	3.20	261.8	61	269.2	75	3.602	42	0.454	48	2.938	82	23.676	2	3.723	49	359.1
01	3.21	259.5	1	266.9	29	3.512	4	0.481	1	2.861	23	22.969	1	3.630	1	59.9
01	3.22	261.3	48	270.5	100	3.506	1	0.470	19	2.833	1	22.567	1	3.665	19	189.0
01	3.23	261.6	56	267.2	36	3.672	71	0.445	64	2.929	75	107.262	100	3.753	64	465.9
01	3.24	259.9	12	265.4	2	3.604	43	0.465	28	2.955	95	105.808	98	3.683	29	306.2
01	3.25	261.9	62	269.3	75	3.602	42	0.454	49	2.935	79	106.627	99	3.723	49	455.0
01	3.26	261.8	61	269.2	75	3.602	42	0.454	48	2.929	75	106.642	99	3.723	49	449.1
01	3.27	260.8	34	268.2	54	3.561	24	0.466	26	2.903	55	105.641	98	3.680	27	318.3
02	3.18	760.3	100	769.1	100	3.510	100	0.520	100	2.742	100	22.885	3	3.536	100	602.6
02	3.19	749.8	47	758.7	24	3.383	55	0.555	50	2.702	78	22.310	2	3.407	51	306.8
02	3.20	751.8	57	763.6	60	3.382	55	0.551	55	2.701	77	22.287	2	3.419	56	360.9
02	3.21	743.9	17	755.7	3	3.289	22	0.576	19	2.641	43	21.949	2	3.325	19	124.4
02	3.22	740.7	1	755.5	1	3.229	1	0.588	1	2.566	1	21.511	1	3.276	1	7.0
02	3.23	754.9	73	763.7	61	3.444	77	0.538	74	2.703	78	107.327	100	3.469	75	537.4
02	3.24	751.2	54	760.0	34	3.399	61	0.550	56	2.734	95	105.352	98	3.424	57	456.0
02	3.25	751.8	57	763.6	60	3.383	55	0.551	55	2.702	78	106.267	99	3.419	56	458.9
02	3.26	751.6	56	763.4	59	3.380	54	0.552	54	2.695	74	106.347	99	3.417	55	450.0
02	3.27	749.2	44	761.0	41	3.352	44	0.560	43	2.675	62	105.900	98	3.388	44	376.4

Seçim yöntemleri için en başarılı seçilen modellere ait R_{adj}^2 değerleri 0,4656-0,6620 arasında, MAPE değerleri 17,9437-107,3529 arasında ve RMSE değerleri 2,6485-3,7052 arasında yer almaktadır.

Model grafikleri, SY16 (Model 3.21 ile en iyi TBP almış) ve ilk 5 model için örnekleme değerleri üzerinde görülecek biçimde Şekil 4.7’de verilmiştir. Açık gri renkli noktalar tüm ağaçlara ait değerlerin, siyah noktalar ise seçim yöntemi ile çekilmiş ağaçlardan elde edilen verilerin dağılımlarıdır. Model eğrileri (ya da doğrular) farklı renk ve çizgi tipi ile gözlenmektedir.



Şekil 4.7. SY16 için test edilen 1. grup modellerin örnek hacmi üzerinde gösterimleri

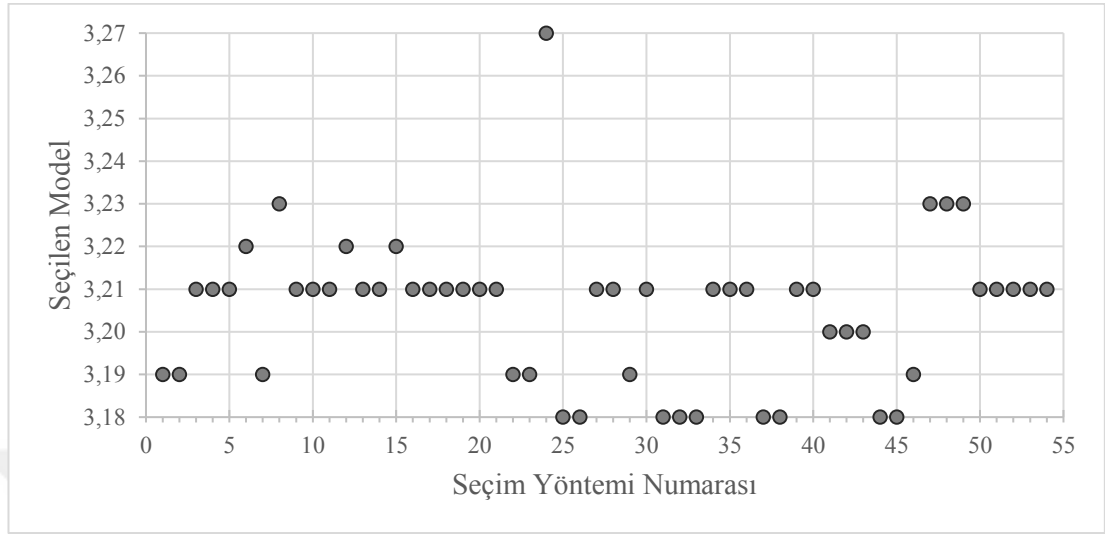
Yapılan regresyon analizleri ile modeller için belirlenen parametre değerleri örnek olarak ilk iki seçim yöntemi için Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu modelleri için parametre değerleri tablosu örneği (SY01 ve SY02)

SY	Model	β_0	$\beta_1 \& \alpha$	$\beta_2 \& \beta$	$\beta_3 \& \gamma$	p_0	p_1	p_2	p_3	Model_p	n
01	3.18	6.09410071	0.29593569			5.0E-05	4.3E-07			4.30E-07	47
01	3.19	-9.92628147	7.51224286			9.8E-03	7.7E-08			7.68E-08	47
01	3.20	-10.86427782	-0.01962580	7.97038047		2.5E-01	9.1E-01	7.1E-02		6.30E-07	47
01	3.21	0.47889228	0.75207495	-0.00770312		8.6E-01	3.4E-04	1.9E-02		2.07E-07	47
01	3.22	2.26552861	0.52348353	0.00058463	-0.00008732	6.8E-01	4.1E-01	9.8E-01	7.0E-01	1.05E-06	47
01	3.23		3.28020871	0.72792439			1.5E-02	2.2E-24			47
01	3.24		3.20494428	-13.19915604			8.3E-33	1.0E-06			47
01	3.25		-11.03578432	0.99750980	7.56662644		2.8E-01	1.1E-04	1.3E-01		47
01	3.26		-9.70052282	0.35207703	6.46611558		4.6E-01	7.8E-01	4.3E-01		47
01	3.27		9.57343018	0.43540181	0.04319918		4.0E-01	6.5E-01	2.3E-02		47
02	3.18	5.14763004	0.31950070			2.4E-11	3.8E-24			3.79E-24	141
02	3.19	-10.99132518	7.76819012			1.9E-08	2.1E-26			2.13E-26	141
02	3.20	-10.42104253	0.01247026	7.48422274		3.2E-02	9.0E-01	1.4E-03		3.53E-25	141
02	3.21	0.03498056	0.75682473	-0.00767291		9.8E-01	1.4E-11	2.3E-05		7.37E-27	141
02	3.22	5.45717044	0.03700763	0.01906034	-0.00028970	4.8E-02	9.1E-01	1.1E-01	2.5E-02	6.78E-27	141
02	3.23		2.46147787	0.74199298			3.2E-04	4.0E-82			141
02	3.24		3.20705350	-13.65487575			7.8E-104	5.1E-21			141
02	3.25		-11.90370899	1.00180756	7.72504515		9.9E-03	4.1E-24	3.6E-04		141
02	3.26		-9.48057794	0.45400155	5.93080946		1.3E-01	2.0E-01	9.4E-02		141
02	3.27		6.36589112	0.80186070	0.03641254		2.6E-01	1.0E-01	2.3E-04		141

p değerleri; 0.001 den küçük olanlar yeşil, 0.001-0.01 arasındakiler mavi, 0.01-0.05 arasındakiler kırmızı, 0.05 ten büyükler gri, non-linear modeller için ise saydam turuncu renklendirilmişlerdir.

Test edilen 10 adet ağaç boyu-kabuklu göğüs çapı modellerinin SY açısından başarı durumları Şekil 4.8’de grafik olarak görselleştirilmiştir.

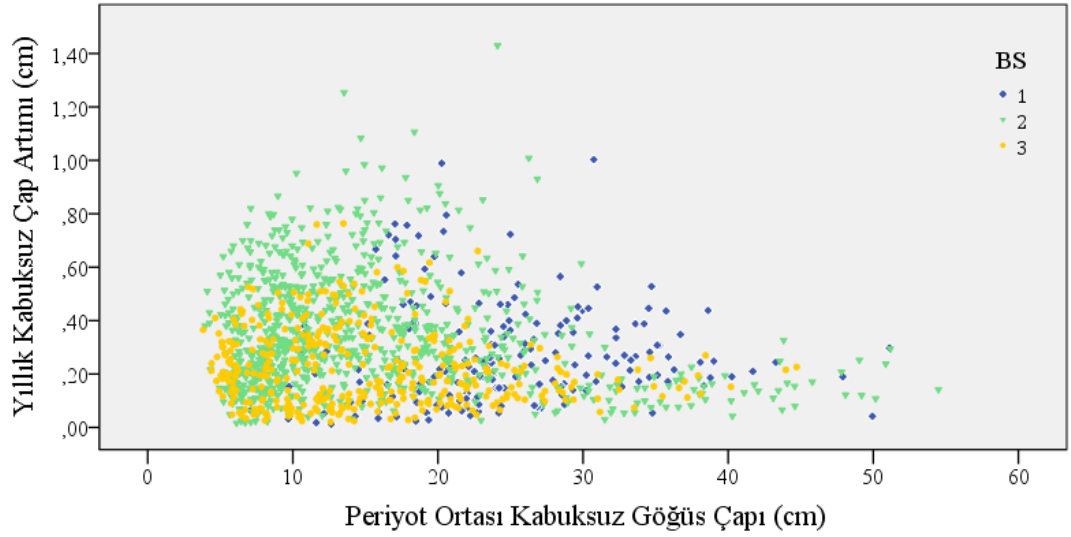


Şekil 4.8. Seçim yöntemleri ile başarılı olmuş çap-boy modellerinin dağılımları

3.21 numaralı model toplam 27 seçim yöntemi için en başarılı olmuştur. dokuz kez model 3.18, yedi kez model 3.19, dört kez model 3.23 seçilerek bunu takip etmiş, 3.20 ve 3.22 numaralı modeller üçer kez ve bir kez de model 3.27 en iyi seçilmiştir. Model 3.24, 3.25 ve 3.26 hiçbir seçim yönteminde başarılı olmamıştır.

4.1.3. Tek girişli yıllık kabuklu çap artımı (1GPÇA) modelleri

Toplam 47 örnek alandaki 1408 adet kızılçam ağacına ait periyot ortası kabuksuz göğüs çapı ile yıllık kabuksuz göğüs çapı artımı değerlerin bonitet sınıflarına göre dağılım grafiği Şekil 4.9’da görülmektedir. Çap ve çap artımı değerlerini gösteren noktalar geniş bir dağılım biçiminde şekilde yer almaktadır. Değişkenler için dağılım sağa çarpık çan eğrisini andıran nokta bulutu şeklindedir. Bu durum örnek alanlarımızda ölçülen kızılçam ağaçlarında aynı göğüs çapı değerleri için çok farklı çap artımı değerleri olduğunu, çap artımının yalnızca göğüs çapı ile açıklanmasının yetersiz olacağını da ifade eder. Tam olarak anlamlı istatistiksel bir ilişki biçiminde ifade edilmese de; çap artımının farklı göğüs çapları için aldığı yüksek ve düşük değerlerin hareketleri bonitet sınıfları ile de beraber incelendiğinde veri değerleri arasındaki ilişkinin doğaya uygun hareket ettiği gözlenmektedir.



Şekil 4.9. Periyot ortası kabuksuz göğüs çapı ile yıllık kabuksuz çap artımı değerlerinin dağılımları

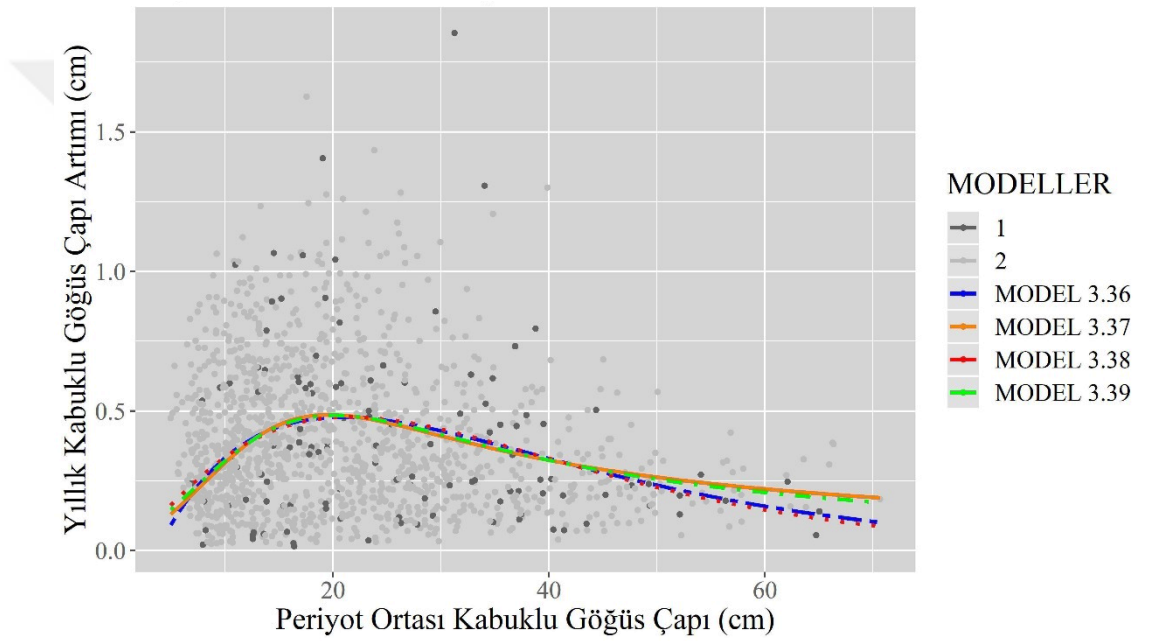
İlk iki seçim yöntemi için toplam 24 (2x12) adet modelin ilgili başarı ölçütleri ile yarıştırmaları sonucu hesaplanan değerleri ve bağıl puanlama ile aldıkları başarı puanları Çizelge 4.6'da örnek olarak verilmektedir. Seçim yöntemleri için test edilen toplam model sayısı 648 (54x12) adettir.

Çizelge 4.6. Kabuklu göğüs çapı-yıllık kabuklu çap artımı-modelleri için başarı ölçütleri tablosu örneği (SY01 ve SY02)

SY	Model	AIC	P	BIC	P	RMSE	P	MAE	P	MAPE	P	Se	P	bias	P	TBP
01	3.28	19.768	74	25.319	47	0.2801	100	0.2320	93	136.75	12	0.2863	88	1.5E-17	1	414.8
01	3.29	21.541	100	28.941	100	0.2795	97	0.2341	100	138.49	14	0.2888	100	8.8E-18	1	511.4
01	3.30	19.710	73	28.961	100	0.2683	42	0.2157	39	128.55	1	0.2805	59	7.1E-18	1	315.1
01	3.31	19.905	76	27.305	76	0.2746	73	0.2308	89	138.39	14	0.2838	76	-3.0E-18	1	404.5
01	3.32	16.207	22	23.607	22	0.2640	21	0.2144	35	133.06	7	0.2729	22	-5.0E-18	1	129.8
01	3.33	16.186	22	23.586	22	0.2640	21	0.2159	39	134.12	8	0.2728	21	2.4E-18	1	134.8
01	3.34	14.824	2	22.224	2	0.2602	2	0.2066	8	201.00	96	0.2689	2	1.1E-03	17	129.5
01	3.35	15.604	14	23.004	14	0.2624	13	0.2044	1	195.76	89	0.2712	13	6.7E-03	100	242.8
01	3.36	15.088	6	22.489	6	0.2609	6	0.2066	8	197.71	91	0.2697	6	4.2E-03	63	186.1
01	3.37	14.790	2	22.191	2	0.2601	2	0.2054	4	204.30	100	0.2688	2	-4.4E-04	8	118.8
01	3.38	15.604	14	23.004	14	0.2624	13	0.2044	1	195.76	89	0.2712	13	6.7E-03	100	242.8
01	3.39	14.742	1	22.143	1	0.2600	1	0.2047	2	203.64	99	0.2687	1	6.5E-05	2	107.3
02	3.28	31.144	100	39.991	94	0.2645	100	0.2021	98	111.98	14	0.2664	100	-1.3E-17	1	506.3
02	3.29	29.386	91	41.181	100	0.2610	83	0.2024	100	111.61	13	0.2639	87	1.7E-17	1	475.0
02	3.30	20.623	48	35.367	69	0.2513	34	0.1947	54	103.35	1	0.2549	41	2.1E-17	1	248.2
02	3.31	22.559	58	34.354	63	0.2548	52	0.1992	81	107.87	8	0.2575	54	1.1E-17	1	316.7
02	3.32	20.839	49	32.634	54	0.2532	44	0.1955	58	104.01	2	0.2560	46	8.1E-18	1	255.4
02	3.33	17.362	32	29.157	35	0.2501	29	0.1938	49	103.38	1	0.2528	30	-2.0E-18	1	177.3
02	3.34	13.198	12	24.993	13	0.2465	11	0.1890	20	170.32	100	0.2491	11	1.9E-03	45	211.2
02	3.35	14.983	21	26.778	23	0.2480	18	0.1908	31	169.78	99	0.2507	19	4.3E-03	100	310.6
02	3.36	14.320	17	26.115	19	0.2475	15	0.1907	30	170.58	100	0.2501	16	2.7E-03	62	260.5
02	3.37	10.966	1	22.761	1	0.2445	1	0.1859	1	170.57	100	0.2472	1	1.8E-03	42	147.3
02	3.38	14.983	21	26.778	23	0.2480	18	0.2320	93	136.75	12	0.2863	88	1.5E-17	1	414.8
02	3.39	11.065	1	22.860	2	0.2446	1	0.2341	100	138.49	14	0.2888	100	8.8E-18	1	511.4

Seçim yöntemleri için en başarılı seçilen modellere ait R_{adj}^2 değerleri 0,004-0,217 arasında, MAPE değerleri 67,4892-235,2360 arasında ve RMSE değerleri 0,212267-0,309493 arasında yer almaktadır.

Örnek olarak 48. seçim yöntemi (Model 3.38 ile en iyi TBP almış) için 3. grup model grafikleri, örnekleme değerleri üzerinde görülecek biçimde Şekil 4.10'da verilmiştir. Açık gri renkli noktalar tüm ağaçlara ait değerlerin, siyah noktalar ise seçim yöntemi ile çekilmiş ağaçlardan elde edilen verilerin dağılımlarıdır. Model eğrileri (ya da doğrular) farklı renk ve çizgi tipi ile görülmektedir.



Şekil 4.10. SY48 için test edilen 3. grup modellerin örnek hacmi üzerinde gösterimleri

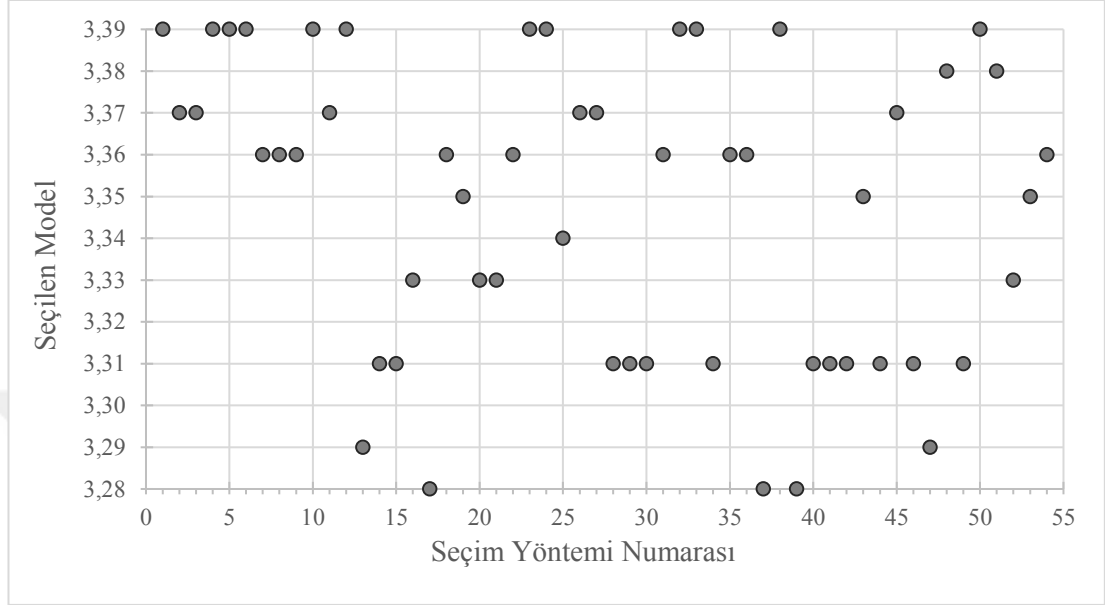
Örnek olarak ilk iki seçim yöntemi için toplam 24 adet modelin regresyon analizleri ile hesaplanan parametre değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Kabuklu göğüs çapı-yıllık kabuklu çap artımı modelleri için parametre değerleri tablosu örneği (SY01 ve SY02)

SY	Model	β_0	β_1 & α	β_2 & β	β_3 & γ	p_0	p_1	p_2	p_3	Mod_p	n	
01	3.28	0.58747946	-0.00772194			6.4E-08	3.6E-02				3.60E-02	47
01	3.29	0.52480303	-0.00232664	-0.00009154		2.5E-03	8.5E-01	6.5E-01			1.00E-01	47
01	3.30	-0.00879879	0.06760729	-0.00255123	0.00002405	9.8E-01	8.6E-02	5.6E-02	6.3E-02		4.50E-02	47
01	3.31	-0.15916447	-0.02287750	0.36422765		7.8E-01	6.1E-02	1.9E-01			4.70E-02	47
01	3.32	-0.13174493	17.95501631	-116.2758865		4.5E-01	2.1E-03	3.1E-03			8.40E-03	47
01	3.33	3.87095081	-0.82879045	-7.97276074		1.3E-03	2.9E-03	8.4E-03			8.30E-03	47
01	3.34		30806.89169	-2.94942688	41.85988212		8.2E-01	1.3E-02	2.4E-02			47
01	3.35		0.00306500	2.88235529	0.17204947		6.9E-01	3.8E-02	2.4E-02			47
01	3.36		-1.72346399	0.29202407	0.90284234		1.7E-01	4.7E-02	1.7E-41			47
01	3.37		73.84904704	-9.66751213	1.68634320		3.3E-02	1.6E-02	1.6E-22			47
01	3.38		-5.78767841	2.88233799	-0.17204841		2.7E-02	3.8E-02	2.4E-02			47
01	3.39		61.70925957	-5.96235231	0.23487384		6.2E-02	1.2E-01	3.1E-02			47
02	3.28	0.51443409	-0.00522783			1.7E-19	6.4E-03				6.40E-03	141
02	3.29	0.37397337	0.00760023	-0.00023040		3.4E-05	2.7E-01	5.6E-02			3.90E-03	141
02	3.30	-0.06576374	0.06812078	-0.00245683	0.00002319	6.8E-01	6.6E-04	4.7E-04	1.2E-03		8.20E-05	141
02	3.31	-0.43138995	-0.02582588	0.47361749		1.4E-01	1.2E-04	1.3E-03			1.40E-04	141
02	3.32	-0.00423412	13.82836558	-91.76392732		9.6E-01	1.2E-05	1.3E-05			6.00E-05	141
02	3.33	3.35077219	-0.69868640	-6.95864387		1.4E-07	2.0E-06	8.6E-06			1.10E-05	141
02	3.34		5655.07064	-2.47793300	36.77367545		6.2E-01	6.2E-06	1.9E-05			141
02	3.35		0.00700343	2.30578775	0.12950936		3.7E-01	1.1E-04	3.8E-05			141
02	3.36		-0.98883618	0.19261227	0.91781883		4.0E-02	7.4E-04	2.8E-130			141
02	3.37		71.43881529	-9.00020647	1.66328368		2.0E-05	3.3E-06	1.3E-71			141
02	3.38		-4.96135401	2.30578701	-0.12950931		1.5E-05	1.1E-04	3.8E-05			141
02	3.39		58.44398110	-5.16485466	0.20481681		1.9E-04	4.0E-03	4.5E-05			141

p değerleri; 0.001 den küçük olanlar yeşil, 0.001-0.01 arasındakiler mavi, 0.01-0.05 arasındakiler kırmızı, 0.05 ten büyükler gri, non-linear modeller için ise saydam turuncu renklendirilmiştir.

Çalışma kapsamında test edilen 12 adet periyodik göğüs çapı artımı-göğüs çapı modellerinin seçim yöntemleri açısından başarı durumlarını gösteren dağılım grafiği Şekil 4.11’de verilmektedir.

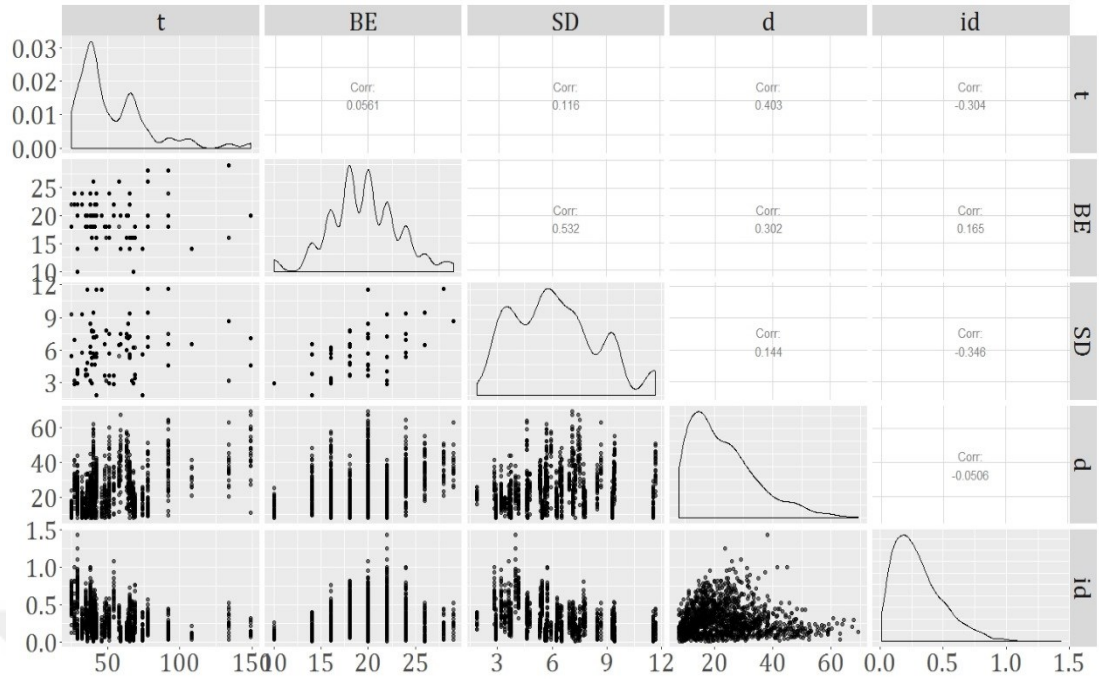


Şekil 4.11. Seçim yöntemleri ile başarılı olmuş tek girişli periyodik göğüs çapı artımı modellerinin dağılımları

Model 3.31 ve 3.39 on ikişer SY için en iyi modeller olarak seçilmiştir. Bu modelleri dokuz kez seçilen 3.36 numaralı model takip etmektedir. Model 3.37 toplam altı kez, 3.33 dört kez en başarılı olmuş, üçer kez seçilen 3.28 ve 3.35 numaralı modelleri 3.29, 3.38 ve 3.34 numaralı modeller sırası ile iki, iki ve bir kez seçilerek takip etmişlerdir. Hiç seçilmemiş iki model ise 3.30 ve 3.32 numaralı modellerdir.

4.1.4. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı (4GPÇA) modelleri

Toplam 47 olan örnek alandaki 1408 adet kızılçam ağacına ait yıllık kabuklu göğüs çapı artımı (id) ile kabuklu göğüs çapı (d), bonitet endeksi (BE), sıklık derecesi (SD) ve meşcere yaşı (t) değerlerin matris dağılım grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için değişkenlerin ilişki matrisi

Seçim yöntemleri için en başarılı seçilen modellere ait R_{adj}^2 değerleri 0,5888-0,8123 arasında, MAPE değerleri 24,0198-72,6696 arasında ve RMSE değerleri 0,094005-0,298921 arasında yer almaktadır.

Seçim yöntemleri için toplam 1134 (54x21) adet model test edilmiştir. Toplam 1134 model içerisinde örnek olarak, birinci sıradaki seçim yöntemi için 21 (1x21) modelin ilgili başarı ölçütleri ile yarıştırmaları sonucu hesaplanan değerleri ve bağlı puanlama ile aldıkları başarı puanları Çizelge 4.8’de verilmektedir. Yine bu örnek grubu üzerinden regresyon analizleri ile hesaplanan parametre değerleri Çizelge 4.9’da, katsayıların p değerleri de Çizelge 4.10’da sunulmaktadır.

Çizelge 4.8. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için başarı ölçütleri tablosu örneği (SY01)

SY	Model	AIC	P	BIC	P	RMSE	P	R _{adj} ²	P	MAE	P	MAPE	P	Se	P	bias	P	TBP
01	3.40	-12.80	39	-1.70	24	0.1859	98	0.563	66	0.1561	100	56.0	96	0.1866	96	0.0218	65	583.5
01	3.41	-7.10	63	26.20	82	0.1530	37	0.586	54	0.1206	35	39.1	18	0.1540	37	0.0135	37	362.8
01	3.42	-16.49	23	13.11	54	0.1445	22	0.654	18	0.1136	22	39.5	20	0.1454	21	0.0127	34	214.4
01	3.43	-14.31	33	2.34	32	0.1716	72	0.599	47	0.1397	70	48.8	63	0.1726	71	0.0173	49	436.2
01	3.44	-14.66	31	3.84	35	0.1674	64	0.609	42	0.1352	62	48.9	63	0.1683	63	0.0167	47	407.2
01	3.45	-20.07	8	13.23	55	0.1333	1	0.686	1	0.1021	1	35.3	1	0.1342	1	0.0110	28	96.1
01	3.46	-19.75	10	-8.65	9	0.1726	74	0.623	34	0.1378	66	46.9	54	0.1736	72	0.0172	49	369.3
01	3.47	-15.01	30	-0.21	27	0.1740	76	0.598	48	0.1400	70	48.5	61	0.1750	75	0.0175	50	437.2
01	3.48	-15.33	28	5.02	38	0.1627	55	0.620	36	0.1346	70	49.7	67	0.1636	54	0.0163	46	394.3
01	3.49	-21.83	1	-12.58	1	0.1725	74	0.633	29	0.1400	82	49.5	66	0.1734	72	0.0176	51	375.1
01	3.50	-17.60	19	-4.65	17	0.1729	74	0.613	40	0.1377	77	47.1	55	0.1739	73	0.0173	50	404.4
01	3.51	-15.41	28	-0.61	26	0.1732	75	0.602	46	0.1368	75	46.1	50	0.1743	74	0.0172	49	422.2
01	3.52	-8.44	57	8.21	44	0.1826	92	0.546	75	0.1487	86	52.7	81	0.1825	89	-0.0278	85	610.2
01	3.53	-2.60	82	19.60	68	0.1823	92	0.510	95	0.1414	73	51.2	74	0.1819	88	-0.0293	91	661.3
01	3.54	-5.16	71	17.04	63	0.1774	83	0.536	81	0.1451	80	50.0	68	0.1764	78	-0.0320	100	622.5
01	3.55	-9.42	53	10.93	50	0.1732	75	0.569	63	0.1436	77	50.7	72	0.1726	71	-0.0292	90	550.6
01	3.56	-20.06	8	-10.81	5	0.1757	80	0.619	37	0.1439	90	50.3	70	0.1764	78	-0.0206	61	427.0
01	3.57	1.77	100	35.07	100	0.1681	65	0.500	100	0.1286	50	40.8	26	0.1673	61	-0.0292	90	592.5
01	3.58	-16.33	24	-8.92	9	0.1868	100	0.579	58	0.1481	99	56.9	100	0.1888	100	0.0032	1	490.4
01	3.59	-17.59	19	-6.49	14	0.1766	58	0.606	21	0.1393	53	54.4	85	0.1782	58	-0.0111	28	336.6
01	3.60	-18.24	1	-3.44	13	0.1681	1	0.625	1	0.1350	33	48.8	50	0.1695	11	-0.0123	36	146.1

Çizelge 4.9. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için parametre değerleri (β_0 - β_8) tablosu örneği (SY01)

SY	M	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8
01	3.40	0.60805880	0.00189530	0.02115833	-0.03679359	-0.00520524				
01	3.41	3.46139077	-0.14082522	-0.14149287	-0.88982304	-210.19299583	0.04122630	11.26987607	47.11540796	-2.433166677
01	3.42		-0.03629274	0.02765147	-0.17806707	-0.00473887	0.00510985	-0.00016472	0.00000189	-0.000000007
01	3.43	0.31043229	0.00931886	-0.00300296	12.73895987	-0.46807118	-0.00041322	-0.00000499	0.03910477	
01	3.44	0.27156525	-0.00040748	0.06907834	11.23229666	-0.37484617	0.00007884	0.02420648	0.02316211	-0.000447861
01	3.45		47.87368605	-8.21187513	-5.24067538	46.35203632	1.30430900	0.18323949	0.02692397	0.040055666
01	3.46	0.37996894	0.00591983	-0.31164333	16.55136549	-2.62474745				
01	3.47	0.20534960	0.00794088	-0.37748072	15.41026142	0.05604555	0.02512342	-0.00372150		
01	3.48	0.44922722	-0.00362554	-0.00478105	0.01504960	-0.55349653	13.11652386	0.11183733	-0.03166316	0.002263881
01	3.49		0.33072836	0.00727199	-0.56978608	15.78686545				
01	3.50	-0.03733593	0.00002337	16.51857140	0.18255487	0.01202032	-0.01439816			
01	3.51		-0.00004145	18.99688452	0.01647236	-0.03061627	0.45717019	-1.69101188	-0.09396440	
01	3.52	-4.13514275	0.01445977	-0.11547809	0.01759379	-0.00051012	3.27217100	1.66212518	-1.35990538	
01	3.53	-4.44037239	0.03008002	-0.34440001	-0.31437426	0.00034578	5.52397212	0.23369527	-1.87845861	-0.000259754
01	3.54	-0.59508446	-0.05803037	-0.05172759	0.11508579	0.00466444	-0.95365863	0.00033422	-0.36991696	1.693679157
01	3.55	1.12000431	-8361.130107	-0.18642357	-2.61070312	-0.63376781	-0.48642534	1.14057316	-20.64924968	4.832079853
01	3.56		0.43152168	1.21218819	-0.39301850	-1.41582483				
01	3.57		-0.22255662	-0.13182051	0.75827302	7.88305694	0.08242627	-2.98250577	-0.05494280	-0.000417553
01	3.58		0.08001015	-0.04201725	-0.57648928					
01	3.59		-0.00187905	-0.60191404	-0.00542549	0.09070516	-0.00002846			
01	3.60		-0.00391049	0.17106796	0.03602330	0.00786189	0.00011155	-0.62023721	-0.00051656	

Çizelge 4.9. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için parametre değerleri (β_9 - β_{17}) tablosu örneği (SY01) (Devam)

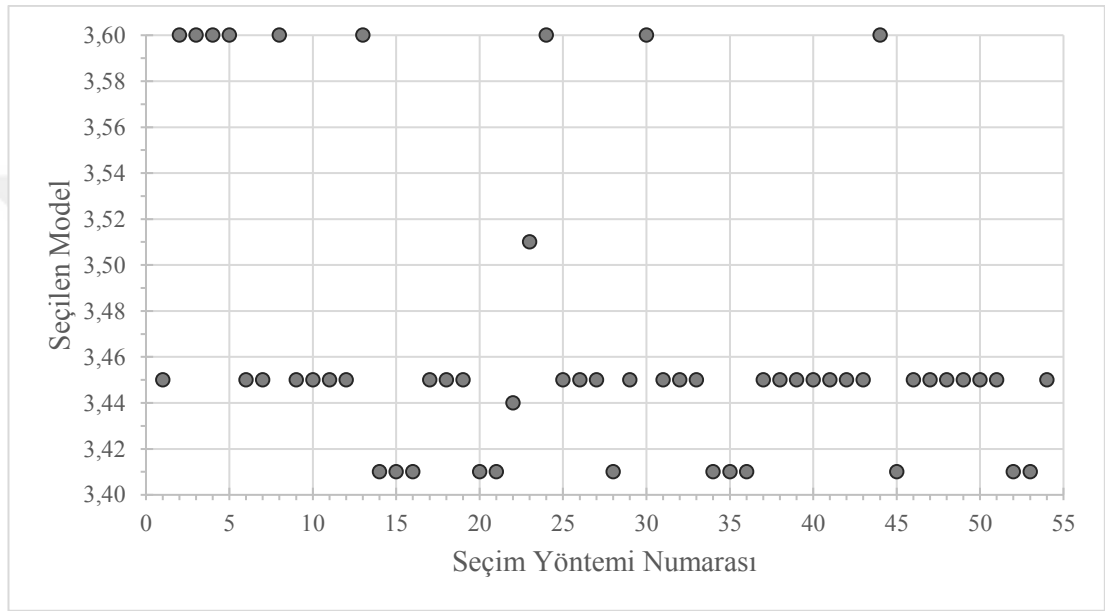
SY	M	β_9	β_{10}	β_{11}	β_{12}	β_{13}	β_{14}	β_{15}	β_{16}	β_{17}
01	3.40									
01	3.41	0.006958414	0.030831939	-0.001638875	0.000018833	9.953238193	-0.520725952	-1.748222665	0.098873393	
01	3.42	0.000043422	0.000007501	-0.000000146	0.000000001	0.886607442	0.072160307	0.004020892		
01	3.43									
01	3.44									
01	3.45	-0.003047377	0.012833483	5.004452476	-132.2545037	0.000003908	0.003102512	0.000312202	-0.102520739	-0.010665426
01	3.46									
01	3.47									
01	3.48	-0.006894793								
01	3.49									
01	3.50									
01	3.51									
01	3.52									
01	3.53	0.000785826	0.012668852							
01	3.54	-0.859544388	1.803953072							
01	3.55	915.57401851								
01	3.56									
01	3.57	0.019524289	-0.754517097	0.000625633	0.220120053	-0.003115268	0.090661963	0.003416929	0.000023472	-0.001176023
01	3.58									
01	3.59									
01	3.60									

Çizelge 4.10. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı modelleri için parametrelerinin p değerleri tablosu örneği (SY01)

SY	Model	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	Mod_p
01	3.40	1E-04	5E-01	1E-02	1E-02	2E-04													6.1E-08
01	3.41	2E-01	3E-01	3E-01	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	1E-01	3E-01	3E-01	2E-01	5E-01	2E-01	2E-01	3E-01	2E-01	2.3E-05
01	3.42		9E-01	3E-03	1E-01	3E-01	7E-01	4E-01	3E-01	3E-01	3E-01	4E-02	5E-02	7E-02	8E-01	6E-01	9E-01		7.2E-20
01	3.43	2E-01	4E-01	1E+00	2E-02	2E-01	5E-01	1E+00	5E-01										4.8E-08
01	3.44	2E-01	2E-01	9E-01	5E-02	5E-01	6E-01	2E-01	7E-01	9E-01									9.4E-08
01	3.45		4E-01	2E-01	7E-01	3E-01	5E-01	8E-02	1E+00	9E-01	2E-02	1E-02	8E-01	4E-02	1E-01	1E+00	6E-01	7E-01	6.3E-19
01	3.46	1E-01	5E-01	7E-02	1E-09	3E-01													5.0E-10
01	3.47	2E-01	5E-01	3E-01	3E-03	9E-01	7E-01	9E-01											1.6E-08
01	3.48	9E-02	5E-01	9E-01	4E-01	2E-01	8E-02	9E-01	6E-01	5E-01	6E-01								2.3E-07
01	3.49		3E-02	7E-02	2E-01	6E-09													7.6E-29
01	3.50	8E-01	1E+00	2E-04	4E-01	2E-01	4E-01												2.9E-09
01	3.51		9E-01	3E-04	9E-02	5E-01	7E-01	4E-01	9E-01										1.4E-25
01	3.52	6E-01	2E-01	5E-01	8E-01	1E+00	3E-01	4E-01	1E-01										3.5E-08
01	3.53	7E-01	3E-01	3E-01	5E-01	1E+00	3E-01	9E-01	9E-02	5E-01	6E-01	5E-01							7.5E-07
01	3.54	1E+00	6E-01	8E-01	5E-01	7E-01	7E-01	8E-01	8E-01	3E-01	3E-01	6E-01							3.0E-07
01	3.55	7E-01	6E-01	9E-01	4E-03	9E-01	7E-01	3E-01	9E-01	1E+00	8E-01								1.5E-07
01	3.56		3E-02	8E-08	5E-02	7E-11													1.6E-20
01	3.57		7E-01	1E-01	5E-01	5E-01	4E-01	5E-01	6E-01	5E-01	6E-01	9E-02	9E-01	2E-01	5E-01	6E-01	5E-01	4E-01	2.1E-12
01	3.58		6E-05	9E-04	6E-06														1.4E-19
01	3.59		4E-01	7E-03	9E-01	2E-02	3E-01												2.5E-18
01	3.60		1E-01	6E-01	4E-01	9E-01	9E-02	1E-02	8E-01										6.1E-18

p değerleri; 0.001 den küçük olanlar yeşil, 0.001-0.01 arasındakiler mavi, 0.01-0.05 arasındakiler kırmızı, 0.05'ten büyükler gri renklendirilmişlerdir.

Test edilen 21 adet dört girişli yıllık göğüs çapı artımı modellerinden, farklı seçim yöntemleri için sadece beş tanesi en iyi model olarak uygun gelmiştir. Diğerleri hiçbir seçim yöntemi için en uygun seçilememiştir. Modellerin seçim yöntemlerine dağılımı Şekil 4.13'te görülmektedir. Model 3.45 toplam 31 seçim yöntemi için en uygun olarak en fazla sayıda seçilmiştir. Model 3.41 ise 12 kez seçilerek ikinci en iyi form olmuştur. Toplam dokuz seçim yöntemi için en iyi seçilen 3.60 numaralı modeli de birer kez seçilen 3.51 ve 3.44 numaralı modeller izlemektedir.



Şekil 4.13. Seçim yöntemleri ile başarılı olmuş dört girişli periyodik göğüs çapı artımı modellerinin dağılımları

4.1.5. İstatistik modellerin genel değerlendirilmesi

Çalışmada örnek alanı en iyiye doğru temsil edecek ağaç veya ağaçların hangi ölçütlerle seçilebileceği araştırılmıştır. Farklı temsil hataları ile kullanımı uygun olabilecek, en iyiye doğru çalışan örneklem grupları oluşturmak ve bu amaçla tahmin modelleri geliştirmek hedeflenmiştir. Bu kapsamda tahmine ait hata kaynakları iki farklı şekilde karşımıza çıkmaktadır.

İlki örnek hacmini oluşturan ölçütlere ilişkin yöntemlerle, ikincisi de faktörler için kullanılan istatistik modeller ile ilişkilidir. Uygulamada verimli ormanlık alanının büyüklüğüne de bağlı olarak bir plan ünitesi için envanter çalışmaları en az 250 civarında örnek alan ölçümü ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma, değişken

varyasyonlarını temsil edecek biçimde seçilmiş olsa da, çeşitli kısıtlar nedeniyle sadece 47 adet örnek alanda yapılmıştır. Bu durum düşük sayıda örnek hacmiyle çalıştırılan regresyon analizlerini farklı yönlendirebilmektedir. Dolayısıyla hata kaynakları net olarak ayrıştırılamamıştır. Model seçimi kaynaklı hataları en aza indirmek için başarı ölçüt setleri ve puanlama özenle seçilerek yapılmış, böylece asıl amaç olan seçim yöntemleri üzerinde daha iyi bir değerlendirme yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Seçim yöntemlerine göre başarılı olmuş modellere ilişkin Şekil 4.5, Şekil 4.8, Şekil 4.11 ve Şekil 4.13’de sunulan grafikler, hangi istatistik modelin hangi seçim yönteminde başarılı olduğunu görselleştirmek üzere hazırlanmıştır.

Tek girişli periyodik çap artımına ilişkin modellerin seçim yöntemlerine göre homojene yakın bir dağılım gösterdikleri söylenebilir. Bazı değişkenler için ise modellerin seçim yöntemlerinin ölçütleri ile ilişkili biçimde gruplaşıp, kümeler biçiminde başarılı oldukları gözlenmektedir. Modellerin bir bölümü hiç başarılı olmazken bazıları seçim yöntemlerinin çoğunluğunda sürekli olarak başarı göstermektedir.

Homojen dağılım gösteren ilişki grafiği, denenen modellerin genel olarak iyi seçilmiş olduklarının göstergesidir. Aksi durumlarda ise göreceli olarak az sayıda başarı gösteren model formlarının kullanılmamasının ya da geliştirilmesinin gerekliliğini ifade etmek uygun olacaktır.

Örneğin SY37 ve SY39’da gözlendiği gibi, en kalın göğüs çapına sahip ağaçların örnek hacmine dahil edildiği seçim yöntemlerinde tek girişli çap artımı modelleri için doğrusal denklemler daha başarılı olarak öne çıkmaktadır. Buradan yola çıkarak örnek hacminin nitel ve nicel özellikleri doğrultusunda modellerin başarı durumlarının farklılaştığı söylenebilir.

Bu kapsamda, özellikle yetersiz miktarda örnek hacmi ile çalışılıyorsa, doğal kanuniyetlere uygun olmayan modellerin en uygun model seçilme risklerine karşı araştırmacının bu modelleri iyi tanıyıp başlangıçta yarışmaya dahil etmemesi önerilebilir.

4.2. Seçim Yöntemleri

Kabuk faktörü, artış faktörü, tek ve dört girişli periyodik çap artımı faktörlerine ilişkin modelleme çalışmaları sonuçlanmış, en uygun seçilen modeller seçim yöntemlerini temsil edecek konuma gelmiştir.

Bu bölümün alt başlıkları hacim artımını oluşturacak çarpanlar için seçim yöntemlerinin ayrı ayrı karşılaştırılması ve seçim yöntemlerinin genel değerlendirilmesini kapsamaktadır. Seçim yöntemlerinin modeller üzerindeki başarılarına ait çizelgeler 54 yöntemin tümü için “EKLER” bölümünde, en başarılı ilk 20 SY için de ilgili bölümlerinde verilmiştir.

4.2.1. Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkisi

Toplam başarı puanlarına göre, seçim yöntemleri içerisinde örnek alanlar içerisindeki çap basamakları ve çap sınıflarından farklı sayılarda örnek ağaç çekilerek oluşturulan SY40, SY41, SY42, SY44 ve SY45 numaralı yöntemler ilk on yöntem içerisinde grup olarak en başarılı gözlenen yöntemlerdir. Merkeze en yakın üç ağaç ve rastgele seçilen üç ağaç yöntemleri de ikinci sırada başarılı olarak yer alır. Weise orta ağacı beraberinde azalan çaptaki iki ve üç ağaç ile SY15 ve SY17 numaralı yöntemler de en başarılı ilk on yöntem içerisinde yer almaktadır.

Başarı ölçütleri ile yapılan değerlendirmeler sonucu en başarılıdan en az başarılıya şeklinde sıralanan ilk 20 yöntem Çizelge 4.11’de verilmiştir. Yöntemlerin tamamının aldıkları puanlar (TBP) ve başarı sıralamalarına ait Çizelge A.2 “EKLER” bölümünde yer almaktadır.

Çizelge 4.11. Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapı ilişkilerinin açıklanmasında en başarılı ilk 20 seçim yönteminin karşılaştırılması

Başarı sırası	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	SY no:
1	0,006	2	-0,005	15	0,672	1	0,046	1	0,933	1	98,46	10	0,032	23	532	876	52,6	42
2	0,037	9	0,002	5	0,735	26	0,046	6	1,024	22	98,43	13	0,031	14	311	1097	95,5	41
3	-0,002	1	-0,003	9	0,758	36	0,046	3	1,079	35	98,45	10	0,031	20	223	1185	114,8	44
4	-0,029	7	0,001	3	0,776	43	0,047	16	1,087	37	98,40	17	0,030	6	121	1287	129,0	45
5	-0,018	4	0,001	2	0,754	34	0,047	17	1,061	31	98,33	27	0,031	15	235	1173	131,8	39
6	0,021	5	0,000	1	0,788	48	0,046	9	1,112	43	98,46	8	0,031	19	141	1267	133,1	08
7	-0,027	7	-0,004	13	0,725	22	0,047	16	1,007	18	98,42	14	0,033	44	482	926	134,3	40
8	0,071	16	-0,003	10	0,790	48	0,047	10	1,111	43	98,50	3	0,031	18	141	1267	148,8	17
9	-0,002	1	-0,008	24	0,794	50	0,047	13	1,114	44	98,49	4	0,031	20	141	1267	155,3	02
10	0,046	11	0,001	3	0,788	47	0,046	3	1,129	47	98,42	15	0,032	34	188	1220	159,5	15
11	-0,078	18	-0,002	6	0,764	38	0,047	18	1,080	36	98,27	36	0,031	14	188	1220	165,3	38
12	-0,046	11	-0,010	30	0,787	47	0,047	10	1,112	43	98,46	9	0,031	15	121	1287	166,0	46
13	0,109	25	-0,001	5	0,796	51	0,047	14	1,120	45	98,49	5	0,032	28	188	1220	171,2	18
14	0,122	27	-0,001	4	0,800	52	0,047	12	1,122	45	98,49	5	0,032	28	188	1220	173,8	03
15	0,025	6	-0,006	18	0,806	55	0,046	8	1,139	50	98,41	16	0,031	22	94	1314	174,1	28
16	-0,140	32	-0,015	47	0,781	45	0,048	19	1,083	36	98,52	1	0,030	1	121	1287	180,7	48
17	0,045	10	-0,001	4	0,809	56	0,046	2	1,146	51	98,40	17	0,033	40	188	1220	181,3	29
18	-0,012	3	-0,008	25	0,793	50	0,047	16	1,121	45	98,45	11	0,032	31	188	1220	181,4	09
19	0,148	33	0,000	1	0,800	52	0,047	13	1,123	46	98,48	6	0,033	36	235	1173	187,3	04
20	-0,122	27	-0,007	21	0,790	48	0,047	11	1,122	45	98,40	18	0,031	17	121	1287	187,8	43

4.2.2. Kabuklu göğüs çapı-ağaç boyu ilişkisi

Toplam başarı puanlarına göre, seçim yöntemleri içerisinde Weise orta ağacı, beraberinde ona en yakın mesafedeki 2, 3 ve 4 adet örnek ağaçların seçilmesi şeklinde kurgulanmış SY14, SY15 ve SY16 numaralı yöntemler ilk on yöntem içerisinde grup olarak en başarılı gözlenen yöntemlerdir. Rastgele seçilen 3, 4 ve 5 örnek ağaç ile çalışan SY08, SY09 ve SY10 numaralı yöntemler ise grup olarak ikinci sırada başarılı olarak yer alır. Çap basamaklarından rastgele seçilen farklı sayıda ağaçlar ile çalışan SY40, SY41 ve SY42 numaralı yöntemler ise grup olarak en başarılı ilk on yöntem içerisinde gözlenmektedir.

Başarı ölçütleri ile yapılan değerlendirmeler sonucu en başarılıdan en az başarılıya şeklinde sıralanan ilk 20 yöntem Çizelge 4.12’de verilmiştir. Yöntemlerin tamamının aldıkları puanlar ve başarı sıralamalarına ait Çizelge A.3 “EKLER” bölümünde yer almaktadır.

Çizelge 4.12. Kabuklu göğüs çapı ve ağaç boyu ilişkilerinin açıklanmasında en başarılı ilk 20 seçim yönteminin karşılaştırılması

Başarı sırası	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	SY no:
1	0.056	5	-0.047	32	2.163	19	0.198	7	2.853	31	61.77	17	0.0833	30	235	1173	141.7	16
2	0.356	38	-0.034	24	2.149	14	0.197	6	2.826	24	61.06	28	0.0819	20	235	1173	153.5	27
3	0.093	9	-0.048	33	2.173	22	0.198	8	2.879	37	61.27	25	0.0824	24	188	1220	158.3	15
4	0.115	12	-0.039	27	2.209	34	0.202	16	2.893	41	61.29	24	0.0812	15	141	1267	169.8	14
5	0.264	28	-0.038	27	2.202	32	0.200	12	2.888	40	62.01	14	0.0824	23	188	1220	175.0	09
6	0.137	14	-0.053	36	2.201	31	0.202	17	2.902	43	61.53	21	0.0815	17	141	1267	179.5	08
7	0.217	23	-0.043	30	2.109	1	0.202	18	2.737	1	61.19	26	0.0923	92	532	876	189.9	42
8	-0.106	11	-0.070	48	2.177	23	0.209	33	2.833	25	62.85	1	0.0862	50	329	1079	191.4	05
9	-0.016	1	-0.066	45	2.123	6	0.208	31	2.758	6	61.34	24	0.0907	81	482	926	193.6	40
10	0.171	18	-0.047	33	2.197	30	0.202	17	2.893	41	61.42	22	0.0844	37	235	1173	197.8	10
11	0.140	15	-0.054	37	2.175	23	0.205	24	2.838	27	60.77	32	0.0856	46	311	1097	203.2	41
12	0.216	23	-0.030	21	2.262	52	0.205	24	2.937	52	61.21	26	0.0803	9	76	1332	205.4	51
13	-0.164	17	-0.075	51	2.127	7	0.209	33	2.788	14	62.54	6	0.0909	82	470	938	210.7	06
14	0.265	28	-0.038	26	2.187	27	0.201	15	2.877	37	61.16	26	0.0872	57	329	1079	215.5	11
15	0.349	37	-0.037	26	2.227	40	0.200	12	2.942	53	60.77	32	0.0815	17	121	1287	217.6	43
16	0.312	33	-0.044	30	2.216	36	0.201	14	2.943	54	60.65	34	0.0816	18	121	1287	219.4	49
17	-0.258	27	-0.085	58	2.217	37	0.208	33	2.863	33	62.08	13	0.0833	30	235	1173	229.9	30
18	0.433	46	-0.031	22	2.229	41	0.200	11	2.956	57	60.21	41	0.0815	17	121	1287	234.9	47
19	-0.183	19	-0.093	63	2.223	38	0.213	45	2.889	40	61.45	22	0.0804	10	121	1287	237.1	48
20	-0.166	17	-0.074	50	2.221	38	0.210	37	2.896	42	61.48	22	0.0844	38	235	1173	243.8	04

4.2.3. Tek girişli yıllık kabuklu çap artımı ilişkisi

Örnek alanlardaki ağaçların çap sınıflarından, farklı yöntemlerle ve bir ya da iki adet örnek ağaç çekilerek oluşturulan SY44, SY46, SY48 ve SY49 numaralı yöntemler, toplam başarı puanlarına göre sıralanmış ilk on yöntem içerisinde en başarılı grup olarak gözlenmektedir. Rastgele seçilen bir adet örnek ağaç yöntemi de pratik ve başarılı bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Merkeze en yakın ve en ince çaplı ağaçlar ile çalışan seçim yöntemleri de (SY22, SY23 ve SY24) grup olarak başarı sıralamasında ikinci durumdadır. Weise orta ağacı, azalan çaptaki bir ve iki adet ağaç ve beraberinde en ince çaplı iki adet ağaç ile SY35 ve SY36 numaralı yöntemler ise en başarılı ilk on yöntem içinde grup olarak üçüncü sırada yer alırlar.

Başarı ölçütleri ile yapılan değerlendirmeler sonucu en başarılıdan en az başarılıya şeklinde sıralanan ilk 20 yöntem Çizelge 4.13'te verilmiştir. Yöntemlerin tamamının aldıkları puanlar ve başarı sıralamalarına ait Çizelge A.4 "EKLER" bölümünde yer almaktadır.

Çizelge 4.13. Tek girişli göğüs çapı artımı ilişkilerinin açıklamasında en başarılı ilk 20 seçim yönteminin karşılaştırılması

Başarı sırası	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	SY no:
1	0.0016	2	-0.6768	37	0.1948	5	0.9575	33	0.2500	2	0.0070	8	121	1287	86.3	48
2	0.0142	10	-0.6710	37	0.1936	3	0.9661	34	0.2528	7	0.0068	1	47	1361	92.2	07
3	0.0797	57	-0.3412	7	0.1924	1	0.7616	9	0.2636	28	0.0069	6	94	1314	107.2	22
4	0.0074	6	-0.6648	36	0.1984	11	0.9511	32	0.2545	10	0.0071	15	121	1287	110.0	49
5	0.0489	35	-0.4855	20	0.1953	6	0.8411	18	0.2583	18	0.0071	14	121	1287	110.9	46
6	0.0157	12	-0.6068	31	0.1975	10	0.8981	25	0.2539	9	0.0074	29	223	1185	116.3	44
7	0.0499	36	-0.4540	17	0.1929	2	0.8062	14	0.2579	17	0.0074	31	235	1173	116.8	36
8	0.0793	56	-0.3138	5	0.1923	1	0.7272	4	0.2644	29	0.0072	22	188	1220	117.6	23
9	0.0726	52	-0.3600	9	0.1941	4	0.7530	8	0.2635	28	0.0073	23	188	1220	123.3	35
10	0.0677	48	-0.3657	9	0.1922	1	0.7521	8	0.2625	26	0.0074	32	235	1173	123.5	24
11	0.0125	9	-0.7013	39	0.1980	11	1.0441	43	0.2555	12	0.0070	9	76	1332	124.1	51
12	0.0064	5	-0.7127	40	0.1959	7	0.9941	37	0.2542	10	0.0073	25	188	1220	124.1	09
13	0.0054	4	-0.7224	41	0.1942	4	0.9978	37	0.2532	8	0.0074	31	235	1173	126.4	10
14	0.0698	50	-0.4016	12	0.1958	7	0.7889	12	0.2657	32	0.0071	14	94	1314	126.6	34
15	0.0042	3	-0.7277	42	0.2020	18	1.0181	40	0.2599	21	0.0071	13	56	1352	136.7	52
16	0.0132	10	-0.6809	37	0.1993	13	0.9693	34	0.2597	20	0.0073	25	141	1267	140.1	08
17	0.0154	11	-0.6482	35	0.1967	9	0.9503	32	0.2585	18	0.0075	39	235	1173	143.1	04
18	0.0993	70	-0.2738	1	0.1984	12	0.7208	4	0.2741	48	0.0071	12	94	1314	147.1	28
19	0.0809	57	-0.3223	5	0.1962	8	0.7230	4	0.2694	39	0.0075	37	235	1173	150.7	30
20	0.0924	66	-0.2760	1	0.1971	9	0.6986	1	0.2727	45	0.0073	29	188	1220	151.1	29

4.2.4. Dört girişli yıllık kabuklu çap artımı ilişkisi

Toplam başarı puanlarına göre, seçim yöntemleri içerisinde örnek alan merkezine en yakın konumda ve en ince göğüs çaplı farklı sayılarda örnek ağaçlar ile oluşturulan SY24, SY25, SY26 ve SY27 numaralı yöntemler ilk on yöntem içerisinde en başarılı grup olarak gözlenmektedir. Merkeze en yakın mesafedeki 3, 4, 5 ve 7 adet ağaç ile çalışan SY02, SY03, SY04 ve SY05 numaralı yöntemler de başarı sıralamasında grup olarak ikinci sırada yer alır. Rastgele seçilen toplam on adet örnek ağaç ile çalışan SY12 ve Weise orta ağacı beraberinde en yakın mesafedeki dört adet ağaç çalışan SY16 numaralı yöntemler de en başarılı ilk on yöntem içindedirler.

Başarı ölçütleri ile yapılan değerlendirmeler sonucu en başarılıdan en az başarılıya şeklinde sıralanan ilk 20 yöntem Çizelge 4.14'te verilmiştir. Yöntemlerin tamamının aldıkları puanlar ve başarı sıralamalarına ait Çizelge A.5 “EKLER” bölümünde yer almaktadır.

Çizelge 4.14. Dört girişli göğüs çapı artımı ilişkilerinin açıklanmasında en başarılı ilk 20 seçim yönteminin karşılaştırılması

Başarı sırası	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	SY no:
1	0.040	32	-0.020	4	0.114	2	0.357	2	0.154	3	64.54	1	0.004	2	141	1267	47.3	02
2	0.038	31	-0.008	2	0.112	1	0.404	10	0.147	1	64.11	1	0.004	1	188	1220	47.3	26
3	0.049	39	-0.011	3	0.115	3	0.400	9	0.151	2	63.04	2	0.004	3	235	1173	61.2	27
4	0.052	42	0.026	5	0.119	6	0.360	2	0.160	6	62.11	2	0.004	5	188	1220	68.8	03
5	0.020	16	-0.120	21	0.118	6	0.458	19	0.156	4	60.43	3	0.004	4	94	1314	73.3	25
6	0.058	47	0.019	4	0.121	8	0.353	1	0.164	7	60.21	3	0.004	6	235	1173	77.5	24
7	0.060	49	0.050	10	0.121	9	0.359	2	0.163	7	60.85	3	0.004	6	235	1173	84.9	04
8	0.061	49	0.053	10	0.122	9	0.358	2	0.163	7	60.69	3	0.005	8	329	1079	88.1	05
9	0.065	53	0.044	8	0.120	8	0.378	6	0.163	7	60.99	3	0.005	12	470	938	96.3	12
10	0.067	54	0.056	10	0.125	12	0.378	6	0.171	10	57.06	5	0.005	8	235	1173	104.8	16
11	0.013	10	-0.210	37	0.126	13	0.491	25	0.165	8	62.99	2	0.005	11	235	1173	104.9	20
12	0.074	61	0.079	14	0.125	12	0.352	1	0.167	8	57.66	4	0.004	5	223	1185	105.7	44
13	0.064	52	0.050	9	0.128	14	0.398	9	0.172	10	56.64	5	0.005	8	188	1220	107.0	15
14	0.077	63	0.083	15	0.127	13	0.360	2	0.172	10	55.97	5	0.004	5	188	1220	114.2	23
15	0.080	65	0.093	17	0.125	12	0.374	5	0.169	9	57.52	4	0.004	5	235	1173	116.9	10
16	0.080	65	0.071	13	0.129	15	0.391	8	0.173	10	53.84	6	0.004	4	121	1287	121.8	46
17	0.080	65	0.078	14	0.128	15	0.365	3	0.178	12	52.39	7	0.004	6	94	1314	122.5	22
18	0.075	61	0.100	18	0.133	18	0.402	10	0.178	12	54.36	6	0.005	7	141	1267	132.7	14
19	0.086	71	0.113	20	0.129	15	0.384	7	0.174	11	55.43	6	0.004	4	188	1220	133.0	09
20	0.086	70	0.117	21	0.128	15	0.379	6	0.173	10	56.02	5	0.005	8	329	1079	135.0	11

4.2.5. Seçim yöntemlerinin genel değerlendirilmesi

Seçim yöntemlerinin merkeze yakınlık, rastgelelik, örnek ağaç dağılımlarına ilişkin istatistikler ile bağıntılı ölçütler, çap sınıfları ve basamakları özellikleri ile oluşturulmuş ölçütler, çap özelliklerine ilişkin ölçüleri ve bunların farklı kombinasyonları ile kurgulandığına ilişkin açıklamalar yöntem bölümünde de mevcuttur. Çalışma kapsamında dört farklı ana faktör (çap-boy, kabuksuz-kabuklu çap, tek ve dört girişli çap artımı modelleri) için 54 farklı seçim yönteminin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Merkeze en yakın ve rastgele seçilen ağaçların örnek hacmine dâhil edildiği yöntemler 1, 3, 4, 5, 7 ve 10 adet ağaç ile çalışacak şekilde kurgulanmıştır. Teorik olarak merkeze en yakın bir ve rastgele seçilen bir ağaç arasında fark olmamalıdır. Çünkü uygulamada örnek alanların konumları sistemattir ve merkeze en yakın ağaç aynı zamanda rastgeledir. Bununla beraber ağaç sayısı çoğaldıkça merkeze en yakın senaryoların rastgele senaryolardan farklı sonuçlar üretmeye başlayacağı tahmin edilebilir. Merkeze en yakın senaryolarda artan ağaç sayısı ile orantılı olarak yaşam alanı kısıtı ile ağaçlar arası etkileşim, örnek alanlardaki yapıyla benzerlik gösterir. Küme örneklemenin avantajı olarak da düşünülebilen bu bakış açısıyla, değerlerin gerçeğe daha yakın kestirilebileceği öngörülebilir. Ancak dört ayrı faktör için de ilgili grafikler incelendiğinde, 1 ağaç ile oluşturulan yöntemler arasında rastgele seçim yönteminin en iyi puanı aldığı görülmektedir. Ağaç sayısının arttığı yöntemlerde ise tek girişli çap artımı ve çap-boy ilişkileri için rastgele seçim yöntemleri hep üstün durumda gözlenmektedir. Diğer faktörler için üstünlük genel olarak merkeze yakınlık ölçütüyle çalışan yöntemlerdedir. Bu çıkarımlar ile önerilerde bulunmak mümkündür. Ancak bu durumun rastlantısal olmadığı, geniş kapsamlı çalışmalar ile benzer sonuçlara ulaşmadan iddia edilemez. Yine de rastlantısal bir ağaç ile çalışan seçim yönteminin en pratik, etkin ve yeterli başarı derecesi ile de uygun bir yöntem olduğu bu çalışmanın bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Weise orta ağacı ve en yakın mesafesindeki ağaçların farklı sayılarda örnek hacmine katıldığı seçim yöntemlerinde (SY14, SY15, SY16), tüm hacim artımı çarpanı faktörleri için başarı ortalamasının üstündedir. Bu yöntemler tüm grafiklerde eğilim çizgisinin altında yer almaktadır. Özellikle artış faktörü çarpanı için test edilen ağaç

boyu-kabuklu göğüs çapı modelinde grup olarak en iyi yöntemler olarak belirlenmişlerdir.

Merkeze en yakın ve en kalın çaplı seçilen, 2 ile 5 adet ağaç ile çalışan SY25, SY26 ve SY27 ise 4 girişli yıllık göğüs çapı artımı için en başarılı sonucu vermişlerdir. Bu yöntemler çalışma genelinde diğer çarpanlar için ortalamanın altında bir başarı sergiler. Merkeze en yakın ölçütle çalışan senaryoların da başarılı olduğu bu faktör için, başarı etkeninin örnek hacmine dâhil olan merkeze en yakın ağaçlardan kaynaklandığı da düşünülebilir.

Çap basamak ve sınıflarına dağılımın ana ölçüt olduğu yöntemler (SY40, SY41, SY43, SY44, SY45, SY46, SY47 ve SY49) her zaman SY42 ve SY48 gibi en başarılı yöntem olarak seçilmeler de, istikrarlı şekilde başarı puanları yüksek yöntemler grubu olarak grafiklerde gözlenmektedir.

4.3. Seçim Yöntemlerine Ait Faktör ve Hacim Artım Tablolarının Oluşturulması

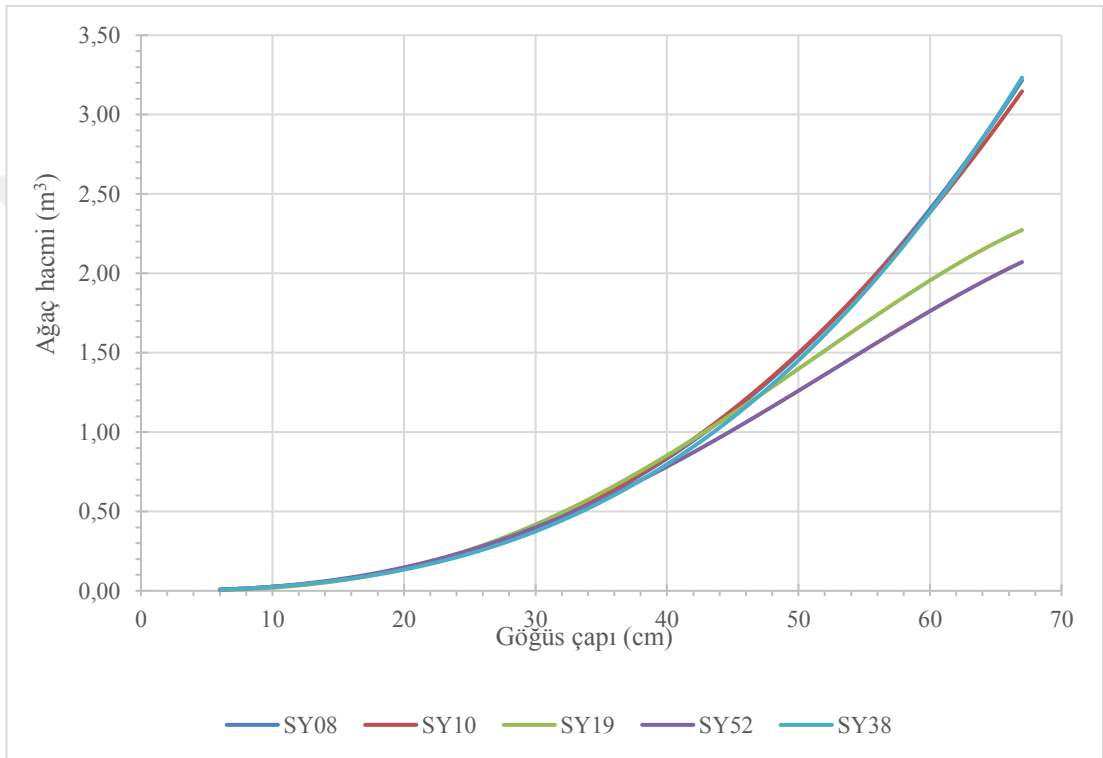
Seçilen en iyi modeller ile oluşturulan hacim artımı çarpan faktörlerinin ve elde edilen hacim artımına ait değerlerin incelenmesi çalışmaları bu bölümde verilmektedir. Grafikler 8 ile 67 cm arasındaki göğüs çapı değerleri için oluşturulmuşlardır.

Her seçim yöntemi için; göğüs çapının bir fonksiyonu olarak çap-boy, artış faktörü, kabuk faktörü, tek girişli periyodik çap artımı ve son olarak hacim artımı tabloları oluşturulmuştur. Bu tablolar büyüklükleri dolayısıyla çizelge şeklinde verilememiş, pratik şekilde incelenebilmesi için sütun grafiği formuna dönüştürülerek “EKLER” bölümünde sunulmuştur.

4.3.1. Artış faktörü

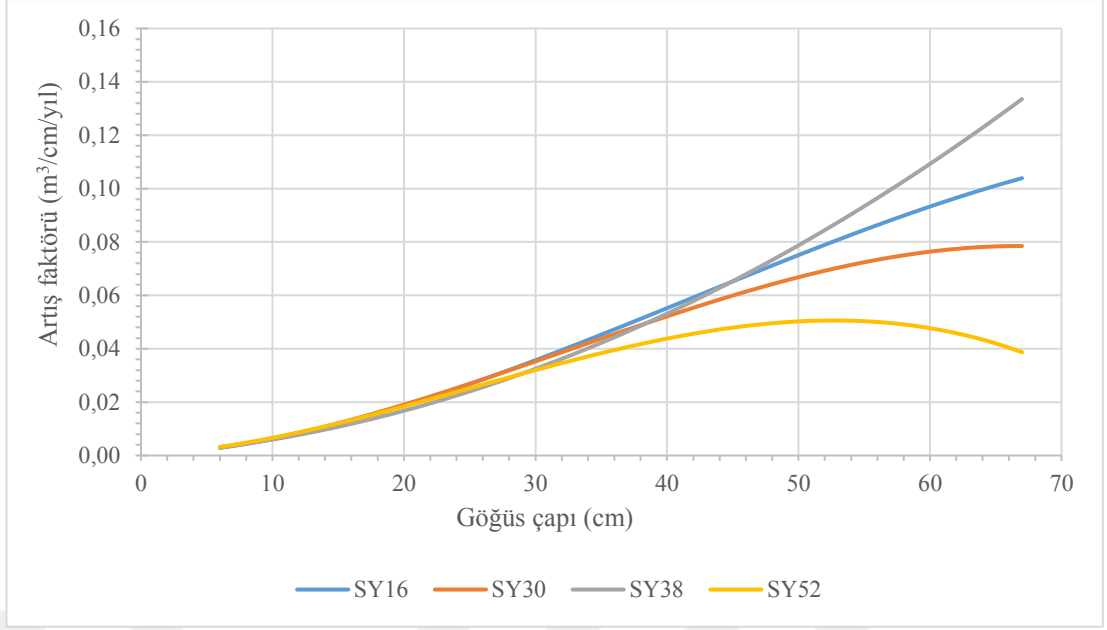
Her seçim yöntemi için elde edilen çap-boy modelleri ile Çatal (2009)’ın kızılçam çift girişli dikili kabuklu gövde hacim denklemi kullanılarak, tek girişli dikili kabuklu gövde hacim tabloları oluşturulmuştur. Tablolar, sütun grafiği formları ile (Şekil B.1) “EKLER” bölümünde sunulmuştur.

Toplamda 8-67 cm göğüs çapı arasındaki tüm değerler için en yüksek (SY08, SY10, SY38) ve en düşük (SY52, SY19) miktarda hacim değeri üreten beş yöntem için oluşturulan göğüs çapı ile ağaç hacim ilişkisi Şekil 4.14'te görülmektedir. Diğer yöntemlerle oluşturulan eğriler genel olarak bu eğriler arasında yer almaktadır. Son çap değeri 67 için en düşük hacim değerini 2,071 m³ ile SY52, en büyük hacim değerini ise 3,233 m³ ile SY38 üretmektedir. Göğüs çaplarının yaklaşık 40 cm'den itibaren giderek farklılaşan hacim değerleri ürettikleri gözlenmektedir.



Şekil 4.14. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-tek girişli DKGH modeli eğrileri

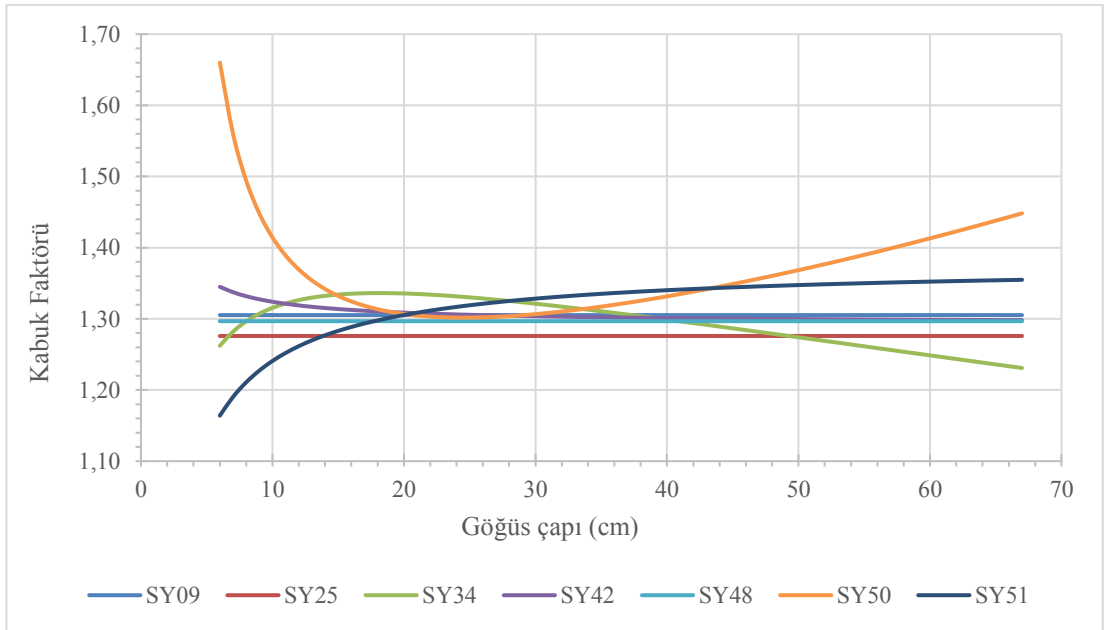
Tek girişli hacim denklemleri ile yine her seçim yöntemi için 4 cm çap basamaklı artış faktörleri tabloları oluşturulmuş, pratik şekilde incelenebilmeleri için sütun grafiği formunda (Şekil B.2) “EKLER” bölümünde sunulmuştur. Bu faktöre ait farklı seçim yöntemleri için farklı formlardaki eğrileriyle ilişki örnekleri Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.15. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-artış faktörü eğrileri

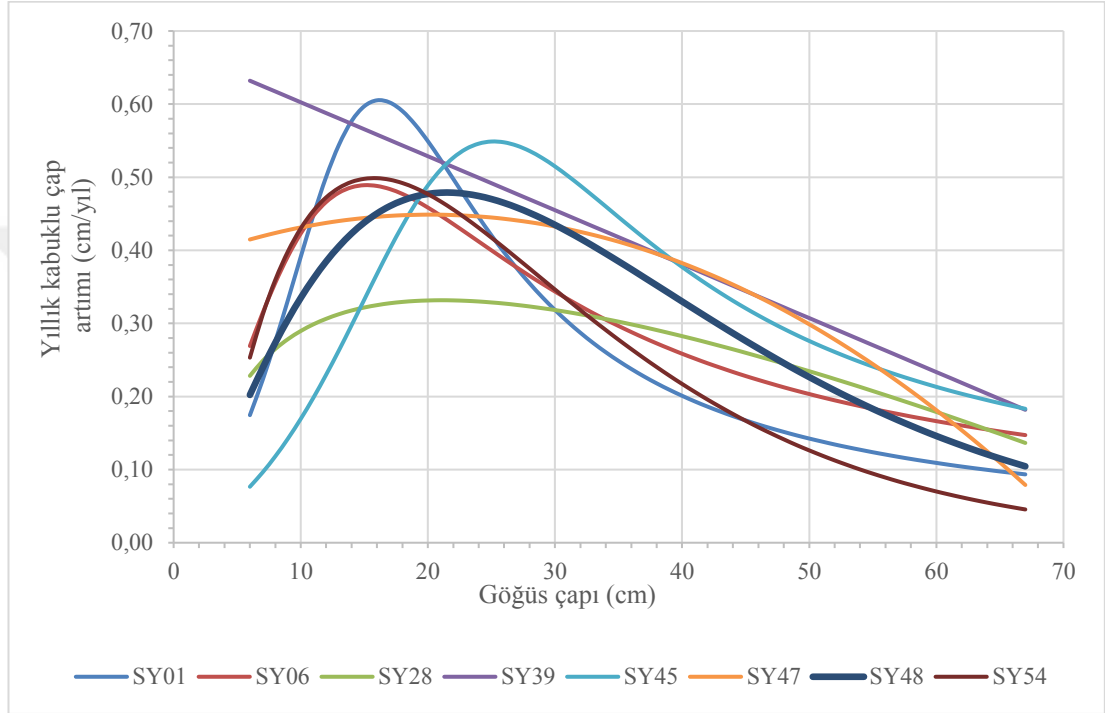
4.3.2. Kabuk faktörü

Kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı modellerinden her seçim yöntemi için oluşturulan kabuk faktörü tablosunun sütun grafiği formuna dönüştürülmüş biçimiyle (Şekil B.3) “EKLER” kısmında mevcuttur. Kabuk faktörlerine ait farklı yapıda ilişki eğrisi örnekleri Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-kabuk faktörü eğrileri

Tek girişli kabuklu göğüs çapı artımı modellerinin ürettiği değerler sütun grafiği şekline (Şekil B.4) dönüştürülerek “EKLER” bölümünde pratik biçimde incelenebilmesi için sunulmuştur. Bazı seçim yöntemlerine ait ilişki eğrileri Şekil 4.17’de örnek olarak verilmektedir. Seçim yöntemi ve seçilen modeller bağlı olarak çap artımının hangi değerlerden başlayarak ne kadar yükseldiği, hangi çap basamaklarında üst ve alt seviyelere ulaştığı grafikte gözlemlenebilmektedir.



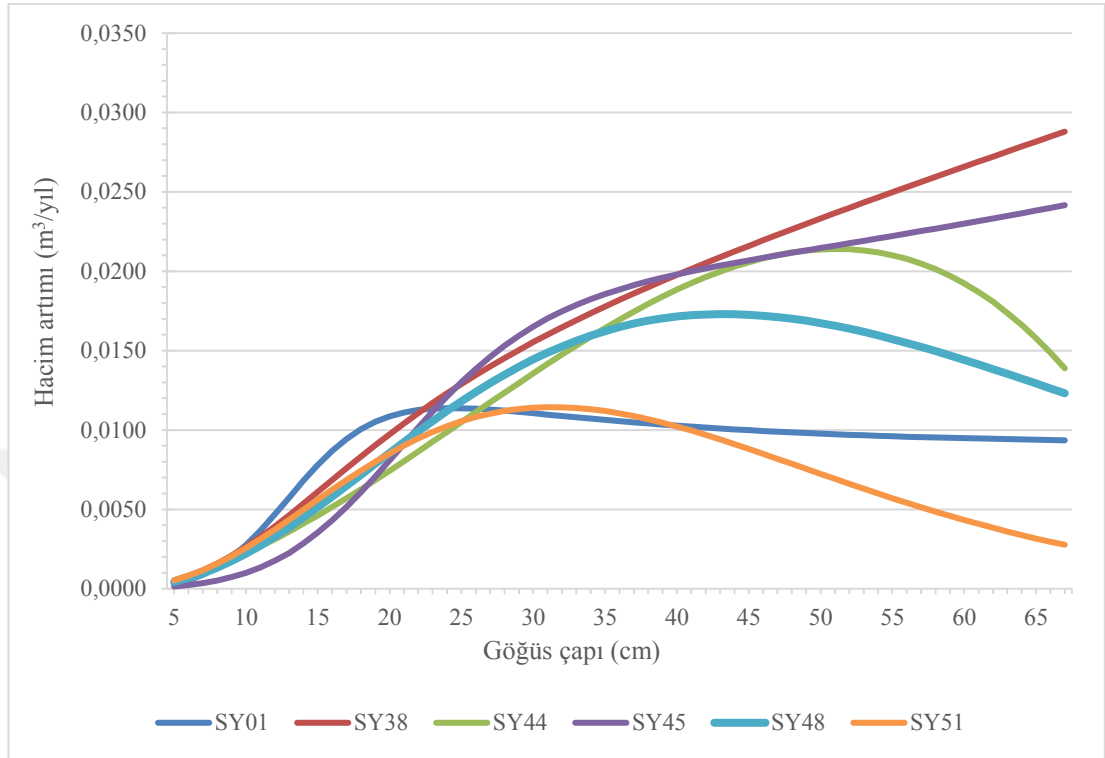
Şekil 4.17. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-periyodik kabuklu çap artımı modeli eğrileri

Tüm seçim yöntemleri için, çap basamakları yükseldikçe azalan periyodik çap artımı, 67 cm göğüs çapı için değerlerini 0,0268 cm ile 0,2291 cm arasında almaktadır.

4.3.3. Tek girişli hacim artımı

Meyer’in enterpolasyon yöntemi ile hacim artımının hesabı için kullanılan artış faktörü ve kabuklu yıllık göğüs çapı artımı faktörlerinin çarpımı sonucu tüm seçim yöntemleri için hacim artımı çizelgesi oluşturulmuştur. Çizelge büyüklüğü nedeniyle verilememiş, sütun grafiği formu ile ayrıntılı biçimde Bölüm 4.5.1’de incelenmektedir.

Burada farklı seçim yöntemleri için görselleştirilen bazı göğüs çapı-yıllık hacim artımı eğrileri Şekil 4.18’de sunulmaktadır.



Şekil 4.18. Bazı seçim yöntemlerine ait farklı karakterli göğüs çapı-periyodik kabuklu hacim artımı eğrileri

Görüldüğü üzere bazı hacim artımı eğrileri doğal kanuniyetlere aykırı biçimde sürekli artan hacim artımı değerleri üretmektedir. En iyi modellerin seçimi ile oluşturulmuş ve son halini almış yöntemlerin bu davranışı uygun görülemez. Sırası ile 2, 10, 11, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 31, 32, 33, 37, 38 ve 45 numaralı seçim yöntemlerinde bu probleme rastlanmıştır.

Aykırı yönelimin sebebini anlamak için çarpan faktörler ayrı ayrı test edilmiştir. Öncelikle en uygun seçilen artış faktörü sabit tutularak, seçim yöntemlerine ait hacim artımı tablosu tekrar oluşturulmuştur. Problemlili yöntemlerde kullanılan tek girişli göğüs çapı artımı modellerinde, ilgili grafiklerinde de görülebileceği üzere yüksek değerli çap basamakları için “artım değerinin yeterince azalmadığı” tespit edilmiştir. Artış faktörünün (seçim yöntemine de bağlı olarak) kalın çap basamakları için giderek artan değerler ürettiği konumda, bu değerler ile çarpılacak yıllık çap artımı modelinin ürettiği değerler ise yeterince küçük değildir. Bu gibi durumlarda da sonuç olarak hacim artımı da çap artıkcı hep yükselme eğilimindedir.

4.4. Meşcere Hacim Artımı Tahmin Değişkenlerinin Optimizasyonu

Bu bölümde kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı (K_1K_s), göğüs çapı- ağaç boyu (ÇB), tek girişli periyodik çap artımı (1GPÇA) ve dört girişli periyodik çap artımı (4GPÇA) biçimindeki Meyer'in enterpolasyon formülü çarpanlarına ilişkin denklem puanları, işlem süresi ($İS_{as}$) puanları ile beraber değerlendirilmiş, Pareto optimal yöntemi ile en küçüklenen amaç fonksiyonları optimize edilerek çözüm kümeleri belirlenmiştir.

4.4.1. Seçim yöntemleri başarılarının tümleşik değerlendirilmesi

Her seçim yöntemi için, yöntemin faktörler için aldığı normalize edilmiş toplam başarı puanları ile bu bölümde tekrar değerlendirilmiştir. Seçim yöntemlerinin başarı puan ve sıralamaları (BS) tümleşik biçimde Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Seçim yöntemlerinin faktörlere göre tümleşik normalleştirilmiş başarı puanları ve başarı sıralamaları

SY No:	Ağaç boyu ~ Göğüs çapı (ÇB) puanı	B S	Kabuklu çap ~ Kabuksuz çap (K_1K_s) puanı	B S	Tek girişli yıllık çap artımı (1GPÇA) puanı	B S	Dört girişli yıllık çap artımı (4GPÇA) puanı	B S	Ağaç Sayısı işlem süresi ($İS_{as}$) puanı	B S
01	0.630089	51	0.401400	40	0.222001	34	0.311559	45	0.000000	1
02	0.388405	32	0.196107	9	0.198209	30	0.000000	1	0.193814	7
03	0.374317	30	0.231457	14	0.165466	22	0.038265	4	0.290722	8
04	0.229241	20	0.257203	19	0.134798	17	0.066925	7	0.387629	10
05	0.111541	8	0.385717	38	0.209374	32	0.072722	8	0.581443	12
06	0.154871	13	0.445364	46	0.358037	38	0.173120	25	0.872165	13
07	0.276964	23	0.272137	23	0.014165	2	0.221846	30	0.000000	1
08	0.084926	6	0.153703	6	0.127737	16	0.182159	26	0.193814	7
09	0.074810	5	0.245851	18	0.089877	12	0.152702	19	0.290722	8
10	0.125946	10	0.288307	29	0.095358	13	0.124026	15	0.387629	10
11	0.165769	14	0.284495	28	0.187796	26	0.156258	20	0.581443	12
12	0.274561	22	0.378612	37	0.320427	36	0.087321	9	0.872165	13
13	0.493330	43	0.528576	49	0.660691	49	0.353909	47	0.000000	1
14	0.063104	4	0.355042	34	0.165019	21	0.152135	18	0.193814	7
15	0.037251	3	0.204123	10	0.192131	28	0.106357	13	0.290722	8
16	0.000000	1	0.267452	21	0.190958	27	0.102383	10	0.387629	10
17	0.425981	34	0.183597	8	0.644476	48	0.311253	44	0.193814	7
18	0.452327	40	0.226327	13	0.490032	44	0.308569	43	0.290722	8
19	0.629183	50	0.444163	44	0.581293	46	0.344789	46	0.387629	10

Çizelge 4.15. Seçim yöntemlerinin faktörlere göre tümleşik normalleştirilmiş başarı puanları ve başarı sıralamaları (Devam)

SY No:	Ağaç boyu ~ Göğüs çapı (ÇB) puanı	B S	Kabuklu çap ~ Kabuksuz çap (KıKs) puanı	B S	Tek girişli yıllık çap artımı (1GPÇA) puanı	B S	Dört girişli yıllık çap artımı (4GPÇA) puanı	B S	Ağaç Sayısı işlem süresi (İS _{as}) puanı	B S
20	0.582951	49	0.403919	42	0.685580	51	0.102554	11	0.387629	10
21	0.447059	38	0.368593	36	0.808583	52	0.210474	29	0.387629	10
22	1.000000	54	0.321119	32	0.049773	3	0.134048	17	0.096907	4
23	0.674993	53	0.391138	39	0.074440	8	0.119195	14	0.290722	8
24	0.578671	48	0.317229	31	0.088480	10	0.053848	6	0.387629	10
25	0.381254	31	0.780546	52	0.492434	45	0.046320	5	0.096907	4
26	0.299576	24	0.602383	50	0.437235	43	0.000083	2	0.290722	8
27	0.026457	2	0.401470	41	0.397728	41	0.024777	3	0.387629	10
28	0.562036	45	0.231934	15	0.144455	18	0.290005	39	0.096907	4
29	0.530348	17	0.245749	17	0.153855	20	0.224115	32	0.290722	8
30	0.197903	41	0.281665	26	0.152992	19	0.164334	22	0.387629	10
31	0.454937	42	0.742137	51	0.319581	35	0.234410	34	0.096907	4
32	0.483831	39	0.351285	33	0.394968	40	0.308272	42	0.290722	8
33	0.450595	25	0.275929	24	0.352814	37	0.280141	38	0.387629	10
34	0.307194	33	0.431305	43	0.095824	14	0.250197	35	0.096907	4
35	0.402086	21	0.271103	22	0.087793	9	0.223350	31	0.290722	8
36	0.252957	29	0.284291	27	0.072540	7	0.167055	24	0.387629	10
37	0.366610	37	0.278733	25	1.000000	54	0.533030	53	0.096907	4
38	0.444394	27	0.215233	11	0.669686	50	0.495002	51	0.290722	8
39	0.325962	9	0.151242	5	0.978757	53	0.297852	40	0.387629	10
40	0.116602	11	0.155942	7	0.202669	31	0.251713	36	0.896907	14
41	0.138094	7	0.081890	2	0.194254	29	0.298705	41	0.544330	11
42	0.108190	15	0.000000	1	0.180193	25	0.269502	37	1.000000	15
43	0.170431	28	0.258181	20	0.177192	24	0.354091	48	0.152577	5
44	0.363982	44	0.118796	3	0.071383	6	0.103991	12	0.362887	9
45	0.508038	35	0.145775	4	0.619577	47	0.227249	33	0.152577	5
46	0.436600	18	0.216541	12	0.058427	5	0.132732	16	0.152577	5
47	0.209262	19	0.302099	30	0.219480	33	0.166804	23	0.152577	5
48	0.214221	16	0.244633	16	0.000000	1	0.157117	21	0.152577	5
49	0.174346	36	0.365184	35	0.056221	4	0.193257	27	0.152577	5
50	0.437879	12	1.000000	54	0.360891	39	1.000000	54	0.096907	4
51	0.143028	52	0.831311	53	0.089711	11	0.202236	28	0.059794	3
52	0.670728	47	0.506832	48	0.119662	15	0.410228	50	0.018557	2
53	0.569175	26	0.444599	45	0.408516	42	0.357836	49	0.096907	4
54	0.309837	51	0.473987	47	0.172736	23	0.516284	52	0.173196	6

Çizelgede de görüldüğü üzere seçim yöntemi her bir faktör için aynı seviyede başarı göstermemektedir. En iyi çap-boy eğrilerinin modellenmesi için belirlenmiş SY16, tek girişli yıllık çap artımı modellenmesi için 27. başarı sıralamasındadır. Aynı şekilde,

dört girişli yıllık çap artımı modeli ile en başarılı yöntem olarak değerlendirilmiş SY02, tek girişli yıllık çap artımı için ise 30. başarı sırasında yer almaktadır.

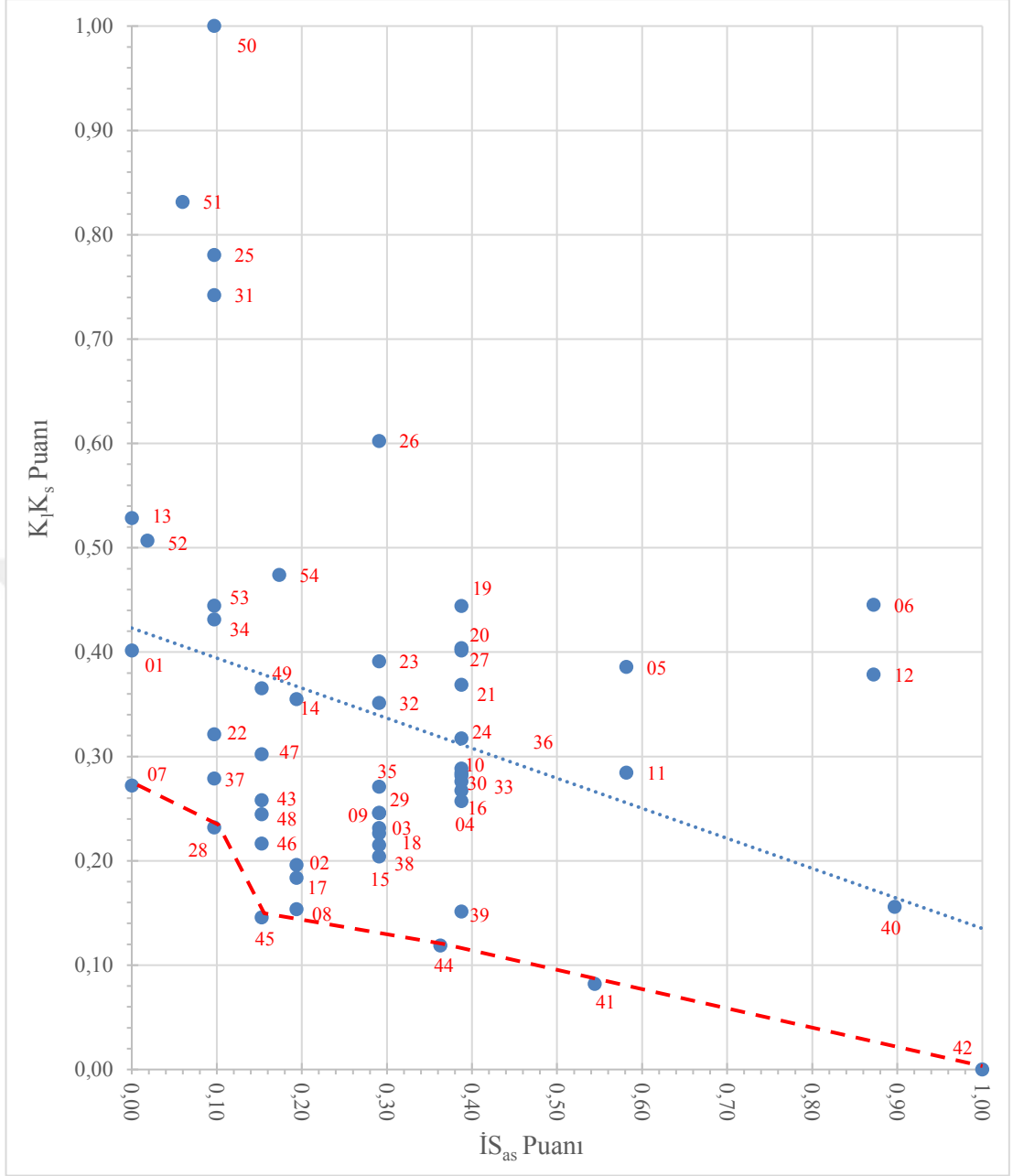
Bu durum seçim yöntemlerinin başarılı oldukları hacim artımı çarpanları açısından etkileşimlerinin incelenmesinin ve tümleşik değerlendirilmelerini gerektirmektedir. Aksi durumda çalışma plan yapıcının ihtiyaçlarına tam olarak cevap vermeyecektir.

4.4.2. Önerilen seçim yöntemleri ve tartışılması

Meyer'in Enterpolasyon yöntemindeki çarpan faktörler için değerlendirilen değişkenlere ait çok amaçlı optimizasyon işlemleri ve Pareto optimal çözüm kümeleri alt başlıklarda incelenmektedir.

4.4.2.1. Kabuk faktörü için “İS_{as}–K₁K_s” optimizasyonu

Seçim yöntemleri için kullanılan İS_{as} ile K₁K_s toplam başarı puanlarının normalize edilmiş değerlerinin dağılımları grafik Şekil 4.19'da görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Pareto optimal küme 1. seviye grafikte kesikli kırmızı çizgi ile belirtilmektedir.



Şekil 4.19. “ K_1K_s – $\bar{I}S_{as}$ ” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe

Örnek ağaç sayısı büyüdükçe, büyük örnek hacmi ile çalışan seçim yönteminin başarısının artması beklenen bir durumdur ve grafikte doğrusal gösterimi tercih edilmiş mavi noktalı “eğilim çizgisi” bunu net biçimde ifade etmektedir.

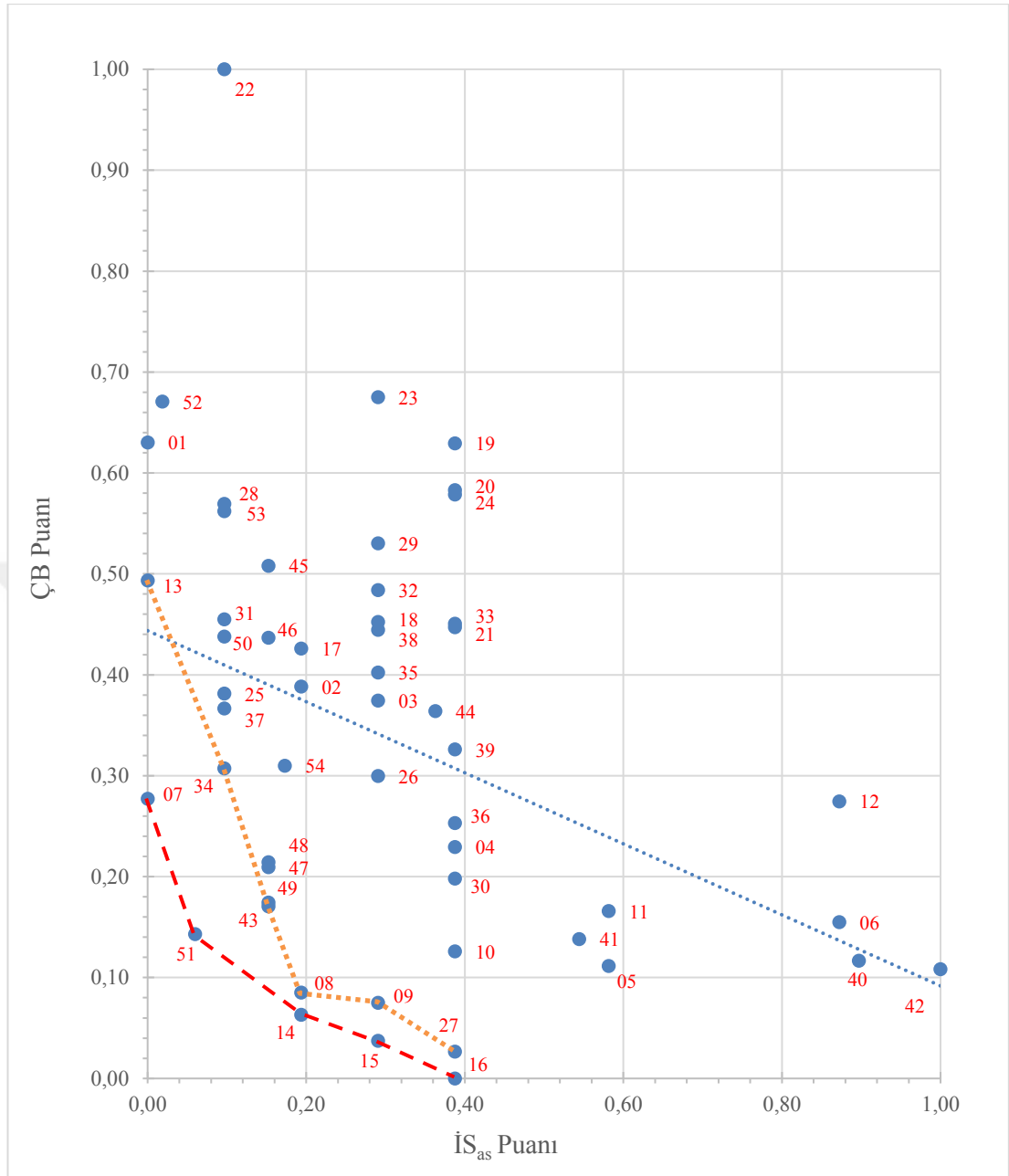
Örnek hacmi artarak büyürken 1. seviye Pareto optimal çözüm kümesi de 07, 28, 45, 44, 41 ve 42 numaralı yöntemler şeklinde sıralanmaktadır.

En yüksek başarı puanlı seçilen SY42, her örnek alan için çap basamaklarına (4 cm) rastgele dağıtılmış ikişer adet ağaç ile toplam 532 ağaçtan oluşan örnek hacmiyle

çalışmıştır. Yöntemin pratikte kullanımı zaman alıcı ve zordur. Başarılı olan SY41, SY44 ve SY45 de yine çap basamakları ve çap sınıflarının ölçüt edildiği yöntemlerdir ve SY42'ye göre daha küçük örnek hacmi ile çalıştıklarından daha pratiktirler. Rasgele seçilen ve en ince çaplı toplam iki ağaç seçimi ile SY28 ve rastgele bir ağaç seçimi ile oluşturulan SY07 kullanımı en pratik ve başarılı seçim yöntemleri olarak belirlenmişlerdir.

4.4.2.2. Artış faktörü için “İS_{as}–ÇB” optimizasyonu

Seçim yöntemleri için kullanılan İS_{as} ile ÇB toplam başarı puanlarının normalize edilmiş değerlerinin dağılımları grafik Şekil 4.20’de düzenlenmiştir. Pareto optimal küme 1. seviye grafikte kesikli kırmızı çizgi ile, 2. seviye ise noktalı turuncu renkteki çizgi ile belirtilmektedir.



Şekil 4.20. “ÇB–İS_{as}” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe

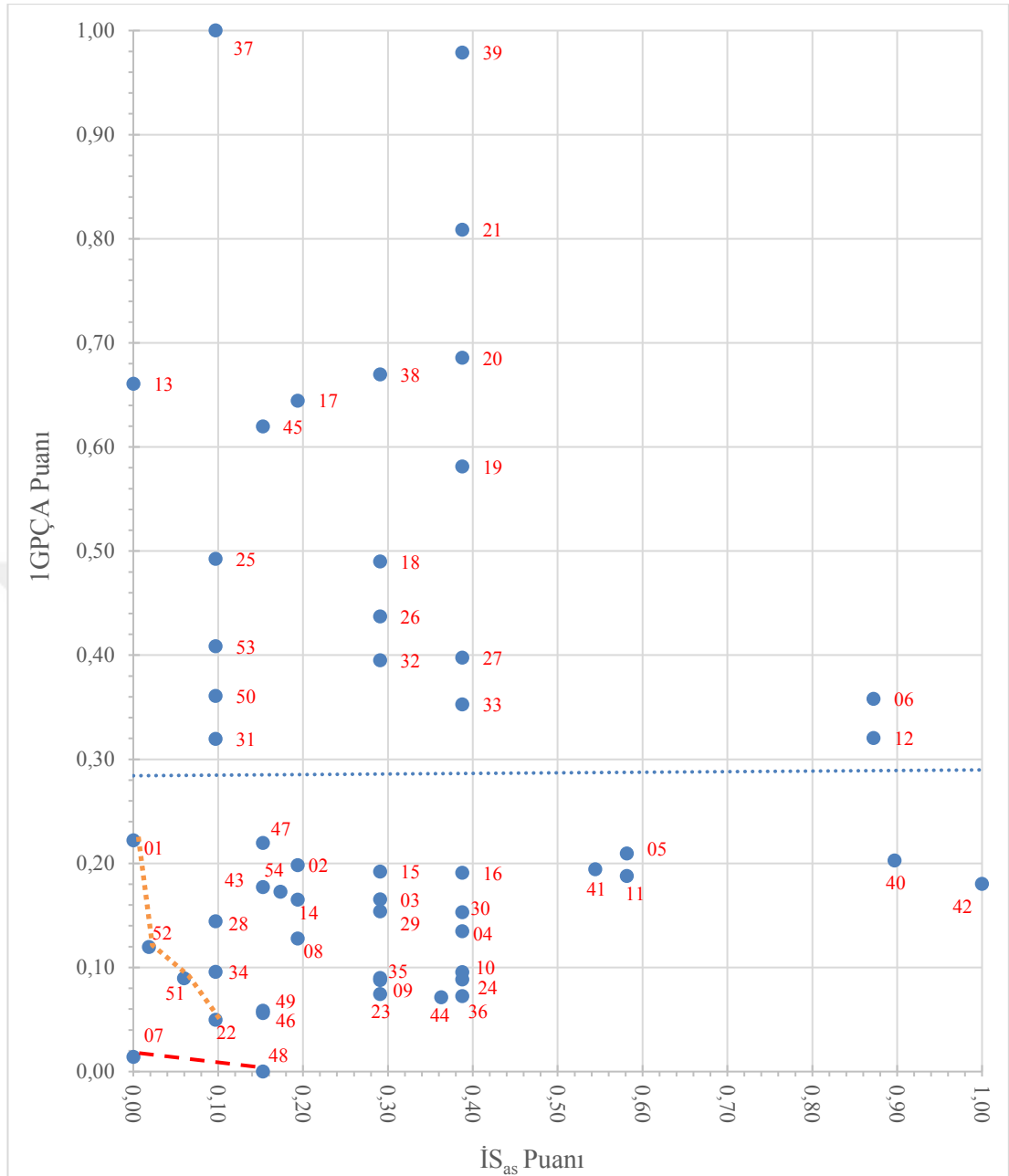
Bu grafikte de mavi noktali doğrusal gösterimi tercih edilen “eğilim çizgisi”, örnek hacminin büyüklüğü ile seçim yöntemlerinin başarılarının ilişkisini açıkça ifade etmektedir.

Örnek hacmi artarak büyürken 1. Seviye Pareto optimal çözüm kümesini oluşturan seçim yöntemleri de 07, 51, 14, 15, 16, şeklinde sıralanır. Pareto optimal 2. Seviye ise 13, 34, 43, 8, 9 ve 27 numaralı seçim yöntemlerinden oluşur.

En yüksek başarı puanlı seçilen SY16, her örnek alan için wiese orta ağacı ve en yakın mesafedeki dört adet ağaç ile toplam 235 ağaçtan oluşan örnek hacmiyle çalışmıştır. Yöntemin pratikte kullanımının zaman alıcı olduğu söylenebilir. Başarılı olan SY14 ve SY15 yine Weise orta ağacı ve en yakın mesafesindeki ağaçların ölçüt edildiği yöntemlerdir. Özellikle SY 14, beraberinde SY15, SY08 ve SY09, SY16'ya göre daha küçük örnek hacmi ile çalıştıklarından daha pratik ve düşük maliyetlidir. Örnek alandaki ağaçların göğüs çaplarına göre ortancası bir veya iki adet ağaç seçimi ile SY51 de iyi bir alternatif olup, rastgele bir ağaç seçimi ile oluşturulan SY07'nin kullanımı en pratik seçim yöntemi olduğu söylenebilir.

4.4.2.3. Çap artımı faktörü için “İS_{as}–1GPÇA” optimizasyonu

Seçim yöntemleri için kullanılan İS_{as} ile 1GPÇA toplam başarı puanlarının normalize edilmiş değerlerinin dağılımları grafik Şekil 4.21'de görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Pareto optimal küme 1. seviye grafikte kesikli kırmızı çizgi ile, 2. seviye ise noktalı turuncu renkteki çizgi ile belirtilmektedir.



Şekil 4.21. “1GPÇA–İS_{as}” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe

Diğer üç grafikten farklı olarak bu grafikte de mavi noktalı “eğilim çizgisi”, örnek hacminin büyüklüğü ile seçim yöntemlerinin başarılarının pozitif orantılı ilişkisine dair bir bilgi yansıtmamaktadır. Aksine, beklenmeyen biçimde bir ilişki olmadığını ifade eden eğimsiz bir doğru şeklindedir.

Örnek hacmi artarak büyürken 1. Seviye Pareto optimal çözüm kümesini oluşturan seçim yöntemleri de 07 ve 48 şeklinde sıralanır. Pareto optimal 2. Seviye ise 01, 52, 51 ve 22 numaralı seçim yöntemlerinden oluşur.

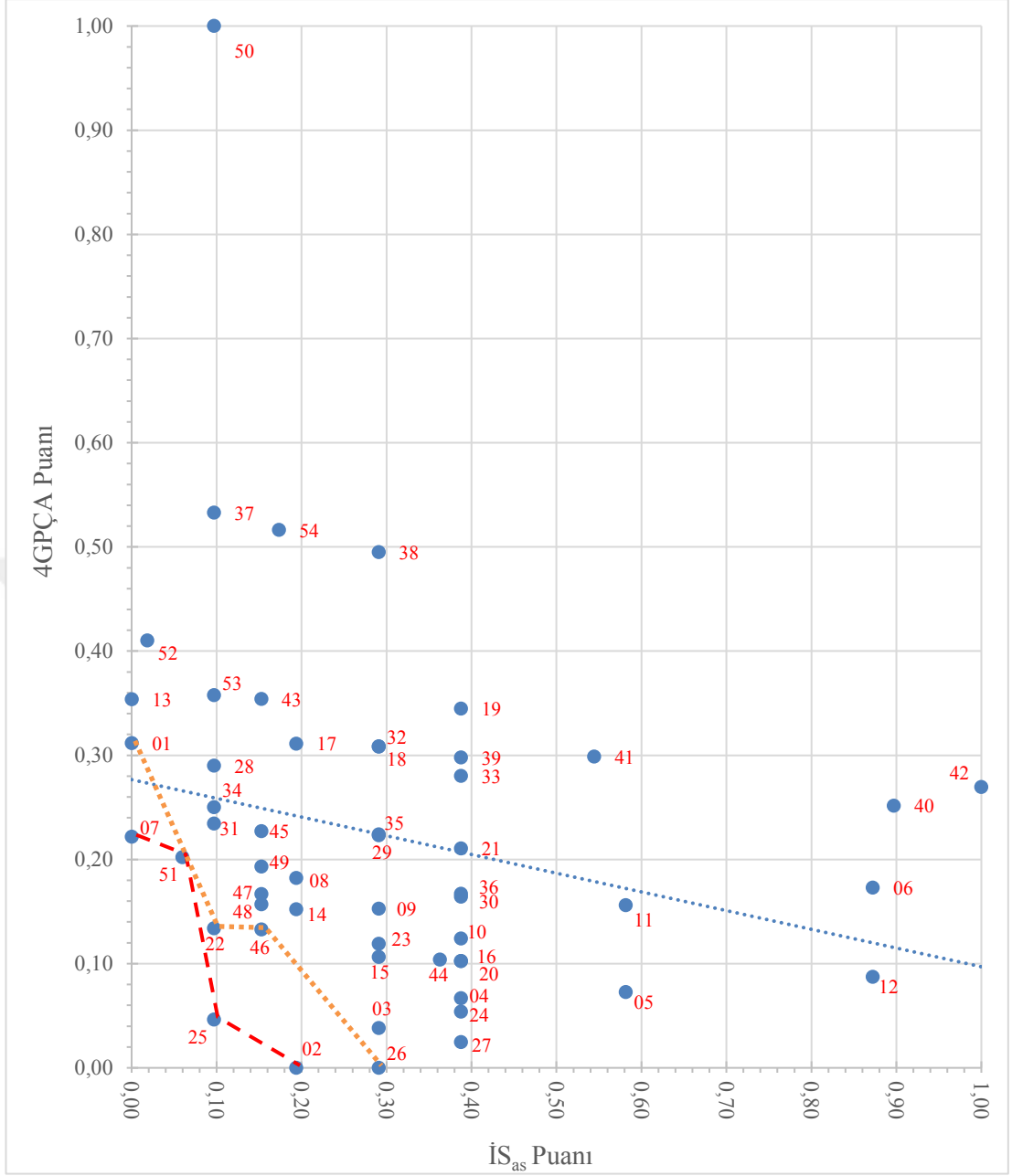
En yüksek başarı puanına sahip SY48, her örnek alan için çap sınıflarındaki merkeze en yakın birer adet ağaç ile toplam 121 ağaçtan oluşan örnek hacmiyle çalışmıştır. Ağaç sayısının az olması sebebiyle yöntemin pratik olduğu söylenebilir. Uygulama aşamasında çap sınıfları için merkeze en yakın ağaçların tespitinin kolay olmayacağı düşünülse de, deneyim kazanıldıkça seçim sürecinin oldukça kısılacağı öngörülebilir.

Başarılı olan SY46, SY49 ve SY44 ağaç seçimi ile ilgili olarak çap sınıflarının ölçüt edildiği yöntemlerdir. Yine başarılı olan SY22 de merkeze en yakın ve en ince çaplı iki ağaç ile toplam 121 ağaçtan oluşan örnek hacmiyle çalışmış bir kurgudur.

En pratik dört yöntem 1. Seviyede SY48 ve SY07, 2. seviyede ise SY22 ve SY51 olarak ifade edilebilir.

4.4.2.4. Çap artımı faktörü için “İS_{as}–4GPÇA” optimizasyonu

Seçim yöntemleri için kullanılan İS_{as} ile 4GPÇA toplam başarı puanlarının normalize edilmiş değerlerinin dağılımları grafik Şekil 4.22’de görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Pareto optimal küme 1. seviye grafikte kesikli kırmızı çizgi ile, 2. seviye ise noktalı turuncu renkteki çizgi ile belirtilmektedir.



Şekil 4.22. “4GPÇA–İS_{as}” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe

Büyük örnek hacmi ile çalışan seçim yönteminin örnek ağaç sayısı arttıkça yükselen başarı değerini grafikteki mavi noktalı “eğilim çizgisi” ile takip etmek mümkündür.

Örnek hacmi artarak büyürken 1. Seviye Pareto optimal çözüm kümesini oluşturan seçim yöntemleri de 07, 51, 25 ve 02 şeklinde sıralanır. Pareto optimal 2. seviye ise 01, 22, 46 ve 26 numaralı seçim yöntemlerinden oluşur.

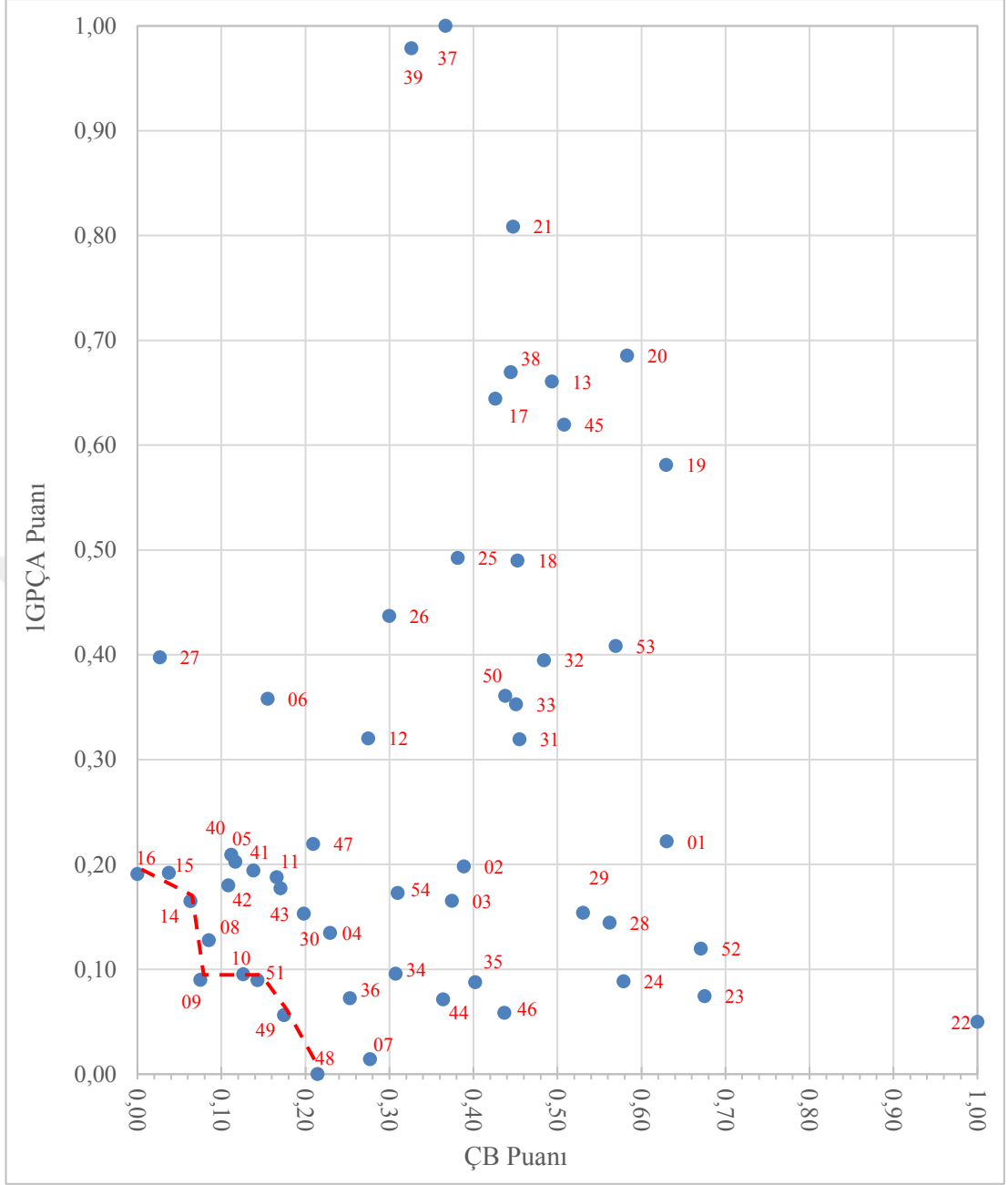
En yüksek başarı puanlı SY02, her örnek alan için merkeze en yakın üç adet ağaç ile toplam 141 ağaçtan oluşan örnek hacmiyle çalışmıştır. Bu yöntem ilgili yönetmelikte

yer alan ve uygulamada da kullanılan yöntemdir. Yöntemin, örnek alandan çekilecek ağaç sayısının fazla olmaması sebebiyle pratik olduğu söylenebilir. Aynı puana sahip fakat daha fazla ağaç sayısı ile çalışan bir diğer en başarılı yöntem 2. seviyedeki 26 numaralı yöntemdir. Bu grupta 25, 26 ve 27 numaralı seçim yöntemleri, merkeze en yakın ve en kalın çaplı ağaçların kombinasyonları ile kurgulanmış ve genel olarak başarılı gözlenen yöntemlerdir.

En başarılı ve pratik toplam altı yöntem 1. seviyede SY07, SY51, SY25 ve SY02 yanında 2. seviyede de SY22 ve SY26 olarak ifade edilebilir.

4.4.2.5. “ÇB–1GPÇA” optimizasyonu

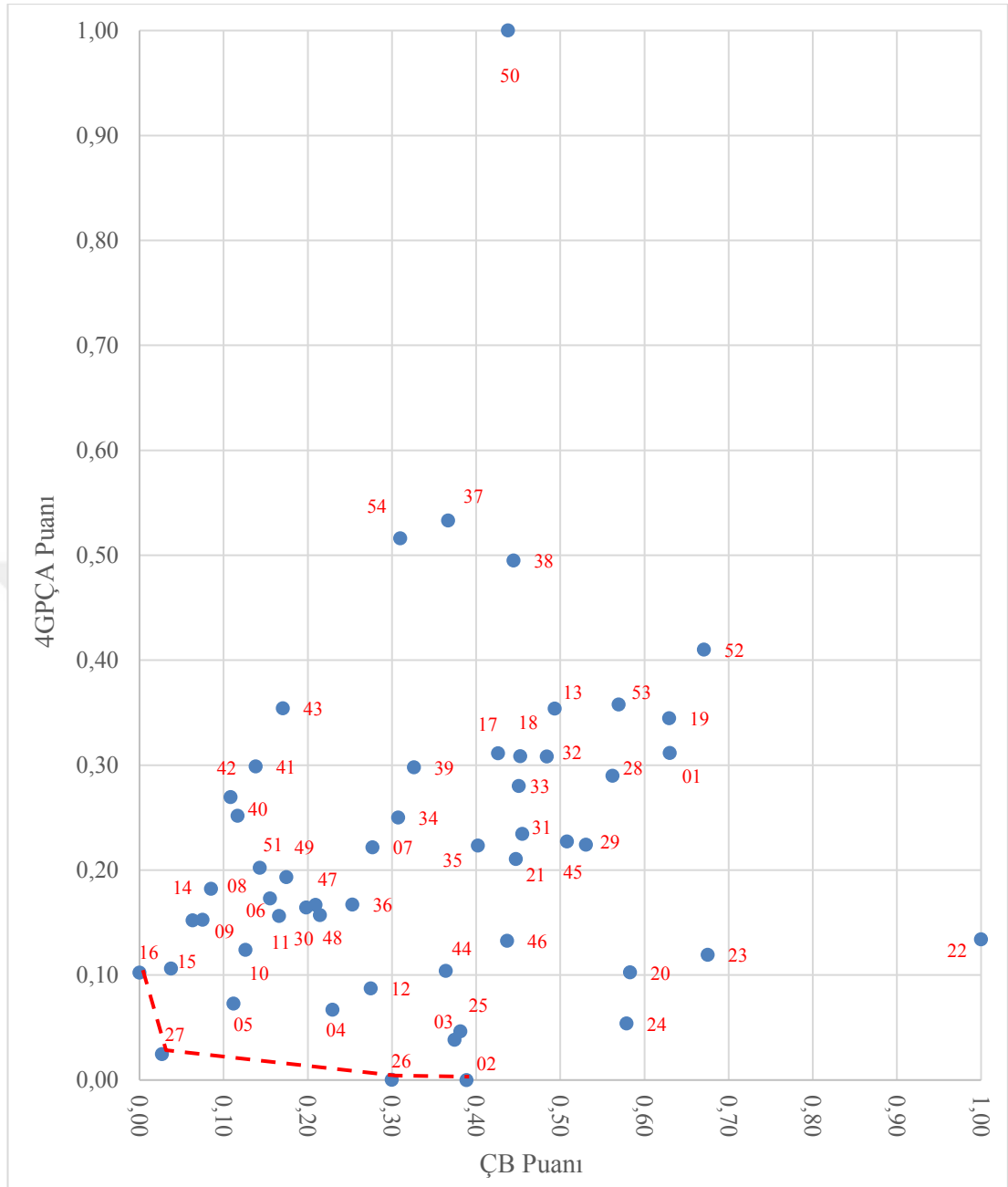
Seçim yöntemleri için kullanılan ÇB ile 1GPÇA toplam başarı puanlarının normalize edilmiş değerlerinin dağılımları grafik Şekil 4.23’te görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Pareto optimal küme 1. seviye grafikte kesikli kırmızı çizgi ile belirtilmektedir.



Şekil 4.23. “1GPÇA–ÇB” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe

4.4.2.6. “ÇB–4GPÇA” optimizasyonu

Seçim yöntemleri için kullanılan ÇB ile 4GPÇA toplam başarı puanlarının normalize edilmiş değerlerinin dağılımları grafik Şekil 4.24’te görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Pareto optimal küme 1. seviye grafikte kesikli kırmızı çizgi ile belirtilmektedir.



Şekil 4.24. “4GPÇA–ÇB” optimizasyonu ve Pareto optimal cephe

İş süresini ağaç sayısı üzerinden değerlendiren amaç fonksiyonu olmaksızın, ÇB ile 4GPÇA puanlarını minimize eden optimizasyon işlemine ait bulgular grafikte görülmektedir.

4.4.2.7. “İS_{as}–ÇB–1GPÇA” optimizasyonu

Seçim yöntemleri için kullanılan İS_{as}–ÇB–1GPÇA toplam başarı puanlarının normalize edilmiş değerleri tümleşik biçimde Çizelge 4.16’da görüldüğü gibi

düzenlenmiştir. Pareto optimal küme 1. Seviye, en küçüklenmek istenen bu üç amaçlı optimizasyon işleminde en iyi çözüm alanı orijine yaklaşan bir kürenin yüzeyi olarak düşünülebilir. Bu nedenle çizelgede normalleştirilmiş başarı puanları ile beraber amaç fonksiyonu (x,y,z) uzayında seçim yöntemlerine ait nokta koordinatının, koordinat merkezine (orijin) olan uzaklıkları “mesafe” sütununda ek bilgi olarak verilmiştir. Seçim yöntemi sıralaması bu mesafe değerinin en küçüğünden en büyüğüne doğru yapılmıştır.

Çizelge 4.16. “İSas–ÇB–1GPÇA” optimizasyonu için Pareto optimal çözüm kümesi

SY No:	İS _{as}	ÇB	1GPÇA	mesafe
SY51	0.0597938	0.1430284	0.0897112	0.1791103
SY49	0.1525773	0.1743458	0.0562213	0.2384054
SY08	0.1938144	0.0849257	0.1277371	0.2471703
SY14	0.1938144	0.0631036	0.1650193	0.2622546
SY48	0.1525773	0.2142206	0.0000000	0.2630025
SY07	0.0000000	0.2769636	0.0141650	0.2773256
SY09	0.2907217	0.0748099	0.0898768	0.3133583
SY15	0.2907217	0.0372506	0.1921312	0.3504584
SY16	0.3876289	0.0000000	0.1909582	0.4321124

Çizelgenin tamamı Pareto optimal çözüm kümesini vermektedir. Karar verici (plan yapıcı) ihtiyaçları doğrultusunda bu çözüm kümesi içerisinde uygulayacağı yönetime ilişkin seçimini yapabilir.

4.4.2.8. “İS_{as}–ÇB–4GPÇA” optimizasyonu

Seçim yöntemleri için kullanılan İS_{as}–ÇB–4GPÇA toplam başarı puanlarının normalize edilmiş değerleri tümleşik biçimde Çizelge 4.17’de görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Pareto optimal kümeyi, yine en küçüklenmek istenen bu üç amaçlı optimizasyon işleminde orijine yaklaşan en iyi çözüm alanı olarak bir küresel yüzey gibi düşünmek mümkündür. Bu nedenle çizelgede normalleştirilmiş başarı puanları ile beraber amaç fonksiyonu (x,y,z) uzayında seçim yöntemlerinin orijine olan uzaklıkları “mesafe” sütununda ek bilgi olarak verilmiş, seçim yöntemi sıralaması bu mesafeye göre küçükten büyüğe yapılmıştır.

Çizelge 4.17. “İSas–ÇB–4GPÇA” optimizasyonu için Pareto optimal çözüm kümesi

SY No:	İS _{as}	ÇB	4GPÇA	mesafe
SY14	0.1938144	0.0631036	0.1521346	0.2543443
SY51	0.0597938	0.1430284	0.2022362	0.2548174
SY49	0.1525773	0.1743458	0.1932573	0.3017029
SY48	0.1525773	0.2142206	0.1571166	0.3063592
SY47	0.1525773	0.2092624	0.1668042	0.3080491
SY15	0.2907217	0.0372506	0.1063571	0.3117989
SY07	0.0000000	0.2769636	0.2218459	0.3548583
SY27	0.3876289	0.0264567	0.0247771	0.3893199
SY25	0.0969072	0.3812537	0.0463198	0.3960946
SY16	0.3876289	0.0000000	0.1023835	0.4009221
SY26	0.2907217	0.2995759	0.0000833	0.4174503
SY02	0.1938144	0.3884050	0.0000000	0.4340765

4.4.3. Sonuçların değerlendirilmesi ve öneriler

Seçim yöntemleri test edilen her değişken için aynı başarıyı tekrar edememektedir. Bu durum uygulanabilir olmaları açısından seçim yöntemlerinin her değişken için tümleşik başarıları ile değerlendirilebilir olmalarını gerektirir. Hem en az maliyetle çalışan, en iyi artış faktörünü oluşturacak çap-boy denklemini veren, hem de en iyi periyodik çap artımı tahminini yapan tek bir seçim yöntemi çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Bu yüzden tümleşik en iyi yöntemler kümesini elde edebileceğimiz Pareto optimal yöntem ile çok amaçlı optimizasyon işlemleri yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda Pareto optimal küme;

- “İS_{as}–K_lK_s” optimizasyonu için
P* = {SY07, SY28, SY45, SY44, SY41, SY42}
- “İS_{as}–ÇB” optimizasyonu
P* = {SY07, SY51, SY14, SY15, SY16}
- “İS_{as}–1GPÇA” optimizasyonu
P* = {SY48, SY07} ya da P* (2. seviye) = {SY01, SY52, SY51, SY22}
- “İS_{as}–4GPÇA” optimizasyonu
P* = {SY07, SY25, SY51, SY02}
- “ÇB–1GPÇA” optimizasyonu
P* = {SY16, SY14, SY09, SY49, SY48}

- “ÇB–4GPÇA” optimizasyonu
 $P^* = \{SY16, SY27, SY26, SY02\}$
- “İS_{as}–ÇB–1GPÇA” optimizasyonu
 $P^* = \{SY51, SY49, SY08, SY14, SY48, SY07, SY09, SY15, SY16\}$
- “İS_{as}–ÇB–4GPÇA” optimizasyonu için
 $P^* = \{SY14, SY51, SY49, SY48, SY47, SY15, SY07, SY27, SY25, SY16, SY26, SY02\}$

şeklinde belirlenmiştir.

Yukarıdaki çözüm kümeleri incelendiğinde, yöntemler içerisinde

- Weise orta ağacı ve ona en yakın mesafedeki ağaçların oluşturduğu seçim yöntemleri olan SY14, SY15 ve SY16,
- Çap sınıflarına dağıtılmış farklı ölçütlerle seçilen ağaçlardan oluşan SY47, SY48 ve SY49,
- Rastgele seçilen bir, üç ve dört adet ağaç ile SY07, SY08 ve SY09 ve
- Merkeze en yakın üç ağaç ile oluşturulan SY02

başarılı olarak öne çıkan yöntemlerdir.

4.5. Karşılaştırmalar

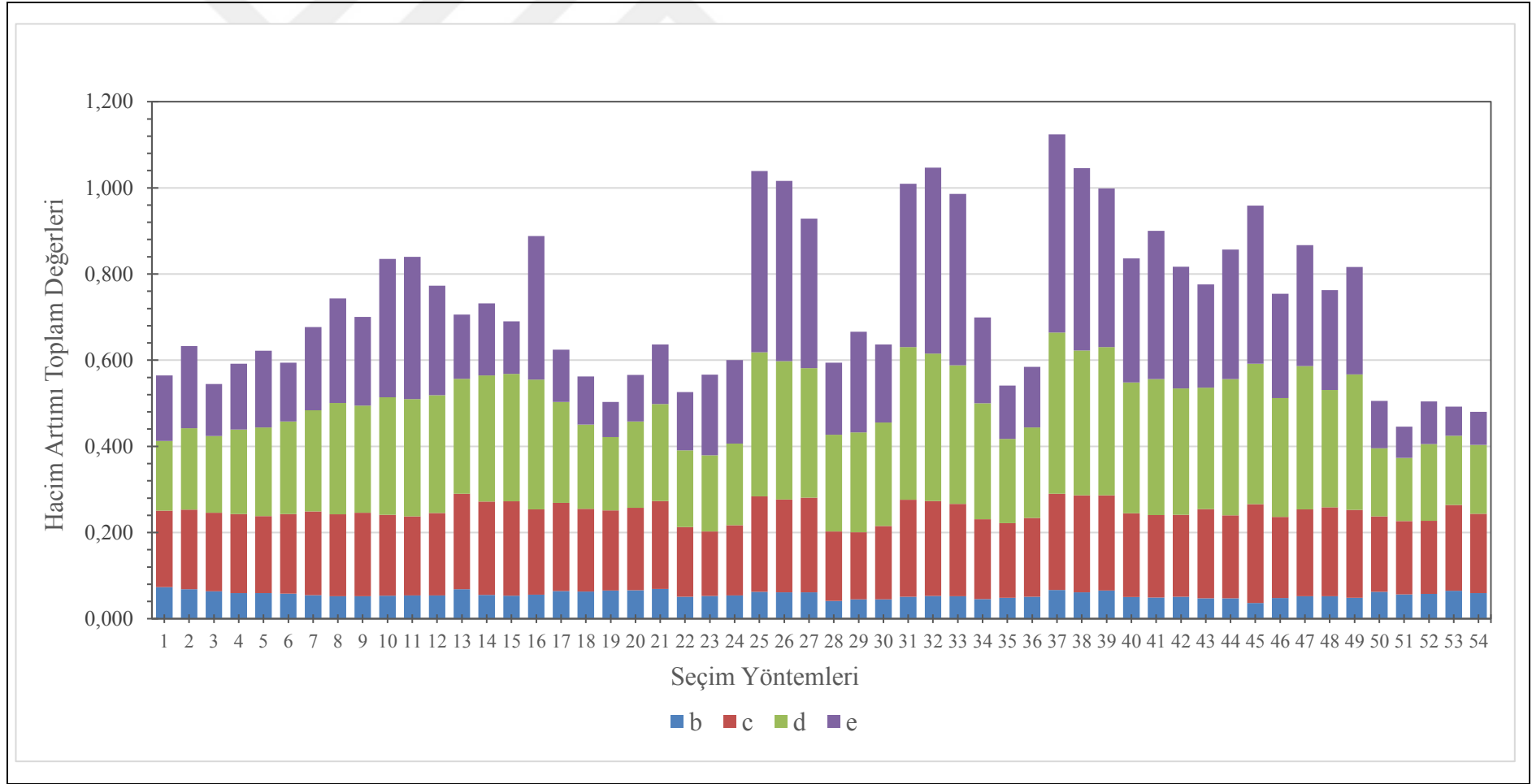
Örnek ağaç seçim yöntemleri ile elde edilen hacim artımı tahminlerine ait değerler kendi aralarında karşılaştırılmışlardır. Ayrıca tek girişli periyodik çap artımı için en iyi seçilen yöntem (SY48) ait değerler ile mevcut kullanılan hacim artımı tablosu değerleri ve dört girişli periyodik çap artımı için en iyi seçilen yöntem (SY02) değerlerinin karşılaştırmaları alt başlıklarda incelenmektedir.

4.5.1. Seçim yöntemlerine ait tek girişli hacim artımı tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Her seçim yönteminin ürettiği hacim artımı değerleri, 8 cm ile 67 cm göğüs çapı aralığı için tablo haline getirilmiştir. Bu tablo da gösterim kolaylığı amacıyla, seçim yöntemleri için b, c, d ve e çap sınıflarını kapsayan toplam hacim artımları sütun grafiği şeklinde görselleştirilmiş ve Şekil 4.25’te sunulmuştur. Aynı şekilde artış

faktörü, tek girişli ağaç hacim değerleri ve kabuk faktörü ile göğüs çapı artımı faktörlerine ilişkin değerlerin grafikleri de b, c, d ve e çap sınıflarını kapsayan toplam değerler biçiminde “EKLER” bölümünde Ek B.1, 2, 3, 4 ve 5 olarak sunulmuştur.





Şekil 4.25. Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıflarına göre üretilen toplam hacim artımı değerleri

Grafikte de görüldüğü gibi çap sınıflarına göre toplam hacim artımı değerleri farklılıklar göstermektedir.

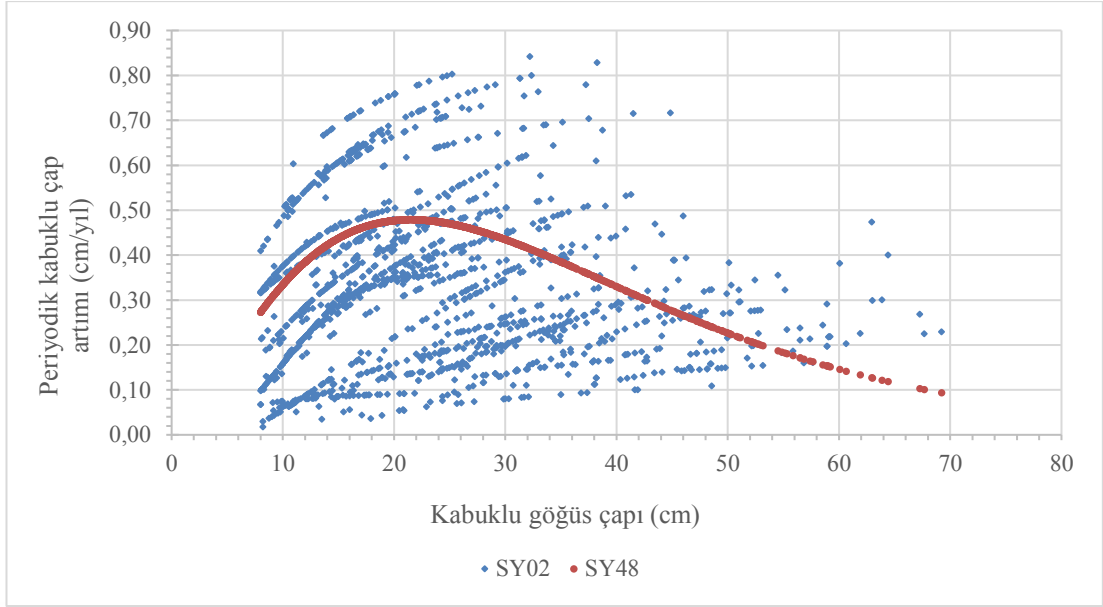
- Weise ağacı ve en yakın azalan çaplı ağaçlara ait yöntemler (SY18, SY19 ve kısmen SY20),
- Merkeze en yakın ve en ince çaplı ağaçlar için kurgulanan yöntemler (SY22, SY23 ve SY24),
- Rastgele seçilen ve en ince çaplı ağaçlar ile oluşturulan yöntemler (SY28, SY29 ve SY30) ve
- SY50, SY51, SY52, SY53 ve SY54'nin

düşük değerli artım tahminleri ürettiği gözlenmektedir.

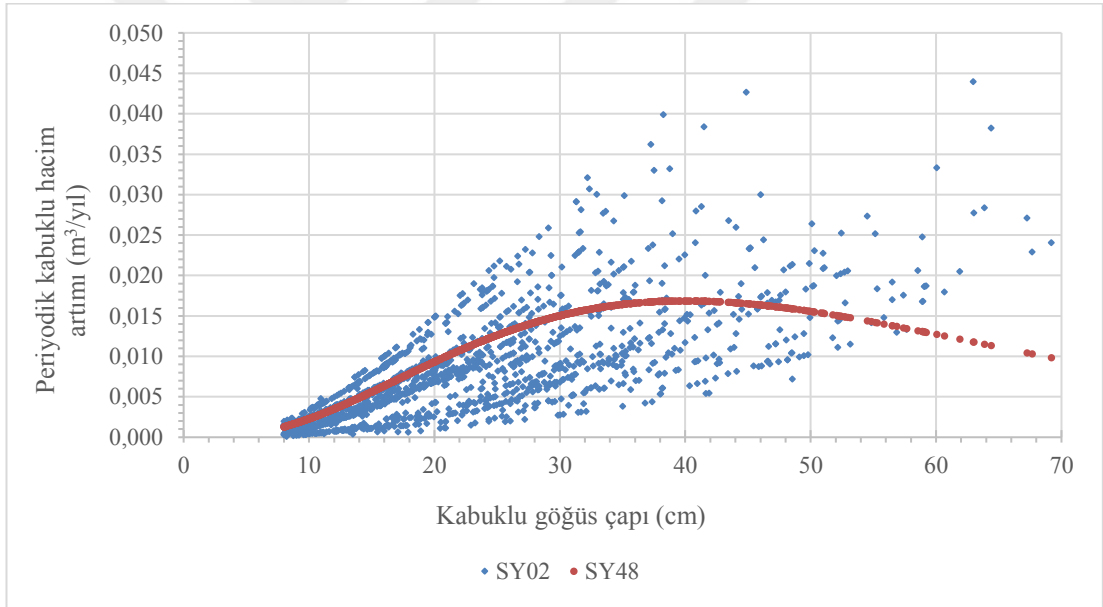
En ince çaplı ağaçların seçildiği yöntemler düşük tahminler yaparken, en kalın ağaçların örnek hacmine dâhil edildiği yöntemlerde (SY25, SY26, SY27, SY31, SY32, SY33, SY37, SY38, SY39 ve kısmen SY45) üretilen artım değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.5.2. Uygun seçim yöntemleri ile tek ve dört girişli hacim artımı tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Toplam 1408 adet örnek ağacın kabuklu göğüs çapları için; seçim yöntemleri içerisinde en başarılı seçilen, tek girişli SY48 ve dört girişli SY02 ile oluşturulmuş periyodik kabuklu çap artımları Şekil 4.26, hacim artımları ise Şekil 4.27'deki dağılım grafiğinde sunulmaktadır.



Şekil 4.26. Tek (SY48) ve dört girişli (SY02) en iyi seçim yöntemleri ile oluşturulmuş periyodik kabuklu çap artımları



Şekil 4.27. Tek (SY48) ve dört girişli (SY02) en iyi seçim yöntemleri ile oluşturulmuş periyodik kabuklu hacim artımları

Toplam yüzölçümü 2,6364 ha olarak hesaplanan 47 örnek alan içerisindeki 1408 ağaç için hacim artımı tahmini hesaplanmıştır. Yıllık hacim artımları tek girişli seçim yöntemi için 5,4752 m³/ha, dört girişli seçim yöntemi için 4,6364 m³/ha olarak tahmin edilmektedir. Çalışma alanı kapsamındaki ağaçlar için tek girişli yöntem dört girişliye göre yaklaşık %18,1 fazla hacim tahmin değeri üretmektedir.

En uygun seçilmesine rağmen dört girişli modelin (SY02) doğrusal formlu yapısı ile ilişkileri tam olarak açıklayamadığı düşünülmekte, giderek azalmayan çap ve devamıyla hacim artımı değerleri ürettiği gözlenmektedir. Periyodik çap artımını açıklayan çok değişkenli modellerin seçimi grafik kontroller kullanılarak özen ve dikkat yapılmalı, ayrıca bu model formları ve matematik ifadelerinin geliştirilmesi gerekliliği de ifade edilmelidir.

4.5.3. Hacim artımında uygun seçim yöntemi tahmininin amenajman planı değerleri ile karşılaştırılması

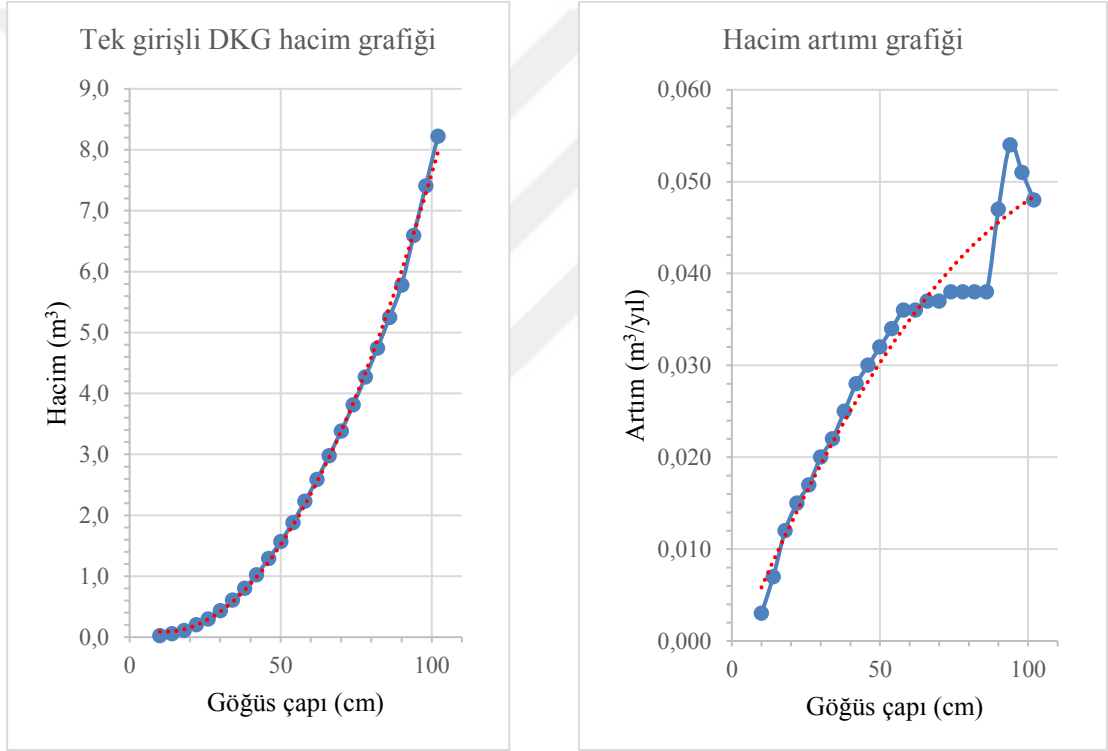
Plan ünitesinde kullanılan hacim ve hacim artımı değerleri Gaziemir Orman İşletme Şefliği amenajman planından alınarak çizelge ve grafik biçimine dönüştürülmüş, Çizelge 4.18 ve Şekil 4.28’de verilmiştir. Bu tablo tüm planlama ünitesinden sistematik alınan örnek alanlardan elde edilmiş veriler ile düzenlenmiş olduğundan, çalışma kapsamında oluşturulan yöntem çıktıları ile karşılaştırılması anlamlı olmayacaktır. Yine de kıyaslayabilmek adına en iyi tek girişli hacim artımı sonucunu veren 48 numaralı seçim yöntemi değerleri ile birlikte sunumu tercih edilmiştir.

Çizelge 4.18. Gaziemir Orman İşletme Şefliği kızılçam ağaç türü için hacim-artım tablosu ile SY48 ile elde edilen hacim-artım değerlerinin gösterimi

Çap basamakları (cm)	Çap basamakları ortası (cm)	Plan verisine göre		SY48’e göre	
		Hacim (m ³)	Artım (m ³ /yıl)	Hacim (m ³)	Artım (m ³ /yıl)
08 - 12	10	0.024	0.003	0.0271	0.0022
12 - 16	14	0.055	0.007	0.0608	0.0045
16 - 20	18	0.110	0.012	0.1120	0.0072
20 - 24	22	0.203	0.015	0.1835	0.0099
24 - 28	26	0.298	0.017	0.2777	0.0124
28 - 32	30	0.435	0.020	0.3969	0.0144
32 - 36	34	0.604	0.022	0.5434	0.0159
36 - 40	38	0.801	0.025	0.7194	0.0169
40 - 44	42	1.023	0.028	0.9270	0.0173
44 - 48	46	1.289	0.030	1.1681	0.0172
48 - 52	50	1.569	0.032	1.4447	0.0167
52 - 56	54	1.880	0.034	1.7588	0.0160
56 - 60	58	2.228	0.036	2.1123	0.0150
60 - 64	62	2.590	0.036	2.5069	0.0138
64 - 68	66	2.975	0.037	2.9444	0.0126
68 - 72	70	3.380	0.037		

Çizelge 4.18. Gaziemir Orman İşletme Şefliği kızılçam ağaç türü için hacim-artım tablosu ile SY48 ile elde edilen hacim-artım değerlerinin gösterimi (Devam)

ap basamakları (cm)	Çap basamakları ortası (cm)	Plan verisine göre		SY48'e göre	
		Hacim (m ³)	Artım (m ³ /yıl)	Hacim (m ³)	Artım (m ³ /yıl)
72 - 76	74	3.811	0.038		
76 - 80	78	4.267	0.038		
80 - 84	82	4.743	0.038		
84 - 88	86	5.246	0.038		
88 - 92	90	5.775	0.047		
92 - 96	94	6.590	0.054		
96 - 100	98	7.405	0.051		
100 - 104	102	8.220	0.048		



Şekil 4.28. Gaziemir Orman İşletme Şefliği kızılçam ağaç türü için kullanılan hacim ve hacim artımı tablosunun grafik sunumu

Tablolar son iki plan döneminde de kullanıldığından en az 24 yıl önce hazırlanmış olabileceği, grafik yöntemle oluşturuldukları, hacim artımı değerlerinin yaklaşık 80-100 cm çap aralığında hatalı bir yenileme işlemine uğradığı tahmin edilmektedir.

Görüldüğü üzere aynı çap basamakları ortası için hacim değerleri (plan tablosu ile SY48 için) oldukça yakınken, plan hacim artımı değerleri çalışma sonucu elde edilen değerlerden önemli miktarda yüksek seyretmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde işlevsel orman planlaması kavramının önemi giderek artarken, kavram kapsamında işlevsel envanter yöntemlerine ait ihtiyaç ve konu üzerine yapılacak çalışmaların gerekliliği de yoğun biçimde hissedilmektedir.

Sağlıklı ve akılcı bir biçimde işlevini yerine getirecek orman işletmelerinin bir plan çerçevesinde hareket etmesinin önemi ve planlamanın temeli kabul edilebilecek ağaç hacim ve hacim artımı değerlerinin de doğru ve güvenilir olmasının gerekliliği oldukça açıktır.

İlgili yönetmelik hacim artım tahmini için kullanılacak örnekleme yöntemini, örnek alan içerisinden merkeze en yakın mesafedeki üç örnek ağaç seçimi, kullanılacak hesaplama yöntemini de Meyer'in enterpolasyon yöntemi olarak düzenlemektedir.

Meyer'in enterpolasyon yöntemi ile meşcere hacim artımı tahmini, artış faktörü ve yıllık kabuklu çap artımı faktörünün çarpımı alınarak yapılmaktadır.

- İlk çarpan olan artış faktörü tek girişli dikili kabuklu hacim denkleminde elde edilmektedir. Tek girişli bu hacim tablosu da ilgili ağaç türü için, planlama ünitesinde toplanan veriler ile hazırlanan çap-boy eğrisi denkleminin çift girişli dikili kabuklu hacim denklemlerine entegrasyonu ile oluşturulur. Dolayısı ile elde edilecek ağaç boyu-kabuklu göğüs çapı modeli birinci faktörü oluşturacaktır. Bu modeli oluşturacak verilerin toplanması örnek ağaçlarda yapılacak kabuklu göğüs çapı ve ağaç boyu ölçümleri ile gerçekleşir.
- İkinci çarpan ise göğüs çapının bir fonksiyonu olarak modellenen kabuklu göğüs çapı artımı denklemdir. Denklemin oluşturulması toplanan verilerin regresyon analizi ile oluşturulan ve test edilen modellerden en uygun olanın seçilmesi ile gerçekleştirilir. Bu amaçla seçilen örnek ağaçlarda kabuklu göğüs çapı, çift kabuk kalınlığı ve son 10 yıllık halka uzunlukları ölçülerek veri elde edilir.

Formüldeki kabuk faktörü ise gizli bir çarpan olarak ifade edilebilir. Kabuklu çapın kabuksuz çapa oranı olan bu faktör de, kabuklu göğüs çapı ve çift kabuk kalınlığı ölçüm verileri ile modellenir. Çap artımı modeli için gerekli ölçümler kabuk faktörü için gereken ölçümleri de kapsar. Çalışmada da aynı seçim yöntemleriyle elde edilen verilerle modellenmişlerdir. Kabuksuz yıllık çap artımı ve periyot ortası kabuksuz göğüs çapı değişkenleri regresyon analizine sokulmadan önce bu kabuk faktörü modeli ile kabuklu formlarına alınmışlardır.

Çalışma kapsamında yukarıda bahsedilen faktörlerin daha başarılı değerler üretmeleri amacıyla, örnek alanlardaki hangi örnek ağaçları tercih etmemiz gerektiği araştırılmış, “Verileri örnek alanlardaki hangi ölçütlere sahip ağaç veya ağaçlardan elde edersek pratik şekilde daha doğru ve daha güvenli bir sonuca ulaşırız?” sorusuna yanıt aranmıştır.

Bu amaçla, çalışmada kullanılacak değişkenler için varyasyonları temsil yeteneğine sahip 47 adet örnek alandaki 1412 adet ağaç üzerinde ölçü işlemleri yapılmıştır. Toplam 54 farklı seçim yöntemi ölçütü kurgulanmış ve örnek alanlardan çekilen örnek ağaçlar ile 54 farklı örnek hacmi oluşturulmuştur. Hacim artımı faktörlerini modellemek için toplam 48 istatistik model 54 adet örnek hacmi ile test edilmiştir. En iyi modellerin belirlenmesi için R programlama dili ile hazırlanan kodlarla 2592 regresyon analizi yapılmış, oluşturulan başarı ölçüt setlerinde ve bağıl ranking yöntemi ile 1 ile 100 puan aralığında değerlendirilmiştir. En iyi modeller bu kez seçim yöntemleri olarak, örnek hacmi haricindeki diğer ağaçlara ait veriler ile test edilmiştir. Yine oluşturulan başarı ölçüt seti ve bağıl ranking yöntemi ile her bir hacim artımı faktörü açısından değerlendirilmiştir.

İlk aşamada toplam başarı puan sıralamalarıyla değerlendirilen yöntemler, ikinci aşamada, faktörlerinin tümleşik değerlendirebilmeleri Pareto optimal yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Seçim yöntemlerine ilişkin sonuçlar, kullanılan başarı ölçüt setleri ve puanlama biçimi doğrultusunda aşağıdaki gibidir.

- Ağaç boyu-kabuklu göğüs çapı denklemi için;

İlk aşamada en yüksek başarı puanına sahip ilk beş yöntem en iyiden itibaren SY16, SY27, SY15, SY14 ve SY09 olarak sıralanmaktadır. İkinci aşamada “İS_{as}-ÇB” optimizasyonu ile elde edilen Pareto optimal kümesinde en yüksek başarı puanına sahip olan SY16’dır. SY16, Weise orta ağacı ve ona en yakın dört adet ağaç ölçütüyle çalışmaktadır. Bu yöntemi kullanılan örnek ağaç sayısının azalış sırası ile SY15, SY14, SY51 ve SY07 takip etmektedir. 15 ve 14 numaralı yöntemler yine Weise orta ağacı ile en yakın üç ve iki ağaç ile çalışmaktadır ve daha pratiktirler. SY51 örnek alandaki ortalama ağaç veya ağaçlar ile, SY07 ise rastgele seçilmiş bir adet ağaç ile çalışmaktadır.

- Kabuk faktörü için;

İlk aşamada en yüksek başarı puanına sahip ilk beş yöntem en iyiden itibaren SY42, SY41, SY44, SY45 ve SY39 olarak sıralanmaktadır. İkinci aşamada “İS_{as}-K₁K_s” optimizasyonu ile elde edilen Pareto optimal kümesinde en yüksek başarı puanlı olarak SY42 seçilmiştir. SY42, 4 cm çap basamaklarından rastgele seçilmiş ikişer adet ağaçla çalışan, pratik kabul edilemeyecek bir yöntemdir. Bu yöntemi kullanılan örnek ağaç sayısının azalış sırası ile SY41, SY44, SY45, SY28 ve SY07 takip etmektedir.

- Tek girişli periyodik kabuklu göğüs çapı artımı denklemi için;

İlk aşamada en yüksek başarı puanına sahip ilk beş yöntem en iyiden itibaren SY48, SY07, SY22, SY49 ve SY46 olarak sıralanmaktadır. İkinci aşamada “İS_{as}-1GPÇA” optimizasyonu ile elde edilen Pareto optimal küme içinde en yüksek başarı puanına sahip olan SY48’dir. SY48 mevcut çap sınıflarındaki örnek alan merkezine en yakın konumlu ağaçlar ölçütüyle çalışmaktadır. Bu çalışma kapsamında 47 örnek alandan toplam 121 ağaç çekilerek çalışmış yöntemin örnek ağaç sayısı bakımından oldukça uygun, arazide aplikasyonunun pratikle gelişip hızlanacağı varsayımı ile de yeterli düzeyde etkin olacağı ifade edilebilir. Bu yöntemi SY07 takip etmektedir. SY07 örnek alan içerisinden rastgele seçilmiş bir adet ağaç ile çalışmaktadır.

- Dört girişli periyodik kabuklu göğüs çapı artımı denklemi için;

İlk aşamada en yüksek başarı puanına sahip ilk beş yöntem en iyiden itibaren SY02, SY26, SY27, SY03 ve SY25 olarak sıralanmaktadır. İkinci aşamada “İS_{as}-4GPÇA” optimizasyonu ile elde edilen Pareto optimal küme içinde en yüksek başarı puanına sahip olan SY02’dir. SY02 örnek alan merkezine en yakın üç adet ağaç ölçütüyle çalışmaktadır. Bu yöntem, aynı zamanda uygulamada tek girişli kabuklu çap artımı için kullanılan yöntemdir. Kullanılan örnek ağaç sayısının azalış sırası ile SY25, SY51 ve SY07 de başarılı yöntemlerdir.

- Seçim yöntemlerinin genel değerlendirilmesi

Örnek alan içerisinde rastgele seçilen bir ağaç ile çalışan SY07, değerlendirilen dört ayrı faktör kapsamında da başarı puanı yüksek, pratik biçimde kullanılabilecek bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Örnek ağaçların çap sınıflarına dağıtıldığı yöntemler (SY40, SY41, SY42, SY43, SY44, SY45, SY46, SY47, SY48 ve SY49) ise genel olarak toplam başarı puanları yüksek olan, uygun ve çoğunlukla pratik sayılabilecek yöntemlerdir.

Seçim yöntemi ölçütleri kapsamında, örnek alandaki en kalın çaplı ağaçların örnek hacmine dâhil edildikleri yöntemlerin yüksek hacim değerleri, en ince çaplı ağaçların örnek hacmine dahil edildikleri yöntemlerin de düşük hacim artımı değerleri ürettikleri belirlenmiştir. Bu ölçütlerle çalışan ilgili seçim yöntemlerinden kaçınmak gerektiği söylenebilir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular ve sonuçlar doğrultusunda, plan yapıcılar (karar vericiler) için uygulamaya ilişkin öneriler yanında, benzer çalışmalar yanında model seçim işlemlerini kapsayan araştırma çalışmalarına yönelik öneriler takip eden paragraflarda sıralanmıştır.

Seçim yöntemleri ile oluşturulmuş örneklem grupları için en iyi modelin seçimi sürecinde değerlendiren herhangi bir model, doğal kanuniyete uygun hareket etmese de en uygun olarak seçilebilmektedir. Örneğin bir büyüme modelinde beklenen s eğrisi

ise de ikinci dereceden bir polinom ya da üssel bir fonksiyon mevcut örnek hacmi için o çap aralığında en uygun model olarak seçilebilir. En fazla 60 cm göğüs çapı ile çalışması gereken bu hayali model ekstrapolasyon ile 110 cm göğüs çapı için bir hacim değeri üretmek zorunda bırakılırsa doğada mümkün olmayacak bir hacim değeri ile karşılaşmak durumunda kalınabilir.

Yine aynı biçimde periyodik çap artımı için belirlenen bir model, üretildiği örnek hacmi ile uygun hareket etse de ileri çap basamaklarında eksi değerlilik ya da yeterince azalmayan artım değerleri üretebilmektedir.

Bu en uygun seçilen modellerin yanlış ekstrapolasyon uygulamaları ile ayrı ayrı durumlarda ürettikleri tahmin değerleri hatalı olabileceği gibi, Meyer'in interpolasyon yöntemindeki çarpan faktörler olarak birbirleri ile ilişkili oldukları durumlarda, doğal yasalara uygun olmayan hatalı değer üretme olasılıkları daha da artmaktadır.

Bu çalışmada da, bazı durumlarda, en uygun seçilmelerine karşın birbirleriyle etkileşime giren çarpanların istenmeyecek hacim artımı değerleri ürettikleri gözlenmektedir. Hacim artımının tayini için kullanılacak bu faktörlerin özellikleri ile birbirlerini dengeleyebilme kapasiteleri plan yapıcı ya da araştırmacı tarafından kontrol edilmeli, yapılacak çalışmalarda hataya yönlendirecek bu olasılık üzerinde özenle durulmalıdır.

Uygulamada tek ağaç hacim ve hacim artımına yönelik çalışmalar, orman işletmelerinden gelen bir düzenleme ve yenileme ihtiyacının belirtildiği durumlarda yapılmaktadır. Bu sebeple tek ağaç hacim veya hacim artımına ait tabloların yenilenmelerinin gerekli olduğu durumlarda, planlama ünitesindeki ormanın işlevleri dikkate alınarak plan yapıcıya, çalışma sonucu olarak ortaya konulan ve başarılı kabul edilen yöntemler arasında bir seçim yapmaları önerilebilir.

Bu çalışmada plan yapıcının pratik biçimde karar verebilmesi açısından basit bir algoritma oluşturulmuştur. Böylece seçim yöntemlerine ilişkin hazırlanmış çizelge ve grafikler üzerinde hedeflenen amaçların başarı puanları da dikkate alınarak, belirlenen ihtiyacı karşılayabilecek doğrultuda bir tercih kullanımı mümkün olacaktır. Plan yapıcı;

- Tek ağaç hacim artımı tablosu üretmeyecekse ve sadece tek girişli dikili kabuklu gövde hacim modeli oluşturmak istiyorsa;
SY16, SY15, SY14, SY07
- Tek girişli DKGH denklemini tekrar üretmeyecek, mevcut olanı kullanarak tek girişli periyodik çap artımı modeli ile hacim artımı tablosu oluşturmak istiyorsa;
SY48, SY07, SY01
- Tek girişli DKGH denklemini tekrar üretmeyecek, mevcut olanı kullanarak dört girişli periyodik çap artımı modeli ile hacim artımı tablosu oluşturmak istiyorsa;
SY07, SY02, SY46
- Tek girişli DKGH denklemini yenilemek ve tek girişli periyodik çap artımı modeli ile hacim artımı tablosu üretmek istiyorsa;
SY49, SY08, SY14, SY48, SY07, SY09, SY15, SY16
- Tek girişli DKGH denklemini yenilemek ve dört girişli periyodik çap artımı modeli ile hacim artımı tablosu üretmek istiyorsa;
SY14, SY49, SY48, SY47, SY15, SY07, SY16, SY02

biçiminde açıklanan yöntemler içerisinde, gereksinim ve kısıtlarını değerlendirerek seçimini gerçekleştirebilir. Algoritmadaki seçim yöntemlerinin örnek ağaç seçim ölçütlerine ilişkin hatırlatma aşağıda verilmektedir.

- SY01 ve SY02, merkeze en yakın mesafedeki 1 ve 3 adet ağaç ile
- SY07, SY08 ve SY09, rastgele seçilen 1, 3 ve 4 adet ağaç ile
- SY14, SY15 ve SY16, Weise ağacı ve en yakın mesafesindeki 2, 3 ve 4 adet ağaç ile
- SY46, SY47, SY48 ve SY49, örnek alandaki her çap sınıfı için birer adet olmak üzere en ince çaplı, Weise orta, merkeze en yakın ve Weise orta ağacına en yakın ağaçların seçimi ile

çalışan yöntemlerdir.

Yukarıda yer alan çözüm grupları Pareto optimal çözüm kümelerinden farklı olarak, çok düşük ve çok yüksek hacim artım tahmini yaptığı belirlenen seçim yöntemlerinin elendiği kümelerdir.

Uygulamada ağaç türlerine ait çap artımlarının sadece göğüs çapının bir fonksiyonu biçiminde formüle edilmesi yerine; bonitet, sıklık, meşcere yaşı, tepe kalitesi, sosyal konum, taç hacmi, yarışma endeksleri, topoğrafik yapı gibi diğer hacim artımı tahminine ilişkin parametrelerin de mümkün olduğunca kullanılmasının gerekliliği çok sayıda çalışmada uzun süredir önerilmektedir (Kalıpsız, 1968; Carus, 1995; Carus, 1997; Ercanlı vd., 2007; Carus ve Gülden, 2014; Çatal vd., 2014).

Tek girişli çap artımı modeli için anlamlı bir korelasyon katsayısı ile ilişki tanımlanamayan durum yanında, dört girişli modellerdeki değişkenlerin çap artımına ilişkin varyasyonu %64,54'e kadar açıklayabildiği belirlenmiştir. Plan yapıcı, meşcere yaşı ve bonitet endeksi değişkenlerine ilişkin verilere yaş ve bonitet sınıfları biçiminde sahiptir. Meşcere sıklık derecesi ya da göğüs yüzeyi gibi parametreler için gerekli veriler de örnek alanlarda yapılan göğüs çapı ölçümleri sonucunda hesaplanarak elde edilebilecek değerlerdir. Dolayısıyla plan yapıcı için arazi çalışmaları sürecinde bir iş yükü artışı olmadan, gerçeğe daha yakın sonuçlar üreten, daha güvenilir hacim artımı tahmini yapabilen modellerin geliştirilmesi mümkündür. Modellerin planlama sürecinde planla bütünleştirilmesinin her geçen gün güçlenen bilgisayar ve programlama teknolojisi ile kolaylıkla yapılabileceği düşünülmektedir.

Bu nedenlerden dolayı hacim artımına ilişkin tabloların yenilenmeleri aşamasında tek yerine, dört girişli çap artımı modellerinin kullanımları önerilmektedir.

Çalışmanın en kritik aşaması modellerin ve seçim yöntemlerinin değerlendirilmesi bölümüdür. Bu aşamada başarı puanlarının hesaplanmasında kullanılacak ölçütler ve puanlama yöntemi iki ana değerlendirme faktörünü oluşturur. Çalışma kapsamında, söz konusu bu işlemler her başarı ölçütünün eşit derece önemli olduğu varsayımı ile gerçekleştirilmiş, puanlama yöntemi için ise bağıl ranking ile değerlendirme tercih edilmiştir. Ancak farklı seçilmiş başarı ölçütleri ve bunların kombinasyonları ile beraber değişik puanlama yöntemleri denendiğinde, en başarılı seçilmiş model ve seçim yöntemleri için aynı sonuçlara tekrar ulaşılması mümkün olmayabilir.

Bu yüzden ormancılık biliminde yoğun olarak kullanılan modeller için farklı başarı ölçütlerinin birbirlerine oranla ne derece önemli olduğu, hangi başarı ölçütleri ve kombinasyonlarının araştırılacak hangi ilişkiler (modeller) için yeter ve gerek şartları

sağladığı, uygunlukları, hangi puanlama yönteminin daha başarılı, uygun ve önemli olduğu gibi soruların çözümüne ilişkin çok disiplinli çalışmalara gereksinim olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında meşcere hacim artımının hesaplanmasına ilişkin Meyer'in enterpolasyon formülünde yer alan çarpanlardan, artış faktörü, yıllık göğüs çapı artımı ve kabuk faktörlerinin kestirimleri amacıyla çok sayıda istatistik model denenmiş ve yarıştırmıştır. Yarışma aşamalarında başarı ölçütlerine göre değerlendirilen modellerden bir kısmı, en iyi puanı almasına karşın doğal kanuniyetlere uygun davranmadığından en iyi olarak seçilmemiştir. Başarılı kabul edilecek modellerin değerlendirilmeleri aşamasında güçlü bir değerlendirme algoritmasının eksikliği hissedilmektedir. Bu nedenlerle, ormancılık biliminde “doğal kanuniyet” şeklinde söylenegelen durumların da matematik form ve modellerle ifade edilmeleri gerekliliğine, kurgulanabilecek yeni ölçütlere ve bu konulara ilişkin yapılacak çalışmalara ihtiyaç olduğu söylenebilir.

Orman amenajman planlarının yapımı uygulamalarında, envanter çalışmalarında meşcere hacminin belirlenmesi yöntemleri ile hacim artımının tayinine yönelik yöntemler eş zamanlı olarak yürütülmektedir. Bu nedenle tek başına bir “artım yöntemi” belirlenmesinden ziyade kombine bir “orman envanter” yönteminin kararlaştırılması önemlidir (Kalıpsız, 1973). Hacim artımına yönelik örnek ağaç seçim ölçütlerinin geliştirilmesi hedeflenen bu tez çalışmasında da, bahsedilen “kombine envanter yöntemi” kapsamında, bir katkı konmaya çalışılmıştır.

Meşcere hacim artımı belirlenmesi için hangi yöntemin kullanılması gerektiği sorusu önemli değildir. Çünkü tüm yöntemler teorik olarak doğrudur. Önemli olan; meşcere hacim artımının tahminine yönelik kullanılan yöntem ile kararlaştırılan orman envanteri yönteminin uyumlu biçimde çalışıyor olması, çalışmaların da kurallarına uygun ve disiplinle yürütülmesidir. “Çözümün ön şartları da bilgi, plan ve organizasyon, kontrol ve sonuçların bilimsel analizidir” (Kalıpsız, 1973).

KAYNAKLAR

- Akalp, T. (1978). *Türkiye'deki Doğu Ladini (Picea orientalis Lk. Carr) Ormanlarında Hasılat Araştırmaları*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Akkemik, Ü. (2018). Pinus L. *Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıları* (pp. 118-127).
- Alemdağ, Ş. (1962). *Türkiye'deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi Hasılatı ve Amenajman Esasları*. Ankara, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Alemdağ, A. (1967). *Değişik Yönlere Ait Artım Kalemleriyle Yapılan Artım Hesaplarındaki Sıhhat Derecesi*. Ankara, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Alemdağ, A. (1969). *Meşcere Hacim Artımının Tayininde Kullanılan Artım Kalemi Metodlarından 4'ünün Arazi Sonuçlarının Mukayesesi*. Ankara, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Alpacar, K. (1981). *Kızılçamın (Pinus brutia Ten.) Fenolojisi ve Bazı Tohum Özelliklerinin Saptanması*. Ankara, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten Serisi.
- Anonim (2009). *Ormanlarımızda Yayılış Gösteren Asli Ağaç Türlerimiz*. Ankara, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Anonim (2015). *Gaziemir Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Amenajman Planı (2014-2023)*. Orman Genel Müdürlüğü, 257s.
- Anonim (2015). *Türkiye Orman Varlığı 2015*. Ankara, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Anonim (2016). *İzmir Orman Bölge Müdürlüğü CBS Sayısal Veri Tabanı*. İzmir, Orman Genel Müdürlüğü.
- Anonim (2016). *Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Üretim ve Pazarlama Faaliyetleri*. Ankara, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Aslan, S. (1987). Kızılçamın Fidanlık Tekniği. *Kızılçam* (pp. 65-72).
- Atalay, İ., Sezer, İ. & Çukur, H. (1998). *Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Ormanlarının Ekolojik Özellikleri ve Tohum Nakli Açısından Bölgelere Ayrılması*. İzmir, Orman Bakanlığı Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü Yayınları.
- Carus, S. (1995). Aynı Yaşlı Doğu Kayını Meşcerelerinde Çap Artımının Meşcere Yaş ve Göğüs Yüzeyine Göre Değişimi. *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi B 45 (3-4)*, 95–110.

- Carus, S. (1997). Aynı Yaşlı Doğu Kayını Meşcerelerinde Hacim Artımının Meşcere Yaşı, Bonitet, Göğüs Yüzeyi ve Sosyal Gövde Sınıflara Göre Değişimi. *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi B 47 (1-2-3-4)*, 63-79.
- Carus, S. & Çiçek, E. (2007). Adapazarı-Süleymaniye Dişbudak Plantasyonlarında (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) Tek Ağaçlar İçin Bir Çap Artım Modeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, A1*, 34-48.
- Carus, S. & Gülден, S. (2014). Ağlasun Yöresi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırmalarında Tek Ağaçlarda Çap Artımının Modellenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi 15*, 102-107.
- Ceylan, B. (1987). Kızılçamın Doğal Genleştirilmesi. *Kızılçam* (pp. 73-82).
- Cılız, N. (2013). *Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Meşcerelerinde Altı Ağaç, Aç Sayım ve Örnek Alan Yöntemleri ile Elde Edilen Meşcere Hacmi Tahminlerinin Karşılaştırılması: Antalya-Gebiz Yöresi Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Curtis, R.O., Clendenan, G.W. & Demars D.J. (1981). A New Stand Simulator for Coast Douglas-fir: DFSIM Users Guide: USA. General Technical Report PNW-128, 79p.
- Çatal, Y. (2009). *Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Meşcerelerinde Artım ve Büyüme*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çatal, Y., Eler, Ü., Carus, S., Özçelik, R. & Alkan, O. (2014). *Tek Ağaçta Çap Artımı Tahmini Üzerine Artımın Ölçüldüğü Periyot Süresi ve Meşcere Sıklığının Etkisinin İncelenmesi*. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu. 22-24 Ekim 2014, Isparta, 170-178.
- Daşdemir, İ. (2016). *Bilimsel Araştırma Yöntemleri*. Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- Eler, Ü. (1999). Fonksiyonel Envanter. Orman Amenajman Teknik Toplantısı, 4-7 Mayıs, Bolu, 14.
- Eler, Ü. & Ceylan, B. (1987). Kızılçam Meşcerelerinin Bakımı. *Kızılçam* (pp. 93-102).
- Eraslan, İ. (1971). *Orman Amenajmanı*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Eraslan İ. & Eler, Ü. (2014). *Orman İşletmesinin Planlanması ve Denetimi*. Isparta, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları.
- Ercanlı, İ., Sarıkaya, F., Keleş, S. & Günlü, A. (2007). Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinin Hacim Artımının Meşcere Yaşı, Bonitet Endeksi ve Sıklık Derecesine Göre Değişimi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 7(1)*, 24-37.

- Ergül, E.U. (2010). *Çok Amaçlı Genetik Algoritmalar: Temelleri ve Uygulamaları*. (Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Erkan, N. (1996). *Kızılçamda (Pinus brutia Ten) Meşcere Gelişmesinin Simülasyonu*. Elazığ, Güneydoğu Anadolu Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Yayınları.
- Erten, P. & Önal, S. (1987). Kızılçam Odununun Özellikleri, Korunması, Reçine Üretimi ve Kullanım Yerleri. *Kızılçam* (pp. 169-182).
- Fady, B., Semerci, H. & Vendramin, G.G. (2003). Aleppo Pine (*Pinus halepensis*) and Brutia Pine (*Pinus brutia*). EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and use, ISBN 10:92-9043-571-2, 6p.
- Fırat, F. (1972). *Orman Hasılat Bilgisi*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Fırat, F. (1973). *Dendrometri*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Grossman, H. (1961). Der Einfluss verschiedener Faktoren auf den Variabilitätskoeffizienten des Radialzuwachses. *Archiv für Forstwesen, Heft 11/12*, 2. 1295-1309.
- Gökşin, A. (1987). Kızılçamın Botanik Özellikleri. *Kızılçam* (pp. 11-14).
- Günel, H.A. (1973). *Ağaç Serveti Miktarının Tayininde Kullanılabilecek Metodlar Üzerine Araştırmalar*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Güneş, S. (2015). *Isparta Yöresi Kızılçam Meşcerelerinde Çap Dağılımının Örnek Alan Ağaç Sayısına Göre Modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Hildebrandt, G. (1966). Variationsverhältnisse der Stärkezuwächse in Fichten- und Kiefern beständen. *Mitt, d, Schweiz. A.g.g. Versuchswesen, Helf 4*, 244-247.
- İşivar, Ü. (2014). *Manisa Orman İşletme Müdürlüğünde Fıstık Çamı (Pinus pinea L.) İçin Dikili Kabuklu Gövde Hacmi Ve Artım Tablosunun Yapılarak Önceki Tablo ile Karşılaştırılması*. Orman Amenajman Mühendislerinin Teknik Araştırma ve Çalışma Bildirileri 2014. 14-23 Ocak 2014, Ankara, 63-76.
- Kalıpsız, A. (1968). *Meşcere Hacim Artımının Tayininde Kullanılan MEYER Metotları ve Kritiği*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Kalıpsız, A. (1973). Meşcere Hacim Artımının Tayini Metotları ve Uygun Metodun Seçimi Esasları. *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi B 23 (1)*, 30-43.
- Kalıpsız, A. (1982). *Orman Hasılat Bilgisi*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Kalıpsız, A. (1984). *Dendrometri*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.

- Kangas, A. & Maltamo, M. (2006). *Forest Inventory Methodology and Applications*. The Netherlands, Springer.
- Kantarcı, M.D. (1982). *Akdeniz Bölgesinde Doğal Ağaç ve Çalı Türlerinin Yayılışı İle Bölgesel Yetiştirme Ortamı Özellikleri Arasındaki İlişkiler*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Kaya, S. & Fırlı, N. (2016). Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı. *Sosyal Bilgiler Araştırma Dergisi*, 5, (2), 12-18.
- Kayacık, H. (1965). *Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği, I. Cilt Gymnospermae (Açık Tohumlular)*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Kurth, H. (1961). Variabilitätskoeffizienten (V_k) des Redialzuwashes und mathematisch-statistische Genauigkeit der Zuwachsinventur. *Archiv für Forstwesen*, H.7, 751-763.
- Meyer, H.A. (1953). *Forest Mensuration*. Pennsylvania, Penns Valley Publishers Inc., State College.
- National Institute of Standards and Technology, U. S. Department of Commerce (NIST), (2018). *Appendix B. Random Number Tables*. <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2017/04/28/AppenB-HB13-3-05-Z.pdf>. (Erişim tarihi: 09.04.2018).
- Neyişçi, T. (1987) (a). Kızılçamın Doğal Yayılışı. *Kızılçam* (pp. 15-22).
- Neyişçi, T. (1987) (b). Kızılçamın Ekolojisi. *Kızılçam* (pp. 23-56).
- Özçelik, R. (2003). Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) Çağ Sınıflarının Meşcere Tipi Ayrımı Üzerine Etkileri. *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Dergisi*, 5, 83-96.
- Özer, E. & Uğurlu, S. (1976). *Ormancılıkta Ağaç Servetinin İstenen Doğrulukta Elde Edilmesinde Uygun Örnek Alan Büyüklüğü ve Sıklığının Saptanması*. Ankara, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Öztemel, E. (2016). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul, Papatya Yayıncılık Eğitim.
- Prodan, M. (1965). *Holzmesslehre*. Frankfurt, J.D. Sauerlander's Verlag.
- Ratkowsky, D.A. (1989). *Handbook of Nonlinear Regression Models*. New York, Marcel Dekker INC.
- Saatçioğlu, F. (1969). *Silvikültür I*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Sakıcı, O.E. (2009). *Ağaç Serveti Envanterinde Kullanılan Çeşitli Örneklem Yöntemlerinin Karşılaştırılması*. (Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Saraçoğlu, Ö. (1988). *Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme*. İstanbul, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Sarıbaş, M. (2008). *Dendroloji I, Gymnospermae*. Ankara, Dönmez Ofset.
- Sönmez, T. & Çakıroğlu, S. (2012). Doğu Ladini Meşcerelerinde Hacim Artımının Tek ve Çift Girişli Hacim Tabloları Kullanılarak Meyer'in Enterpolasyon Yöntemi'ne Göre Hesaplanması. *Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi* 13(2), 226-234.
- Şad, C. (1987). Ağaç Serveti ve Artımına İlişkin Envanter Sırasında Artımın Saptanması Maksudı ile Dikili Gövdelerden Artım Kalemi Alma Esasları. *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi B* 37(2), 66-70.
- Usta, H.Z. (1991). *Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları*. Ankara, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.
- Vancly, K.J. (1994). *Modelling Forest Growth and Yield, Applications to Mixed Tropical Forests*, Australia, Published by CAB International.
- Yaltırık, F. (1993). *Dendroloji Ders Kitabı I (Gymnospermae)*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Yaltırık, F. & Efe, A. (1994). *Dendroloji Ders Kitabı, Gymnospermae – Angiospermae (Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü öğrencileri için)*. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Yeşil, A. (1986). Meşcere Hacim Artımı Tayininde Kullanılan Tek Ölçü Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi B* 36 (4), 89-104.
- Yeşil, A. (1992). *Değişik Sıklık ve Bonitetteki Kızılçam Meşcerelerinin Yaşa Göre Gelişimi*. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yeşil, A. (1994). Meşcere Sıklığının Saptanmasında Başvurulan Yöntemler ve Doğal Kızılçam Meşcerelerinde Sıklık Derecesinin Ölçümü. *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi A* 44 (2), 93-110.
- Yıldızbakan, A., Saraçoğlu, Ö., Akgün, C. & Aydın, A.C. (2013). *Sedir (Cedrus libani A.Rich.) Meşcerelerinin Hacim Artımını Maksimize Eden Optimum Kuruluşlar*. Tarsus-Mersin, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları.

EKLER

EK A. Çizelgeler

EK B. Şekiller



Ek A. Çizelgeler

Çizelge A.1. Çalışmada kullanılan envanter karnesi

Örnek Alan No							Baki			Plan Meşcere Tipi						Tarih					
Ör. Al. Yarıçapı							Rakım			Aktüel Meşcere Tipi											
Merkez koordinatı			x				Eğim			Plan bonitet											
			y				D.Örtü	az	orta	yoğ.	Plan yaş sınıfı										
Sıra no	Tür kodu	1.30 çap (cm) 1. ölçüm	1.30 çap (cm) 2. ölçüm		Ağaç boyu (m)	Yeşil dal yükseklği (m)	Taç çapı (m)	Son 10 yıllık halka kalınlığı (mm)	Kabuk kalınlığı (mm)			Ağaç 1.30 yaşı	1.30'a kadar yaş	Merkeze eklenebilecek yaş	Kalem uzunluğu (merkez-son yıllık)		Silvikültürel müdahale (1/2)		Merkezden uzaklık (m)	Semt Açısı (derece)	Düzeltilme
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					

Çizelge A.2. Seçim yöntemlerinin kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkilerini açıklaması bakımından karşılaştırılmaları

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	Sıra
01	-0.213	47	-0.019	59	0.814	58	0.049	31	1.136	49	98.43	13	0.030	6	47	1361	262.9	40
02	-0.002	1	-0.008	24	0.794	50	0.047	13	1.114	44	98.49	4	0.031	20	141	1267	155.3	9
03	0.122	27	-0.001	4	0.800	52	0.047	12	1.122	45	98.49	5	0.032	28	188	1220	173.8	14
04	0.148	33	0.000	1	0.800	52	0.047	13	1.123	46	98.48	6	0.033	36	235	1173	187.3	19
05	0.134	30	-0.003	10	0.809	56	0.048	23	1.151	52	98.42	15	0.035	68	329	1079	254.7	38
06	0.142	32	-0.003	10	0.799	52	0.048	26	1.147	51	98.42	15	0.037	100	470	938	285.9	46
07	-0.097	22	-0.013	39	0.799	52	0.047	16	1.128	47	98.44	11	0.030	8	47	1361	195.2	23
08	0.021	5	0.000	1	0.788	48	0.046	9	1.112	43	98.46	8	0.031	19	141	1267	133.1	6
09	-0.012	3	-0.008	25	0.793	50	0.047	16	1.121	45	98.45	11	0.032	31	188	1220	181.4	18
10	-0.009	3	-0.008	24	0.794	50	0.048	22	1.127	47	98.40	17	0.033	42	235	1173	203.6	29
11	-0.070	16	-0.012	36	0.770	40	0.048	21	1.083	36	98.45	11	0.033	42	329	1079	201.6	28
12	-0.103	23	-0.014	43	0.761	37	0.048	29	1.070	33	98.39	18	0.035	67	470	938	250.9	37
13	0.166	37	0.017	52	0.855	74	0.052	63	1.167	56	98.34	26	0.031	20	47	1361	329.5	49
14	0.095	22	0.006	19	0.818	59	0.047	14	1.169	56	98.32	29	0.033	39	141	1267	238.6	34
15	0.046	11	0.001	3	0.788	47	0.046	3	1.129	47	98.42	15	0.032	34	188	1220	159.5	10
16	0.036	9	-0.001	2	0.797	51	0.046	8	1.145	51	98.36	22	0.033	49	235	1173	192.7	21
17	0.071	16	-0.003	10	0.790	48	0.047	10	1.111	43	98.50	3	0.031	18	141	1267	148.8	8
18	0.109	25	-0.001	5	0.796	51	0.047	14	1.120	45	98.49	5	0.032	28	188	1220	171.2	13
19	0.207	46	0.009	28	0.821	61	0.049	31	1.159	54	98.40	17	0.033	47	235	1173	285.3	44
20	0.168	38	0.011	33	0.810	56	0.049	39	1.133	48	98.44	12	0.033	39	235	1173	264.2	42
21	0.150	34	0.011	35	0.801	53	0.050	42	1.111	43	98.46	9	0.032	31	235	1173	245.7	36
22	-0.030	7	-0.006	19	0.825	62	0.047	17	1.169	57	98.34	25	0.032	33	94	1314	220.8	32
23	0.023	6	-0.002	7	0.839	68	0.047	15	1.201	64	98.27	36	0.034	62	188	1220	257.5	39
24	0.149	33	0.001	5	0.818	60	0.046	7	1.149	52	98.42	15	0.033	47	235	1173	218.8	31

Çizelge A.2. Seçim yöntemlerinin kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkilerini açıklaması bakımından karşılaştırılmaları (Devam)

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg.	sayı test	TBP	Sıra
25	-0.451	100	-0.033	100	0.854	74	0.053	76	1.175	58	98.15	53	0.030	1	94	1314	461.5	52
26	-0.315	70	-0.026	81	0.803	53	0.051	58	1.118	45	98.17	50	0.031	12	188	1220	368.1	50
27	-0.186	42	-0.018	55	0.774	42	0.049	33	1.085	37	98.27	36	0.031	19	235	1173	262.9	41
28	0.025	6	-0.006	18	0.806	55	0.046	8	1.139	50	98.41	16	0.031	22	94	1314	174.1	15
29	0.045	10	-0.001	4	0.809	56	0.046	2	1.146	51	98.40	17	0.033	40	188	1220	181.3	17
30	0.088	20	0.001	3	0.809	56	0.046	5	1.145	51	98.39	18	0.033	48	235	1173	200.1	26
31	-0.430	95	-0.031	96	0.844	70	0.052	69	1.169	57	98.15	53	0.030	2	94	1314	441.4	51
32	-0.185	41	-0.011	33	0.773	41	0.047	18	1.101	40	98.20	46	0.031	17	188	1220	236.6	33
33	-0.119	27	-0.007	22	0.759	36	0.047	15	1.080	35	98.23	41	0.031	20	235	1173	197.1	24
34	0.117	26	0.005	14	0.845	70	0.048	21	1.200	64	98.24	40	0.033	42	94	1314	278.5	43
35	0.105	24	0.003	9	0.809	56	0.046	2	1.145	51	98.42	15	0.033	38	188	1220	194.6	22
36	0.149	33	0.001	4	0.810	56	0.046	4	1.140	50	98.44	11	0.033	43	235	1173	201.5	27
37	-0.089	20	-0.001	3	0.799	52	0.048	26	1.129	47	98.28	35	0.031	16	94	1314	198.6	25
38	-0.078	18	-0.002	6	0.764	38	0.047	18	1.080	36	98.27	36	0.031	14	188	1220	165.3	11
39	-0.018	4	0.001	2	0.754	34	0.047	17	1.061	31	98.33	27	0.031	15	235	1173	131.8	5
40	-0.027	7	-0.004	13	0.725	22	0.047	16	1.007	18	98.42	14	0.033	44	482	926	134.3	7
41	0.037	9	0.002	5	0.735	26	0.046	6	1.024	22	98.43	13	0.031	14	311	1097	95.5	2
42	0.006	2	-0.005	15	0.672	1	0.046	1	0.933	1	98.46	10	0.032	23	532	876	52.6	1
43	-0.122	27	-0.007	21	0.790	48	0.047	11	1.122	45	98.40	18	0.031	17	121	1287	187.8	20
44	-0.002	1	-0.003	9	0.758	36	0.046	3	1.079	35	98.45	10	0.031	20	223	1185	114.8	3
45	-0.029	7	0.001	3	0.776	43	0.047	16	1.087	37	98.40	17	0.030	6	121	1287	129.0	4
46	-0.046	11	-0.010	30	0.787	47	0.047	10	1.112	43	98.46	9	0.031	15	121	1287	166.0	12
47	-0.037	9	0.004	12	0.811	57	0.049	32	1.137	49	98.32	28	0.032	25	121	1287	210.9	30

Çizelge A.2. Seçim yöntemlerinin kabuklu göğüs çapı-kabuksuz göğüs çapı ilişkilerini açıklaması bakımından karşılaştırılmaları (Devam)

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg.	sayı test	TBP	Sıra
48	-0.140	32	-0.015	47	0.781	45	0.048	19	1.083	36	98.52	1	0.030	1	121	1287	180.7	16
49	-0.129	29	-0.007	23	0.805	54	0.047	11	1.166	56	98.26	38	0.032	34	121	1287	243.9	35
50	0.357	79	0.017	52	0.907	95	0.052	65	1.353	100	97.81	100	0.036	84	94	1314	576.4	54
51	0.126	28	-0.013	40	0.919	100	0.055	100	1.280	83	98.04	68	0.035	69	76	1332	488.1	53
52	0.066	15	-0.007	20	0.850	72	0.048	23	1.247	75	98.12	57	0.034	55	56	1352	318.1	48
53	0.286	64	0.009	27	0.831	65	0.047	16	1.184	60	98.32	28	0.032	25	94	1314	285.5	45
54	0.172	39	-0.004	11	0.845	70	0.049	33	1.205	65	98.28	34	0.033	48	131	1277	300.9	47

Çizelge A.3. Seçim yöntemlerinin ağaç boyu–kabuklu göğüs çapı ilişkilerini açıklanması açısından karşılaştırılmaları

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg.	sayı test	TBP	Sıra
01	-0.617	66	-0.117	80	2.334	75	0.226	74	2.996	67	59.184	56	0.080	3	47	1361	422.4	51
02	-0.341	36	-0.087	60	2.276	56	0.218	55	2.929	50	60.342	39	0.082	19	141	1267	314.7	32
03	-0.174	18	-0.071	48	2.274	55	0.214	46	2.954	56	59.818	46	0.084	38	188	1220	308.4	30
04	-0.166	17	-0.074	50	2.221	38	0.210	37	2.896	42	61.477	22	0.084	38	235	1173	243.8	20
05	-0.106	11	-0.070	48	2.177	23	0.209	33	2.833	25	62.852	1	0.086	50	329	1079	191.4	8
06	-0.164	17	-0.075	51	2.127	7	0.209	33	2.788	14	62.539	6	0.091	82	470	938	210.7	13
07	0.111	11	-0.046	32	2.308	67	0.212	41	2.972	61	60.087	42	0.081	11	47	1361	265.1	23
08	0.137	14	-0.053	36	2.201	31	0.202	17	2.902	43	61.535	21	0.081	17	141	1267	179.5	6
09	0.264	28	-0.038	27	2.202	32	0.200	12	2.888	40	62.008	14	0.082	23	188	1220	175.0	5
10	0.171	18	-0.047	33	2.197	30	0.202	17	2.893	41	61.420	22	0.084	37	235	1173	197.8	10
11	0.265	28	-0.038	26	2.187	27	0.201	15	2.877	37	61.162	26	0.087	57	329	1079	215.5	14
12	0.188	20	-0.047	33	2.165	19	0.203	19	2.867	34	60.332	39	0.093	100	470	938	264.0	22
13	0.502	54	0.010	8	2.382	91	0.214	47	3.029	76	58.074	73	0.081	14	47	1361	361.5	43
14	0.115	12	-0.039	27	2.209	34	0.202	16	2.893	41	61.292	24	0.081	15	141	1267	169.8	4
15	0.093	9	-0.048	33	2.173	22	0.198	8	2.879	37	61.269	25	0.082	24	188	1220	158.3	3
16	0.056	5	-0.047	32	2.163	19	0.198	7	2.853	31	61.769	17	0.083	30	235	1173	141.7	1
17	0.445	48	0.001	1	2.345	79	0.214	45	2.996	67	58.780	62	0.083	29	141	1267	331.5	34
18	0.508	55	0.002	2	2.347	79	0.213	43	2.998	68	59.097	57	0.085	39	188	1220	343.2	40
19	0.587	63	0.010	7	2.388	93	0.217	54	3.035	77	58.087	72	0.087	55	235	1173	422.0	50
20	0.532	57	0.008	6	2.367	86	0.216	52	3.020	73	58.036	73	0.087	54	235	1173	401.4	49
21	0.476	51	0.002	2	2.319	70	0.213	44	2.977	62	58.631	64	0.086	47	235	1173	340.9	38
22	-0.926	100	-0.147	100	2.409	100	0.236	100	3.067	85	56.909	90	0.081	12	94	1314	587.2	54
23	-0.644	69	-0.122	83	2.325	72	0.224	70	2.976	62	59.150	57	0.083	29	188	1220	442.4	53

Çizelge A.3. Seçim yöntemlerinin ağaç boyu–kabuklu göğüs çapı ilişkilerini açıklanması açısından karşılaştırılmaları (Devam)

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg.	sayı test	TBP	Sıra
24	-0.617	66	-0.116	79	2.289	60	0.221	63	2.937	52	59.907	45	0.084	34	235	1173	399.5	48
25	0.111	11	-0.074	50	2.272	55	0.214	46	2.978	63	58.554	65	0.082	22	94	1314	311.5	31
26	0.363	39	-0.045	31	2.216	36	0.204	23	2.935	52	58.613	65	0.083	30	188	1220	275.1	24
27	0.356	38	-0.034	24	2.149	14	0.197	6	2.826	24	61.063	28	0.082	20	235	1173	153.5	2
28	-0.469	50	-0.107	73	2.320	70	0.220	61	2.992	66	59.351	53	0.082	18	94	1314	392.1	46
29	-0.385	41	-0.101	69	2.311	68	0.218	56	2.966	60	59.724	48	0.084	36	188	1220	378.0	45
30	-0.258	27	-0.085	58	2.217	37	0.208	33	2.863	33	62.084	13	0.083	30	235	1173	229.9	17
31	0.704	76	-0.012	9	2.274	55	0.199	9	3.053	82	56.749	93	0.082	21	94	1314	344.4	41
32	0.716	77	-0.010	8	2.259	51	0.199	10	3.032	76	56.393	98	0.084	37	188	1220	357.2	42
33	0.586	63	-0.024	17	2.239	44	0.202	16	2.997	67	57.048	88	0.086	47	235	1173	342.4	39
34	-0.470	50	-0.100	68	2.244	46	0.213	43	2.907	44	61.188	26	0.079	1	94	1314	278.5	25
35	-0.353	38	-0.091	62	2.272	55	0.214	45	2.936	52	60.360	38	0.083	31	188	1220	320.8	33
36	-0.282	30	-0.081	56	2.226	40	0.209	34	2.885	39	61.371	23	0.084	34	235	1173	254.4	21
37	0.789	85	0.001	2	2.254	49	0.195	1	3.018	73	57.187	86	0.080	10	94	1314	305.0	29
38	0.735	79	-0.005	4	2.252	48	0.199	9	3.011	71	56.565	95	0.084	32	188	1220	339.7	37
39	0.807	87	0.014	10	2.225	39	0.196	3	2.937	52	58.127	72	0.082	24	235	1173	286.9	27
40	-0.016	1	-0.066	45	2.123	6	0.208	31	2.758	6	61.342	24	0.091	81	482	926	193.6	9
41	0.140	15	-0.054	37	2.175	23	0.205	24	2.838	27	60.771	32	0.086	46	311	1097	203.2	11
42	0.217	23	-0.043	30	2.109	1	0.202	18	2.737	1	61.185	26	0.092	92	532	876	189.9	7
43	0.349	37	-0.037	26	2.227	40	0.200	12	2.942	53	60.774	32	0.081	17	121	1287	217.6	15
44	0.300	32	-0.049	34	2.248	47	0.206	26	2.974	62	59.262	55	0.086	48	223	1185	303.8	28
45	0.876	95	0.009	7	2.288	60	0.196	2	3.067	85	56.352	98	0.082	20	121	1287	368.0	44
46	-0.314	33	-0.097	66	2.294	62	0.218	55	2.950	55	59.954	44	0.082	19	121	1287	336.2	35
47	0.433	46	-0.031	22	2.229	41	0.200	11	2.956	57	60.206	41	0.082	17	121	1287	234.9	18

Çizelge A.3. Seçim yöntemlerinin ağaç boyu–kabuklu göğüs çapı ilişkilerini açıklanması açısından karşılaştırılmaları (Devam)

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg.	sayı test	TBP	Sıra
48	-0.183	19	-0.093	63	2.223	38	0.213	45	2.889	40	61.454	22	0.080	10	121	1287	237.1	19
49	0.312	33	-0.044	30	2.216	36	0.201	14	2.943	54	60.645	34	0.082	18	121	1287	219.4	16
50	0.572	62	0.007	5	2.362	84	0.211	38	3.014	72	59.081	58	0.082	18	94	1314	336.8	36
51	0.216	23	-0.030	21	2.262	52	0.205	24	2.937	52	61.210	26	0.080	9	76	1332	205.4	12
52	0.077	8	-0.077	53	2.371	87	0.216	52	3.124	100	56.250	100	0.085	41	56	1352	440.5	52
53	0.683	74	0.021	15	2.395	95	0.214	45	3.038	78	58.269	70	0.082	19	94	1314	395.3	47
54	0.361	39	-0.016	12	2.319	70	0.208	32	2.978	63	60.346	39	0.083	26	131	1277	279.7	26

Çizelge A.4. Seçim yöntemlerin tek girişli göğüs çapı artımı tahminlerine ilişkin karşılaştırmaları

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	Sıra
01	-0.019	14	-0.796	48	0.205	23	1.086	48	0.264	30	0.007	18	47	1361	180	34
02	-0.006	5	-0.753	44	0.203	19	1.047	43	0.263	27	0.007	31	141	1267	170	30
03	0.007	6	-0.695	39	0.200	14	0.998	37	0.261	24	0.007	36	188	1220	156	22
04	0.015	11	-0.648	35	0.197	9	0.950	32	0.258	18	0.008	39	235	1173	143	17
05	0.002	2	-0.716	41	0.201	16	1.000	38	0.259	20	0.008	59	329	1079	174	32
06	0.003	2	-0.730	42	0.205	23	1.014	39	0.265	30	0.009	100	470	938	237	38
07	0.014	10	-0.671	37	0.194	3	0.966	34	0.253	7	0.007	1	47	1361	92	2
08	0.013	10	-0.681	37	0.199	13	0.969	34	0.260	20	0.007	25	141	1267	140	16
09	0.006	5	-0.713	40	0.196	7	0.994	37	0.254	10	0.007	25	188	1220	124	12
10	0.005	4	-0.722	41	0.194	4	0.998	37	0.253	8	0.007	31	235	1173	126	13
11	0.001	1	-0.767	45	0.198	11	1.037	42	0.256	13	0.008	53	329	1079	165	26
12	-0.012	9	-0.826	50	0.200	15	1.076	47	0.257	15	0.008	85	470	938	221	36
13	-0.073	52	-1.045	70	0.231	67	1.246	68	0.286	71	0.008	37	47	1361	365	49
14	-0.014	10	-0.784	47	0.203	19	1.038	42	0.257	16	0.007	22	141	1267	156	21
15	-0.020	15	-0.813	49	0.203	19	1.058	45	0.256	13	0.007	26	188	1220	167	28
16	-0.012	9	-0.781	46	0.202	17	1.035	42	0.257	15	0.007	37	235	1173	167	27
17	-0.072	51	-1.105	76	0.226	58	1.314	76	0.279	57	0.008	40	141	1267	358	48
18	-0.046	33	-0.985	65	0.217	43	1.226	65	0.271	42	0.008	45	188	1220	293	44
19	-0.037	27	-0.934	60	0.224	56	1.199	62	0.279	58	0.008	69	235	1173	331	46
20	-0.050	35	-0.981	64	0.230	65	1.226	65	0.285	70	0.008	76	235	1173	375	51
21	-0.075	53	-1.102	75	0.235	74	1.311	76	0.289	76	0.008	73	235	1173	427	52
22	0.080	57	-0.341	7	0.192	1	0.762	9	0.264	28	0.007	6	94	1314	107	3
23	0.079	56	-0.314	5	0.192	1	0.727	4	0.264	29	0.007	22	188	1220	118	8
24	0.068	48	-0.366	9	0.192	1	0.752	8	0.262	26	0.007	32	235	1173	124	10
25	-0.084	60	-1.112	76	0.220	47	1.298	74	0.265	31	0.007	6	94	1314	294	45

Çizelge A.4. Seçim yöntemlerin tek girişli göğüs çapı artımı tahminlerine ilişkin karşılaştırmaları (Devam)

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	Sıra
26	-0.082	59	-1.119	77	0.213	37	1.297	74	0.257	16	0.007	9	188	1220	270	43
27	-0.064	46	-1.035	69	0.210	32	1.236	66	0.257	16	0.007	25	235	1173	254	41
28	0.099	70	-0.274	1	0.198	12	0.721	4	0.274	48	0.007	12	94	1314	147	18
29	0.092	66	-0.276	1	0.197	9	0.699	1	0.273	45	0.007	29	188	1220	151	20
30	0.081	57	-0.322	5	0.196	8	0.723	4	0.269	39	0.008	37	235	1173	151	19
31	-0.043	31	-0.937	60	0.211	33	1.173	59	0.261	22	0.007	15	94	1314	221	35
32	-0.044	32	-0.944	61	0.214	38	1.168	58	0.264	29	0.007	35	188	1220	253	40
33	-0.029	21	-0.885	56	0.211	32	1.127	53	0.263	28	0.008	45	235	1173	235	37
34	0.070	50	-0.402	12	0.196	7	0.789	12	0.266	32	0.007	14	94	1314	127	14
35	0.073	52	-0.360	9	0.194	4	0.753	8	0.263	28	0.007	23	188	1220	123	9
36	0.050	36	-0.454	17	0.193	2	0.806	14	0.258	17	0.007	31	235	1173	117	7
37	-0.141	100	-1.370	99	0.250	100	1.495	98	0.296	90	0.007	20	94	1314	507	54
38	-0.095	67	-1.198	84	0.229	63	1.364	82	0.272	45	0.007	27	188	1220	368	50
39	-0.133	94	-1.379	100	0.245	90	1.511	100	0.289	77	0.008	37	235	1173	499	53
40	0.022	16	-0.596	30	0.197	9	0.889	24	0.254	10	0.008	83	482	926	172	31
41	0.028	20	-0.602	30	0.201	16	0.910	27	0.260	21	0.008	54	311	1097	168	29
42	0.021	15	-0.589	29	0.195	6	0.885	24	0.250	1	0.008	87	532	876	162	25
43	0.025	18	-0.602	30	0.205	22	0.929	29	0.265	31	0.007	30	121	1287	161	24
44	0.016	12	-0.607	31	0.197	10	0.898	25	0.254	9	0.007	29	223	1185	116	6
45	0.047	34	-0.518	23	0.237	76	0.967	34	0.301	100	0.008	81	121	1287	347	47
46	0.049	35	-0.486	20	0.195	6	0.841	18	0.258	18	0.007	14	121	1287	111	5
47	-0.015	11	-0.792	47	0.209	29	1.038	42	0.262	24	0.007	25	121	1287	179	33
48	0.002	2	-0.677	37	0.195	5	0.957	33	0.250	2	0.007	8	121	1287	86	1
49	0.007	6	-0.665	36	0.198	11	0.951	32	0.254	10	0.007	15	121	1287	110	4

Çizelge A.4. Seçim yöntemlerin tek girişli göğüs çapı artımı tahminlerine ilişkin karşılaştırılmaları (Devam)

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	Sıra
50	0.009	7	-0.717	41	0.216	42	1.037	42	0.279	58	0.008	48	94	1314	238	39
51	0.012	9	-0.701	39	0.198	11	1.044	43	0.255	12	0.007	9	76	1332	124	11
52	0.004	3	-0.728	42	0.202	18	1.018	40	0.260	21	0.007	13	56	1352	137	15
53	-0.039	28	-0.910	58	0.217	42	1.180	60	0.270	40	0.007	30	94	1314	258	42
54	0.001	1	-0.768	45	0.204	21	1.085	48	0.260	20	0.007	24	131	1277	159	23

Çizelge A.5. Seçim yöntemlerinin dört girişli göğüs çapı artımı tahminlerine ilişkin karşılaştırmaları

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	Sıra
01	0.004	2	-0.302	52	0.149	32	0.669	55	0.226	29	21.54	22	0.006	28	47	1361	222.2	45
02	0.040	32	-0.020	4	0.114	2	0.357	2	0.154	3	64.54	1	0.004	2	141	1267	47.3	1
03	0.052	42	0.026	5	0.119	6	0.360	2	0.160	6	62.11	2	0.004	5	188	1220	68.8	4
04	0.060	49	0.050	10	0.121	9	0.359	2	0.163	7	60.85	3	0.004	6	235	1173	84.9	7
05	0.061	49	0.053	10	0.122	9	0.358	2	0.163	7	60.69	3	0.005	8	329	1079	88.1	8
06	0.081	67	0.114	20	0.132	18	0.388	7	0.176	12	55.47	6	0.005	15	470	938	144.5	25
07	0.087	72	0.178	31	0.141	26	0.435	15	0.184	14	49.15	9	0.004	5	47	1361	171.8	30
08	0.092	75	0.142	25	0.135	20	0.371	4	0.181	13	53.65	6	0.004	5	141	1267	149.6	26
09	0.086	71	0.113	20	0.129	15	0.384	7	0.174	11	55.43	6	0.004	4	188	1220	133.0	19
10	0.080	65	0.093	17	0.125	12	0.374	5	0.169	9	57.52	4	0.004	5	235	1173	116.9	15
11	0.086	70	0.117	21	0.128	15	0.379	6	0.173	10	56.02	5	0.005	8	329	1079	135.0	20
12	0.065	53	0.044	8	0.120	8	0.378	6	0.163	7	60.99	3	0.005	12	470	938	96.3	9
13	0.117	96	0.240	42	0.162	44	0.440	16	0.212	24	40.70	13	0.005	11	47	1361	246.0	47
14	0.075	61	0.100	18	0.133	18	0.402	10	0.178	12	54.36	6	0.005	7	141	1267	132.7	18
15	0.064	52	0.050	9	0.128	14	0.398	9	0.172	10	56.64	5	0.005	8	188	1220	107.0	13
16	0.067	54	0.056	10	0.125	12	0.378	6	0.171	10	57.06	5	0.005	8	235	1173	104.8	10
17	-0.018	14	-0.403	70	0.143	27	0.709	62	0.195	18	43.60	11	0.005	19	141	1267	222.0	44
18	-0.015	12	-0.399	69	0.143	27	0.708	62	0.195	18	43.89	11	0.006	21	188	1220	220.5	43
19	-0.023	18	-0.404	70	0.151	34	0.709	62	0.201	20	43.71	11	0.006	25	235	1173	240.9	46
20	0.013	10	-0.210	37	0.126	13	0.491	25	0.165	8	62.99	2	0.005	11	235	1173	104.9	11
21	-0.013	10	-0.377	65	0.133	18	0.601	44	0.174	11	59.33	4	0.005	14	235	1173	165.5	29
22	0.080	65	0.078	14	0.128	15	0.365	3	0.178	12	52.39	7	0.004	6	94	1314	122.5	17
23	0.077	63	0.083	15	0.127	13	0.360	2	0.172	10	55.97	5	0.004	5	188	1220	114.2	14
24	0.058	47	0.019	4	0.121	8	0.353	1	0.164	7	60.21	3	0.004	6	235	1173	77.5	6
25	0.020	16	-0.120	21	0.118	6	0.458	19	0.156	4	60.43	3	0.004	4	94	1314	73.3	5

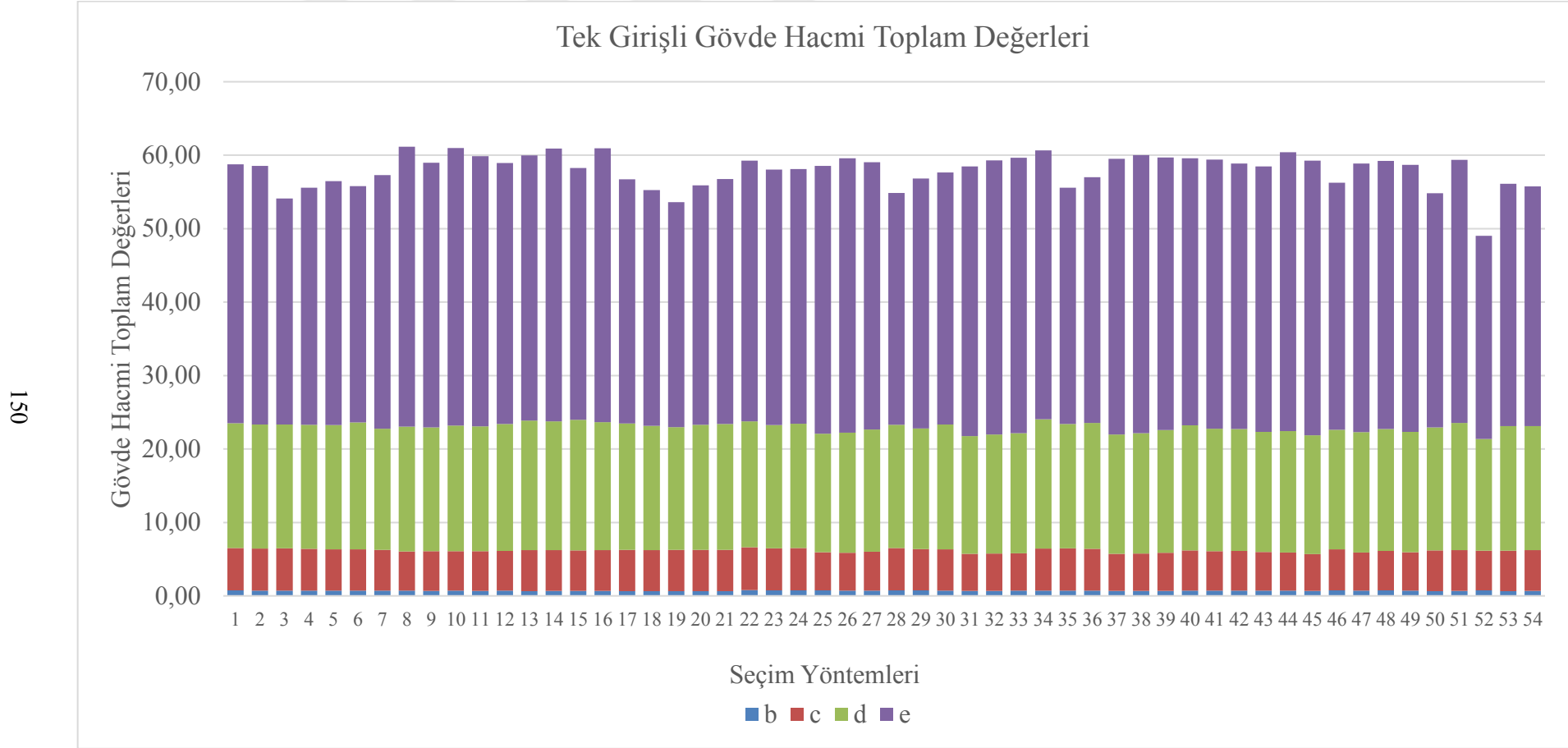
Çizelge A.5. Seçim yöntemlerinin dört girişli göğüs çapı artımı tahminlerine ilişkin karşılaştırılmaları (Devam)

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	Sıra
26	0.038	31	-0.008	2	0.112	1	0.404	10	0.147	1	64.11	1	0.004	1	188	1220	47.3	2
27	0.049	39	-0.011	3	0.115	3	0.400	9	0.151	2	63.04	2	0.004	3	235	1173	61.2	3
28	0.115	95	0.203	36	0.149	32	0.392	8	0.200	20	40.69	13	0.005	7	94	1314	210.1	39
29	0.103	85	0.157	28	0.140	25	0.374	5	0.188	16	48.63	9	0.004	7	188	1220	173.1	32
30	0.088	72	0.105	19	0.133	19	0.360	2	0.180	13	53.03	7	0.005	8	235	1173	139.6	22
31	0.084	69	0.146	26	0.143	27	0.480	23	0.186	15	44.40	11	0.005	8	94	1314	178.9	34
32	0.104	85	0.191	33	0.153	36	0.464	20	0.200	20	39.87	13	0.005	12	188	1220	220.4	42
33	0.107	88	0.199	35	0.147	30	0.439	16	0.191	17	45.88	10	0.005	8	235	1173	204.6	38
34	0.103	84	0.166	29	0.144	28	0.389	7	0.197	19	43.68	11	0.005	9	94	1314	187.8	35
35	0.098	80	0.156	27	0.140	25	0.371	4	0.191	17	46.42	10	0.005	9	188	1220	172.7	31
36	0.085	70	0.116	21	0.132	18	0.362	3	0.181	13	51.42	8	0.005	9	235	1173	141.1	24
37	0.112	92	0.024	5	0.191	69	0.754	70	0.264	43	0.02	33	0.007	35	94	1314	346.6	53
38	0.122	100	0.139	25	0.183	61	0.649	52	0.241	35	13.56	26	0.006	26	188	1220	325.2	51
39	0.082	68	0.073	13	0.157	40	0.581	40	0.203	21	38.71	14	0.005	19	235	1173	214.5	40
40	0.104	85	0.177	31	0.141	26	0.398	9	0.185	15	48.89	9	0.005	14	482	926	188.6	36
41	0.116	96	0.200	35	0.149	33	0.415	12	0.196	18	44.24	11	0.005	10	311	1097	215.0	41
42	0.106	87	0.191	33	0.143	27	0.403	10	0.186	15	46.12	10	0.005	16	532	876	198.6	37
43	0.118	97	0.190	33	0.161	43	0.464	20	0.212	24	34.09	16	0.005	12	121	1287	246.1	48
44	0.074	61	0.079	14	0.125	12	0.352	1	0.167	8	57.66	4	0.004	5	223	1185	105.7	12
45	0.013	9	-0.049	9	0.168	49	0.497	26	0.227	30	25.57	20	0.006	31	121	1287	174.9	33
46	0.080	65	0.071	13	0.129	15	0.391	8	0.173	10	53.84	6	0.004	4	121	1287	121.8	16
47	0.069	57	0.049	9	0.141	25	0.458	19	0.183	14	52.83	7	0.005	10	121	1287	140.9	23
48	0.076	62	0.094	17	0.133	19	0.405	10	0.178	12	49.91	8	0.004	7	121	1287	135.5	21
49	0.066	53	0.000	1	0.147	31	0.502	27	0.193	18	43.07	12	0.005	14	121	1287	155.8	27

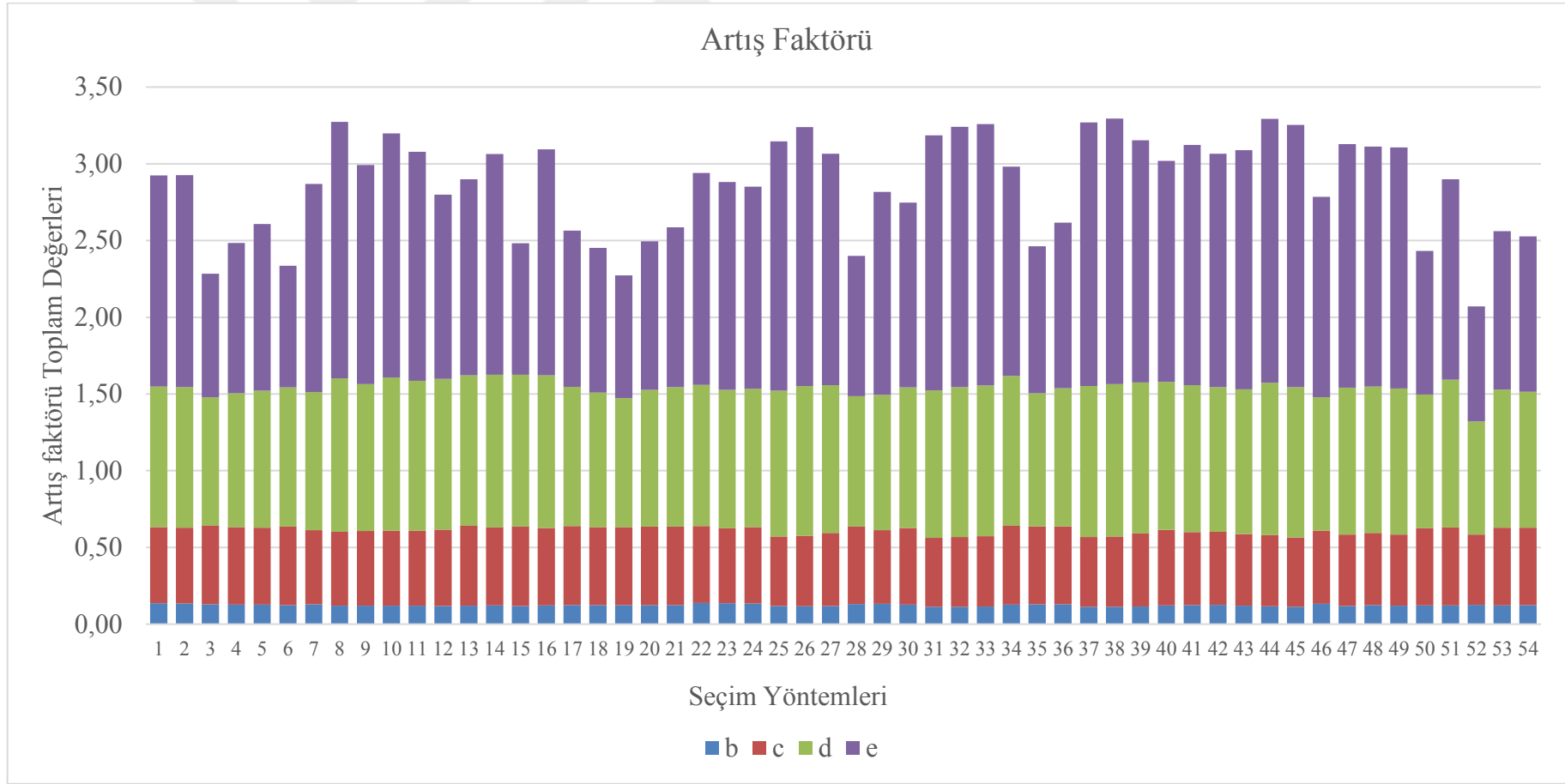
Çizelge A.5. Seçim yöntemlerinin dört girişli göğüs çapı artımı tahminlerine ilişkin karşılaştırmaları (Devam)

SY	BIAS	P	PBIAS	P	MAE	P	MAPE	P	RMSE	P	PVE	P	SE	P	sayı reg	sayı test	TBP	Sıra
50	0.071	58	-0.312	54	0.228	100	0.910	97	0.424	100	#####	100	0.012	100	94	1314	608.8	54
51	0.015	11	-0.287	50	0.131	17	0.629	49	0.181	13	48.91	9	0.005	13	76	1332	160.8	28
52	0.002	1	-0.349	60	0.170	51	0.700	61	0.251	38	8.39	29	0.007	38	56	1352	277.6	50
53	-0.032	25	-0.440	76	0.150	33	0.708	62	0.200	20	41.79	12	0.005	19	94	1314	248.2	49
54	-0.014	11	-0.583	100	0.162	43	0.927	100	0.228	30	22.47	22	0.006	31	131	1277	337.2	52

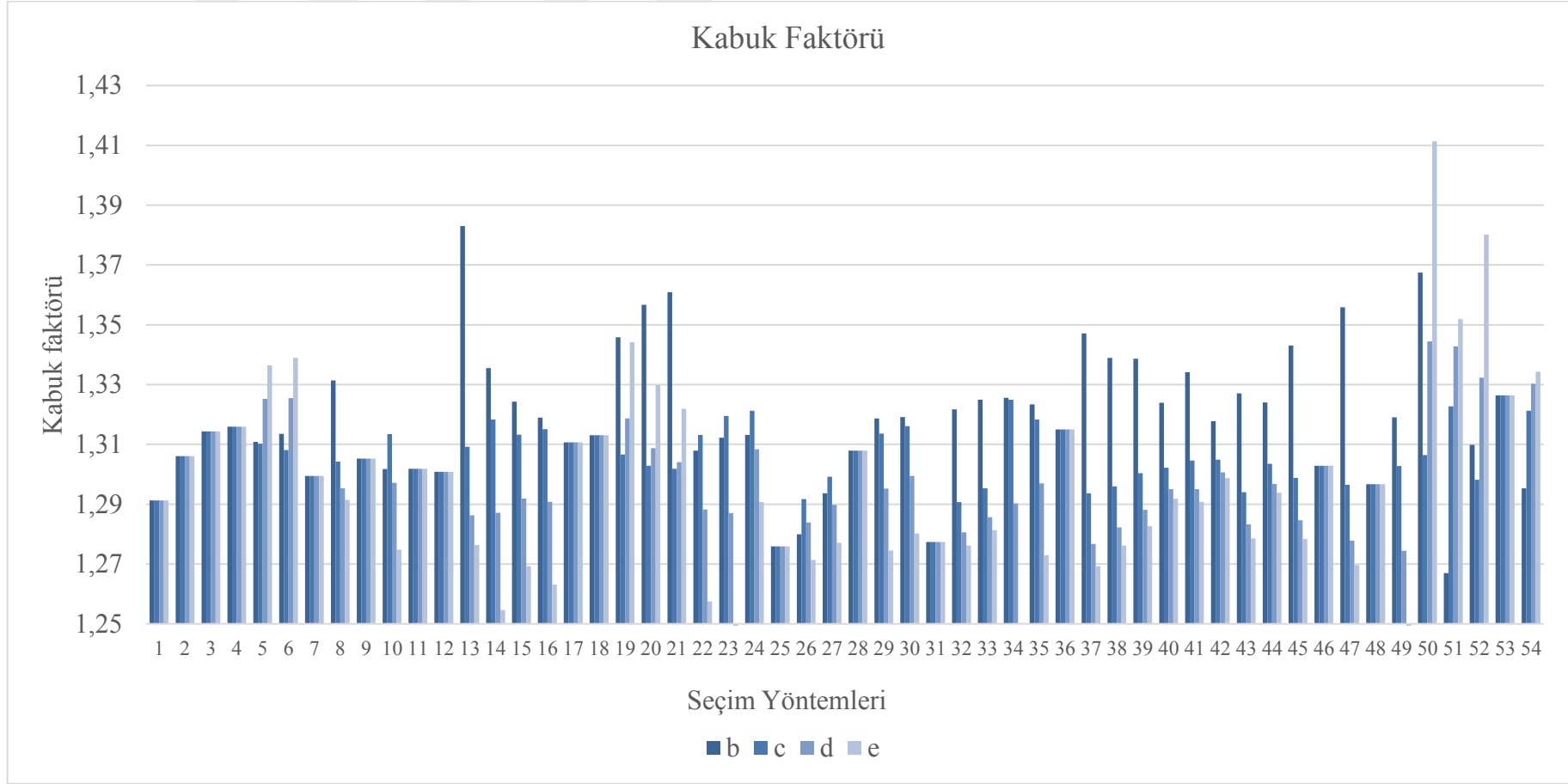
Ek B. Şekiller



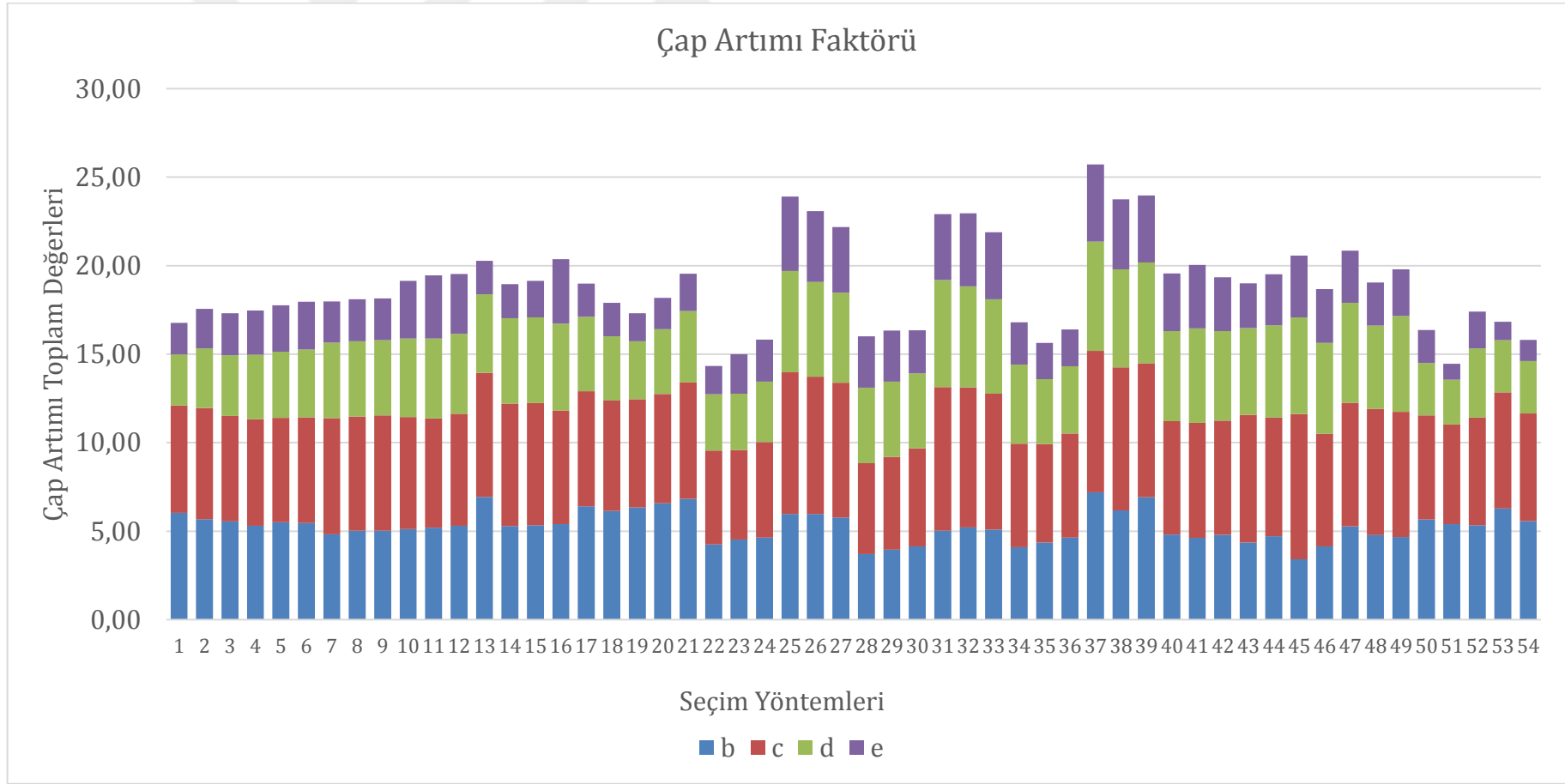
Şekil B.1. Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıfları için üretilen tek girişli DKGH toplam değerleri



Şekil B.2. Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıfları için üretilen artış faktörü toplam değerleri



Şekil B.3 Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıfları için üretilen kabuk faktörü değerleri



Şekil B.4 Seçim yöntemleri ile b, c, d ve e çap sınıfları için üretilen toplam çap artımı değerleri



Şekil B.5. Örnek alanlardaki çalışmalardan görünüm

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Niyazi ÖZÇANKAYA
Doğum Yeri ve Yılı : Nazilli, 1971
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : Fransızca
E-Posta : n_ozcankaya@yahoo.com

Öğrenim Durumu

Lise : Nazilli Lisesi (1988)
Lisans : İÜ Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü (1993)

Mesleki Deneyim

Orman Genel Müdürlüğü	Mühendis	Sinop Orman Bölge Müdürlüğü	Orman Amenajman Başmühendisliği	1998-2001
Orman Genel Müdürlüğü	Başmühendis	İzmir Orman Bölge Müdürlüğü	Orman Amenajman Başmühendisliği	2001-2004
Orman Genel Müdürlüğü	Mühendis	İzmir Orman Bölge Müdürlüğü	Orman Amenajman Başmühendisliği	2004-2011
Orman Genel Müdürlüğü	Başmühendis	İzmir Orman Bölge Müdürlüğü	Orman Amenajman Başmühendisliği	2011-2014
Orman Genel Müdürlüğü	Mühendis	Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü	Orman Amenajman ve Hasılatı Araştırmaları Başmühendisliği	2014-..... (Halen)